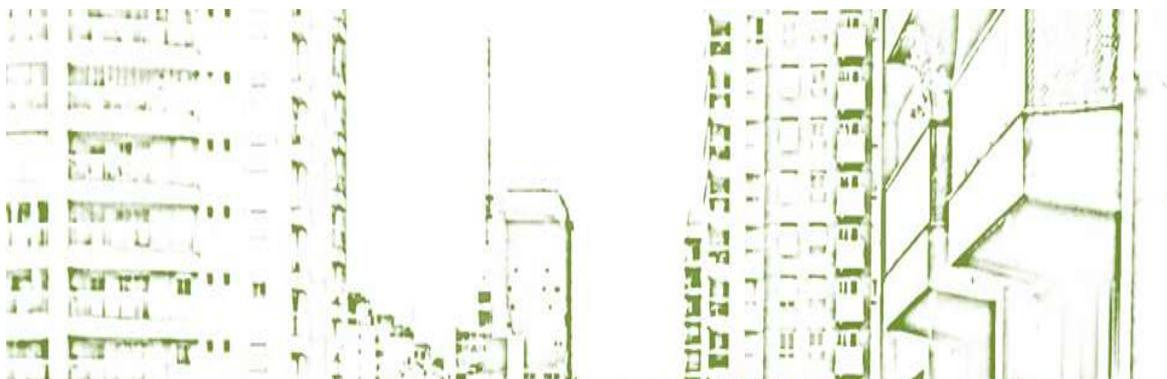




UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE ARTES E COMUNICAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO URBANO

Simone Carnaúba Torres



FORMA E CONFORTO:

estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática



Recife
2017

SIMONE CARNAÚBA TORRES

FORMA E CONFORTO:

estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Desenvolvimento Urbano.

Orientador: Ruskin Freitas

Recife
2017

Catálogo na fonte
Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

T693f Torres, Simone Carnaúba

Forma e conforto: estratégias para (re)pensar o adensamento construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos integrados à abordagem bioclimática / Simone Carnaúba Torres. – Recife, 2017.

395 f.: il., fig.

Orientador: Ruskin Marinho de Freitas.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Desenvolvimento Urbano, 2017.

Inclui referências e apêndices.

1. Densidade construtiva urbana. 2. Morfologia urbana. 3. Desempenho climático urbano. I. Freitas, Ruskin Marinho de (Orientador). II. Título.

711.4 CDD (22. ed.)

UFPE (CAC 2017-242)



Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano
Universidade Federal de Pernambuco

Simone Carnáuba Torres

**Forma e conforto: estratégias para (re)pensar o adensamento
construtivo urbano a partir dos parâmetros urbanísticos
integrados à abordagem bioclimática.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do
título de Doutor em Desenvolvimento Urbano.

Aprovada em: 04/09/2017.

Banca Examinadora

Prof. Ruskin Marinho de Freitas (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Edvânia Torres Aguiar Gomes (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Cristina Pereira de Araújo (Examinadora Interna)
Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Virgínia Maria Dantas de Araújo (Examinadora Externa)
Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Profa. Gianna Melo Barbirato (Examinadora Externa)
Universidade Federal de Alagoas

AGRADECIMENTOS

A Deus pela oportunidade de viver e aprender todos os dias.

Ao meu orientador, Prof. Ruskin Freitas, pelos ensinamentos, pela compreensão perante minhas dificuldades, pela confiança e pela disponibilidade constante.

Aos professores do MDU, por todos os ensinamentos e reflexões acerca do planejamento urbano e dos desafios para o alcance da qualidade de vida nas cidades.

Aos meus colegas e amigos do MDU, pelo carinho, pela força e pelas contribuições nas discussões sobre minha pesquisa.

Aos meus queridos amigos, professores do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Campus UFAL – Arapiraca: Elisabeth, Ricardo, Iuri, Thaísa, Ester, Rafael e Geilson, pelo apoio e incentivo, sem os quais esta pesquisa não seria realizada.

Ao meu querido amigo, Prof. Odair Moraes, pelos ensinamentos na realização da primeira etapa desta pesquisa, concedendo seu tempo e esforço para aplicação da lógica fuzzy no procedimento de caracterização climática do objeto empírico do estudo;

Aos alunos do Curso de Arquitetura e Urbanismo do Campus UFAL- Arapiraca, pelas ricas experiências de aprendizado e pela motivação para meu aprimoramento como pesquisadora e professora.

Ao CNPq pela bolsa fornecida durante o período de realização desta pesquisa.

Às Prof.^a Edivânia Torres, Prof.^a Fátima Furtado e Prof.^a Virgínia Araújo pelas contribuições na etapa de qualificação da tese.

Às pesquisadoras do Grupo de Estudos da Atmosfera Urbana (GATU) do Campus UFAL Maceió: Camila Souza e Maiara Cruz, pelas informações concedidas quanto ao processo de simulação no modelo ENVI-met; e do Campus Arapiraca: Mônica e Ana Maria pela troca de informações e dedicação quanto à caracterização do clima local.

Ao Prof. Michael Bruse e Sandra Nikolaus, do *ENVI-MET Office*, pela concessão da licença da edição *Science* do modelo ENVI-met, pelo período de dois meses (agosto e setembro de 2016), importante para a finalização da pesquisa preditiva.

À Prof. Gianna Melo Barbirato, por ter me inserido no universo da climatologia urbana, ainda na minha graduação em Arquitetura e Urbanismo;

Aos meus pais e meus irmãos, pelo carinho e apoio emocional.

Ao meu querido esposo, Humberto, pelo incentivo e pelo constante apoio em todas as etapas do curso.

Às minhas queridas amigas: Juliana Batista, Lívia Melo, Juliana Coelho, Elisabeth Duarte, pelas sessões de “terapia”, pelo incentivo e pelas demonstrações de amizade verdadeira.

A todos que contribuíram direta e indiretamente para finalização deste trabalho.

RESUMO

O presente estudo corresponde a uma investigação sobre a interferência da forma urbana e do adensamento construtivo no desempenho climático dos espaços urbanos e nos padrões de aproveitamento das estratégias bioclimáticas. A elevada densidade construtiva, entendida muitas vezes como prejudicial ao alcance da qualidade ambiental urbana, pode corresponder a diferentes composições morfológicas de conjuntos edificados. O padrão morfológico e a densidade construída de tecidos urbanos são um resultado do estabelecimento dos tradicionais parâmetros urbanísticos urbanos (taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, gabaritos). O objetivo da pesquisa foi realizar uma avaliação preditiva sobre o desempenho climático de tipos espaciais urbanos determinados por diferentes densidades construtivas e padrões morfológicos. Esta pesquisa está fundamentada na correlação com parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados, a partir de um estudo de caso, a cidade de Arapiraca-AL. Os parâmetros urbanísticos avançados referem-se a indicadores de desempenho estabelecidos a partir de atributos bioclimatizantes da forma urbana. A abordagem metodológica preditiva foi baseada no método hipotético dedutivo e na técnica de análise de cenários hipotéticos. Os procedimentos metodológicos foram realizados a partir de três etapas: a) diagnóstico para caracterização do clima local e identificação de estratégias bioclimáticas para adequação de tecidos urbanos, b) calibração do modelo teórico de análise do clima urbano ENVI-met, para análise de cenários hipotéticos e c) estudo de correlação entre as variáveis climáticas e variáveis de ocupação urbana/ parâmetros urbanísticos. Foram analisados, a partir da simulação computacional, os dados de temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos de cenários hipotéticos e tipos espaciais presentes atualmente no sítio urbano de Arapiraca-AL. Aponta-se como contribuição teórica da pesquisa, a confirmação da hipótese principal do estudo, destacando-se que para o incremento da densidade construtiva urbana, a adoção da quadra como elemento mínimo de planejamento urbano favorece o desempenho ambiental urbano, pois, a forma do tecido pode ser ajustada para atender as solicitações climáticas locais, a partir da incorporação de estratégias bioclimáticas na escala urbana. Para esse ajuste, é imprescindível a análise de parâmetros urbanísticos avançados, como *a porosidade da malha urbana* e o *índice de densidade arbórea*. Neste sentido, são evidenciadas a importância da análise de desempenho climático no processo ao planejamento urbano e a iminente necessidade de revisão dos instrumentos de planejamento para o desenvolvimento de diretrizes baseadas no controle do adensamento urbano com enfoque no urbanismo bioclimático.

Palavras –chave: Densidade construtiva urbana. Morfologia urbana. Desempenho climático urbano.

ABSTRACT

This study examines the influence of the urban built density and morphology on climatic changes of urban spaces and on the use of bioclimatic strategies. High urban density is often regarded as harmful for the urban climate. However, the corresponding morphologies and urban structures may be very different. In fact morphology and density are a consequence of traditional urban planning parameters, such as plot ratio, plan density index, setbacks and building heights. The objective of this study is a predictive evaluation of the climatic performance of urban typologies, presenting different densities and morphological patterns. This research is based on the correlation of traditional and advanced urban planning parameters, using the city Arapiraca-AL as case study. Advanced urban parameters are performance indicators, found on bio-climatic attributes. The predictive evaluation was carried out using a hypothetical deductive approach employing the hypothetical scenario analysis technique. The process was divided into three parts: a) local climate characterization and identification of bio-climatic strategies for the adaptation of urban areas, b) calibration of the theoretical climate model – ENVI-met for the analysis of hypothetical scenarios and c) study of correlation between climatic variables and urban occupation variables / urban parameters. The climatic variables air temperature, relative humidity, wind direction and wind speed of the hypothetical scenarios and of spatial typologies actually present in the urban site of Arapiraca-AL were analyzed using computational simulation. It was possible to confirm the main hypothesis of the thesis that an urban block has to be considered as minimal planning unit for the application of morphological strategies, increasing density and having satisfactory climatic performance. This makes it possible to meet local climatic demands by adjusting the urban site morphology with the incorporation of bio-climatic strategies at an urban scale. For such an adjustment an analysis of advanced urban parameters such as the urban *mesh porosity* and the *arboreal density index* are essential. The importance of climate analysis in the urban planning process could be demonstrated within this work. The results show the need to review planning instruments and guidelines for dense urban environments focusing on a bio-climatic urbanism.

Keywords: Urban built density. Urban morphology. Urban climate performance.

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

C.A- Coeficiente de aproveitamento do terreno ou quadra

DAF- Densidade de área frontal

Hm- Altura média

IDA – Índice de densidade arbórea

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

Pm – Prospecto médio

PoMa – Porosidade da malha urbana

PoVedif – Porosidade do volume edificado

RgAb- Rugosidade absoluta

Rm – Recuo médio

T.O- Taxa de ocupação

Tsn – Taxa de solo natural do terreno ou quadra

UBL- Camada limite urbana

UCL – Camada intraurbana / camada urbana ao nível das coberturas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
2	DESEMPENHO CLIMÁTICO E MORFOLOGIA URBANA	22
2.1	Clima urbano e a importância para o planejamento das cidades	23
2.2	As variáveis climáticas no contexto urbano	28
2.3	Modelos para análise do Clima Urbano	44
2.4	Desafios para aplicação da informação climática no processo de planejamento	49
2.5	Bioclimatologia aplicada ao planejamento das cidades: contribuições para a sustentabilidade urbana	51
2.6	Clima Urbano e o debate sobre o adensamento urbano	64
2.7	Morfologia urbana e parâmetros urbanísticos: desafios para o adensamento urbano	72
3	ABORDAGEM METODOLÓGICA: Considerações sobre a pesquisa preditiva	76
3.1	Elaboração de diagnóstico referente ao grau de adequação climática de assentamentos urbanos em Arapiraca-AL	77
3.1.1	Caracterização do objeto empírico e identificação do Ano Climático de Referência	79
3.1.2	Identificação das estratégias bioclimáticas: Carta Bioclimática de Givoni (1992), o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney Remodelado	79
3.1.3	Monitoramento microclimático de recintos urbanos em Arapiraca-AL	82
3.2	Simulação Computacional – Validação do modelo teórico ENVI-MET	92
3.2.1	Identificação dos dados de entrada do modelo ENVI-met	92
3.2.2	Validação do modelo teórico ENVI-MET	94
3.3	Pesquisa Preditiva	94
4	ARAPIRACA E SUACARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	102
4.1	Tratamento dos dados da estação meteorológica INMET e identificação do TRY	106
4.2	Identificação de estratégias bioclimáticas para adequação de arranjos edificados em Arapiraca-AL	115
4.3	Resultado das medições microclimáticas dos recintos urbanos selecionados	134
5	A AVALIAÇÃO CLIMÁTICA PREDITIVA	140
5.1	Simulações computacionais: Calibração do modelo ENVI-met	140
5.2	Identificação dos dados de entrada do modelo teórico	142

5.3	Validação do Modelo Teórico ENVI-met: Análise dos índices estatísticos RMSE e BEM	155
5.4	Parâmetros urbanísticos: análise sobre a influência no desempenho climático de recintos urbanos	162
5.4.1	Estudo sobre o grau de correlação entre as variáveis ambientais e os parâmetros urbanísticos	186
5.4.2	Quais os parâmetros urbanísticos apresentam maior influência no desempenho climático de recintos urbanos?	232
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	252
	REFERÊNCIAS	257
	APÊNDICE A - Dados referentes ao monitoramento microclimático das tipologias espaciais selecionadas	271
	APÊNDICE B - Dados referentes às simulações computacionais das tipologias espaciais selecionadas para a calibração do modelo ENVI-met	290
	APÊNDICE C – Resultados das simulações computacionais dos cenários hipotéticos estudados	302

1 INTRODUÇÃO

Os estudos sobre os impactos do processo de urbanização no meio ambiente evidenciam a necessidade de elaboração de medidas e ações que permitam o alcance do equilíbrio ambiental, a partir da relação do homem com o meio. Esta necessidade tem sido cada vez mais reforçada, pois, a vivência nas cidades, principalmente nas do cenário brasileiro, vem sendo caracterizada pela crescente perda da qualidade de vida, acompanhada pelos impactos ambientais decorrentes dos padrões de produção e consumo destes espaços. Esta constatação não é recente, sendo objeto de preocupação de diversos profissionais e comunidades, que há décadas, se dedicam ao estudo de soluções para o alcance de novas formas de permanência, uso e produção do ambiente urbano (SILVA, BUSTOS ROMERO, 2011; ACSELRAD, 2009).

Uma modificação clara e inerente ao processo de urbanização é a substituição do ambiente natural para um ambiente artificial, caracterizado pela implantação dos aparatos indispensáveis à atividade humana: construções para o abrigo e para as atividades ligadas ao trabalho e deslocamento. A ambiência urbana, portanto, é marcada pela necessidade constante do “*construir*” e, como consequência imediata, diversas alterações são identificadas, ora como benéficas, ora como prejudiciais ao alcance das condições apropriadas para a satisfação e permanência dos seres humanos neste ambiente “modificado” chamado cidade.

São inúmeros os impactos negativos relacionados com o processo de urbanização, atrelados a diversas abordagens, sendo a ambiental a mais destacada: desmatamentos, poluição do ar, do solo e de cursos d’água, destruição de fauna e flora. Mas, a urbanização e a degradação ambiental não podem ser entendidos como processos diretamente associados. A busca da compreensão sobre os fenômenos decorrentes da modificação do espaço natural pela atividade humana pode subsidiar diferentes respostas para minimização dos impactos da urbanização. É nesta perspectiva que este trabalho se insere.

A abordagem do presente estudo é fundamentada na discussão sobre os impactos do “*construir*” sobre o clima das cidades, o **clima urbano**, entendido como modificação substancial de um clima local. A atmosfera sobre a cidade é um dos estratos naturais que mais sofrem mudanças ocasionadas pelo processo de urbanização e as consequências afetam diretamente as condições de consumo e produção do espaço construído.

O conceito de clima urbano, portanto, está relacionado com a diferenciação do comportamento das variáveis climáticas em relação ao meio rural circundante ou não urbanizado. Estas diferenciações ocorrem devido aos fatores meteorológicos, como nebulosidade e velocidade do vento, como também, pela estrutura da cidade, tais como a densidade das construções urbanas e a largura das ruas. As características climáticas urbanas que são afetadas pela estrutura física da cidade, portanto, podem ser modificadas pelo desenho

urbano.

Entende-se que o **desenho urbano** corresponde a um campo disciplinar emergente, com definições ainda não consolidadas (BARNET, 1982; SHIRVANI, 1985; DEL RIO, 1990, LANG, 2005). O termo surgiu aproximadamente na década de 1960, nos países anglo-saxônicos, para designar a necessidade de integração das disciplinas separadas de arquitetura e planejamento urbano. Segundo Barnet (1982), corresponde ao processo de desenhar a cidade sem desenhar o edifício. Para Shirvani (1985), o desenho urbano envolve uma abordagem ampla de diversos componentes da cidade, como a volumetria e a forma do espaço construído, o uso do solo, circulação viária, espaço público, mobiliário urbano, circulação de pedestre, a partir de enfoque multidisciplinar, integrando o planejamento urbano, o paisagismo, a psicologia ambiental, a arquitetura, a engenharia, o direito urbanístico etc. Vicente Del Rio (1990) destaca que o desenho urbano trata da dimensão físico-ambiental da cidade, enquanto conjunto de sistemas físico-espaciais e sistemas de atividades que interagem com a população através de suas vivências e percepções e ações cotidianas. Lang (2005) ao abordar o processo de produção da cidade através do desenho urbano, classifica-o a partir do entendimento sobre os responsáveis pelas decisões para implantação deste, encarado como projeto urbano. Desta forma, o conceito de desenho urbano adotado na presente pesquisa faz referência à composição físico-espacial do conjunto edificado da cidade, restringindo-se aspectos tangentes ao uso e ocupação do solo e suas implicações na qualidade ambiental das cidades.

A reflexão a cerca dos impactos da urbanização na formação do clima urbano é permeada, portanto, pela análise da interferência dos componentes do conjunto edificado na modificação do comportamento das variáveis ambientais. Esta modificação afeta diretamente as condições de conforto ambiental e, conseqüentemente, o uso dos espaços construídos.

As principais diferenças entre o clima urbano e o clima ‘natural’, no seu entorno rural e que afetam o conforto humano são o comportamento da temperatura do ar e da velocidade dos ventos, no nível da rua. Estas diferenças são causadas pelas mudanças no balanço de radiação no espaço urbano, pela troca de calor por convecção entre o solo e os edifícios e pela geração de calor no interior da cidade (GIVONI, 1998, p.241).

As pesquisas sobre o clima urbano em cidades tropicais apontam uma série de efeitos adversos do processo de urbanização sobre o clima local, tais como:

O aumento da temperatura do ar e a diminuição da umidade relativa, produzindo condições de estresse que podem afetar a saúde e produtividade humana; o aumento do consumo energético para a refrigeração artificial dos edifícios; a ocorrência mais frequente de episódios severos de chuvas e enchentes, resultando em danos materiais e sociais; a concentração de ar poluído e a diminuição da ventilação natural devido ao aumento da rugosidade urbana, que afetam a saúde humana e prejudicam a conservação dos edifícios (ASSIS, 2011, p.2).

Desta forma, os estudos sobre clima urbano são de extrema importância para o entendimento dos processos e fenômenos que definem a qualidade ambiental urbana. Estes

estudos correspondem ao escopo da disciplina **climatologia urbana** e fundamentam-se nas análises sobre os estados atmosféricos mais frequentes nas cidades.

Um dos principais efeitos climáticos do processo de urbanização refere-se ao conhecido como **ilha de calor**. Este fenômeno está relacionado com o comportamento da temperatura do ar em áreas urbanas densamente construídas e sem afastamentos entre as edificações, pois, geralmente, apresenta-se mais elevada quando comparada com as áreas rurais. As principais causas da formação da *ilha de calor* são: a baixa taxa de resfriamento da estrutura urbana, devido ao excesso de armazenamento de energia solar nas edificações; produção concentrada de calor pelas atividades de transporte, indústria; baixa evaporação do solo e ausência de vegetação em áreas urbanas densamente construídas (GIVONI, 1992). Dentre as consequências das alterações climáticas locais, tem sido evidenciado o aumento do consumo de energia elétrica no interior dos espaços edificados devido ao desconforto térmico gerado, através da alteração do comportamento das variáveis climáticas, como temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos. Este aumento no consumo de energia para a climatização artificial dos espaços internos construídos nem sempre está associado à garantia de obtenção das condições adequadas de conforto ambiental de seus usuários.

Por isso, destaca-se o papel da **arquitetura bioclimática** que consiste na adequada e harmoniosa relação entre ambiente construído, clima e seus processos de troca de energia, tendo como objetivo final, a saúde e o conforto ambiental humano. A bioclimatologia aborda estudos sobre o meio construído de modo que a arquitetura torne-se um “filtro” das condições climáticas, subsidiando a elaboração de projetos arquitetônicos, caracterizados pela adequada envoltória (estudo dos materiais e tipos de vedação, paredes e cobertura), fundamentados no aproveitamento de recursos passivos (naturais) de climatização (GIVONI, 1994). Estas soluções de adequação da arquitetura ao clima são denominadas de **estratégias bioclimáticas**.

Porém, a bioclimatologia de ambientes não se faz necessária apenas na escala da edificação, sendo imprescindível, também, na escala urbana. É importante destacar esta consideração porque a aplicação dos princípios e estratégias bioclimáticas pode ser comprometida, ou anulada, caso a estrutura urbana não permita o aproveitamento dos recursos passivos, como a ventilação e a iluminação natural (GIVONI, 1998). Por isso, destaca-se a necessidade da adequação climática da estrutura urbana (morfologia e configuração do arranjo edificado), pois, quando não obtida, ocasiona a formação de fenômenos de modificação do clima local. Ou seja, quando não ocorre o urbanismo bioclimático, acentua-se a formação do **clima urbano**.

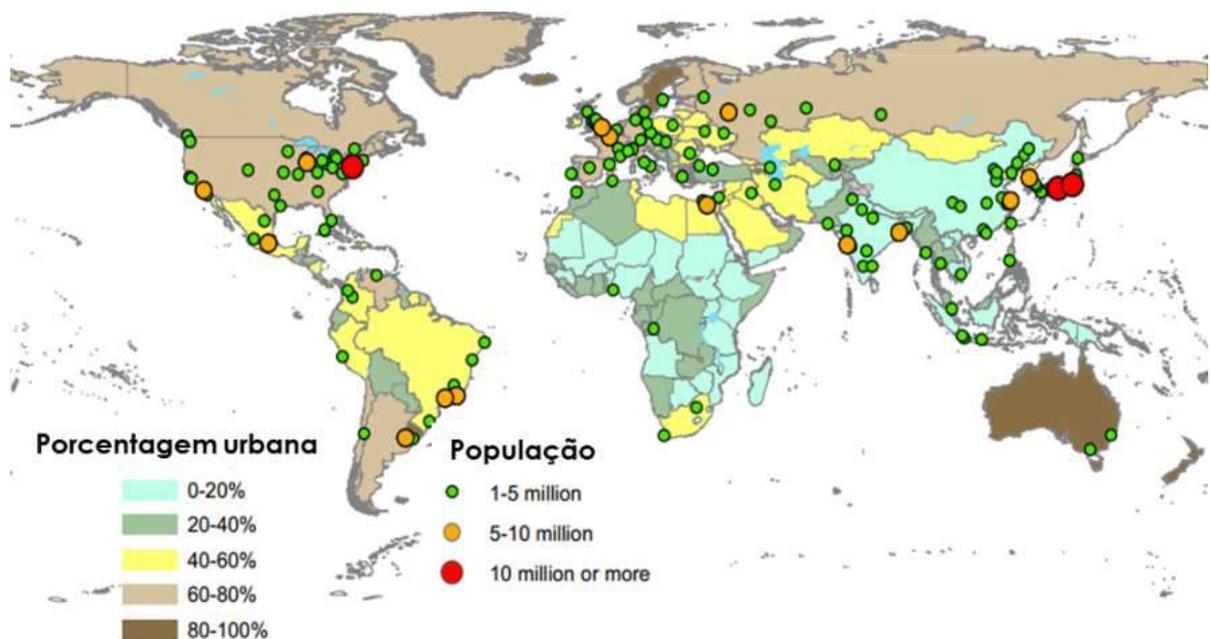
A aplicação de princípios bioclimáticos no projeto arquitetônico e urbano revela-se como importante estratégia para a minimização dos impactos decorrentes do processo de urbanização. Pode-se, assim, evitar a formação dos fenômenos de modificação dos padrões climáticos locais, e seus consequentes processos de degradação ambiental e o comprometimento das condições de saúde e de conforto ambiental dos espaços urbanizados.

Neste sentido, a climatologia aplicada constitui-se em importante abordagem, capaz de auxiliar no planejamento urbano, com vistas à obtenção do equilíbrio entre o desenvolvimento e a observação das premissas ambientais, necessárias tanto para o meio ambiente, quanto para o homem (HIGUERAS, 2006).

Evidencia-se, assim, o papel do **urbanismo bioclimático** como disciplina que deve ser integrada ao planejamento ambiental, pois, adota uma abordagem associada à capacidade de análise da carga dos elementos naturais locais a uma matriz de interações entre os aspectos ambientais (insolação, ventos, vegetação, recursos energéticos e hídricos e geomorfologia) e as variáveis do ambiente urbano - estrutura de circulação, espaços livres e áreas verdes, condições das quadras, lotes e edificações (HIGUERAS, 2006). Estas considerações apresentam uma significativa interface com os aspectos conceituais da sustentabilidade urbana e das diretrizes recomendadas para mitigação do processo de aquecimento global.

Em 2007, a população mundial atingiu um patamar de 50% vivendo em áreas urbanas, com previsão de chegar aos 70% em 2050. As cidades japonesas e da América Latina foram as que mais cresceram desde os anos de 1960 (UNITED NATIONS, 2014). No Brasil, a população urbana passou de 30% do total em 1940 para mais de 85% em 2010 (IBGE, 2010). Este dado demonstra a importância do planejamento urbano para o alcance da redução dos impactos ambientais, pois cada vez mais a cidade se configura como principal palco das atividades humanas, não devendo esta ser considerada como mal a ser evitado (figuras 1.1 e 1.2).

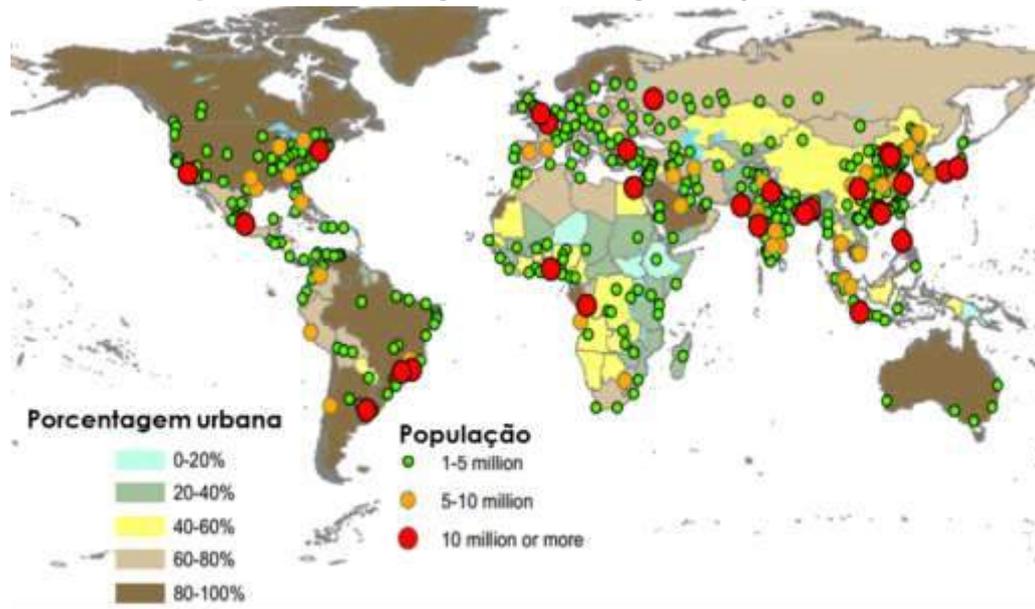
Figura 1.1: Porcentagem urbana e aglomerações urbanas em 1970



Fonte: Nações Unidas. Disponível em:

<http://esa.un.org/unpd/wup/maps/citydistribution/citypopulation/citypop.aspx>

Figura 1.2: Porcentagem urbana e aglomerações em 2014



Fonte: Nações Unidas. Disponível em:

<http://esa.un.org/unpd/wup/maps/citydistribution/citypopulation/citypop.aspx>

Neste sentido, modificações na configuração do ambiente construído, incluindo alterações no desenho urbano, na morfologia urbana e no tratamento de espaços livres podem melhorar a qualidade do clima urbano e conseqüentemente, o desempenho ambiental dos edifícios. Alguns estudos já demonstraram, por exemplo, que em áreas verticalizadas, mas com maior área livre, apresentam condições de conforto térmico melhores do que em áreas horizontais com maior taxa de ocupação (ASSIS, 2000; GIVONI, 1998, FREITAS, 2008; GONÇAVES et al 2011).

Sendo assim, os principais questionamentos referentes à temática da presente pesquisa são: O que desenho urbano deve contemplar para atender aos aspectos de minimização dos impactos negativos sobre a qualidade climática urbana? Se o desenho urbano pode ser um resultado de ações de planejamento urbano, quais as possibilidades para o alcance de soluções para evitar seus impactos?

Várias abordagens teóricas sobre sustentabilidade urbana têm apontado a necessidade atual de uma maior densidade construtiva nas aglomerações urbanas (GIRADET, 2001; EDWARDS; HYETT, 2002, DUARTE, 2012; GONÇALVES et al, 2011), pois assim, é possível favorecer a minimização do consumo de energia para o transporte e o uso de recursos não renováveis, influenciando nas estratégias de mobilidade urbana além de proporcionar benefícios sociais como a melhoria das condições de saúde humana e da vitalidade urbana e convívio social. Para viabilizar o adensamento urbano a partir desta perspectiva são necessárias investigações de suporte ao processo de decisão sobre *como adensar* o ambiente urbano sem prejudicar a qualidade ambiental urbana.

É importante destacar que o adensamento construtivo urbano esbarra nos limites da capacidade de carga do espaço, tanto em relação ao aspecto da infraestrutura, como em

relação ao aspecto ambiental, sobretudo, quanto ao clima, considerando a necessidade de permeabilidade aos ventos e de acúmulo de calor ou não. A presente pesquisa apoia-se na abordagem fundamentada na bioclimatologia para análise dos limites quanto à qualidade climática urbana e pretende avançar no estabelecimento de critérios de desempenho ambiental para viabilizar a incorporação dos mesmos a partir do estabelecimento dos parâmetros de legislação urbanística municipal. Esses parâmetros, embora determinem os limites de adensamento de uma determinada área, não podem ser utilizados universalmente, pois dependem de muitos condicionantes para que a adequação ambiental dos assentamentos construtivos seja alcançada.

Desconsiderando as diversas questões ambientais, um assentamento urbano de alta densidade sem o planejamento adequado pode gerar diversos problemas, não somente de desconforto, mas de estresse térmico e saúde pública. Algumas cidades asiáticas estão revendo os seus critérios de ordenamento urbano, devido aos diversos problemas enfrentados, a partir das altas densidades urbanas. Pode-se citar como exemplo o grave episódio de poluição que provocou a *severe acute respiratory syndrome* (SARS), a síndrome respiratória aguda grave, em 2003, em Hong Kong. Foi a partir deste episódio que a administração de Hong Kong decidiu criar medidas para aprimorar as condições de ventilação urbana para melhorar a qualidade de vida urbana local (YUAN, NG, 2012; NG, 2011).

Porém, como a forma do conjunto edificado é um fator determinante dos campos térmicos urbanos, a densidade construtiva não pode ser apontada como principal vilã nos fenômenos de aquecimento urbano. Quando o adensamento urbano torna-se necessário para o alcance de outros objetivos como a melhoria da mobilidade e vitalidade urbana, o desenho urbano e a configuração dos espaços livres podem ser estudados para minimizar os impactos na qualidade climática urbana.

No entanto, no caso brasileiro, observa-se que o processo de planejamento urbano tem desencadeado a produção de modelos e tipos projetuais padronizados, sendo recorrente a ausência de soluções alternativas que poderiam representar a construção de um espaço edificado climaticamente adequado. As normas e os índices urbanísticos têm colaborado para formação de padrões morfológicos simplórios, carentes de arranjos mais flexíveis. Como exemplo, pode-se citar o caso do processo de ocupação territorial do bairro Ponta Verde, em Maceió-AL apresentado na figura 1.3: a) Tecido urbano no início da década de 1990, quando os investimentos imobiliários ainda eram reduzidos; b) Tecido urbano em 2014, quando o bairro já tinha se tornado o de maior densidade construtiva da cidade.

Quando os tecidos tornam-se saturados, ou seja, quando os parâmetros urbanísticos são utilizados a partir de seus limites máximos o conjunto urbano torna-se praticamente homogêneo. Sobre o exemplo da figura 1.3, correspondente a situação do bairro da Ponta Verde, em Maceió-AL, um estudo recente apontou que o padrão morfológico do tecido urbano, definido como vertical alto, caracterizado pela alta densidade construída e elevado prospecto médio (grandes alturas construídas com espaçamentos entre edifícios nunca superiores à 15 m), contribuiu para apresentar as menores velocidades de vento e maiores valores da temperatura do ar (quando comparado com o tecido colonial contínuo), devido à

modificações no sentido e na magnitude do vento, dificultando a dispersão de calor armazenado na estrutura urbana (LIMA et al, 2016)

Figura 1.3: Ocupação territorial do bairro da Ponta Verde em Maceió-AL: a) início da década de 1990; b) em 2014.



Fonte: disponível em: goo.gl/BtdWfx (acesso em novembro/ 2015)

Macedo (1988) já alertava que com uma base jurídica existente para a propriedade urbana fundamentada no lote, as quadras urbanas têm correspondido apenas a um somatório de lotes, assim, a legislação urbanística brasileira tem permitido e incentivado o desperdício de espaço, eliminando novas formas de ocupação urbana. Para TARALLI (1993) a legislação urbanística poderia representar um ponto de equilíbrio entre o interesse público de limitar e organizar o crescimento urbano e possibilitar a vida em comum e os interesses privados, a quem interessa uma utilização irrestrita da propriedade, prevalecendo este direito sobre qualquer interesse comum.

As pesquisas realizadas nos trópicos apontam que o desconforto térmico nestas regiões está diretamente relacionado com a radiação incidente, absorvida e refletida no ambiente construído, incluindo as edificações e espaços externos urbanos (EMMANUEL, 2005, DUARTE, 2015). Por isso, as estratégias para o controle da radiação em edifícios é uma das maneiras mais eficientes na minimização do acúmulo de calor nas estruturas urbanas e arquitetônicas. Outros estudos destacam que nas áreas densamente construídas as trocas de calor predominantes são as trocas térmicas sensíveis, sendo necessário o uso de estratégias para incrementar as trocas úmidas nos tecidos urbanos a partir do uso de vegetação, solo exposto e corpos d'água para equilibrar o balanço de energia (DUARTE,2000; ASSIS, 2005; DUARTE,2015). Portanto a morfologia do tecido deve ser estudada para favorecer a incorporação destas estratégias.

Desta forma, em cidades de clima tropical, onde a temperatura do ar é alta durante todo o ano, a preocupação com a implantação e manutenção de áreas verdes deve estar associada à sua distribuição na malha urbana para que haja uma relação proporcional e compatível entre as áreas verdes e a massa edificada. A vegetação proporciona o sombreamento das áreas urbanas, criando um microclima próprio que influencia de forma positiva na amenização dos efeitos térmicos no entorno próximo, incrementando as trocas de calor latente (trocas úmidas). Ou seja, a vegetação desempenha dois importantes mecanismos para amenização climática em ambientes urbanos (OKE, 1987; GIVONI, 1992; SHASHUABAR; HOFFMAN, 2000; DIMOUDI; NICOLOPOULOU, 2003): o sombreamento e o processo de evapotranspiração, ambos contribuem para reduzir o aquecimento do ar. Além disso, espaços com solo permeável contribuem para absorção de maior quantidade de radiação solar, irradiando menor quantidade de calor para o meio externo.

Nesse contexto, o padrão tradicional de legislação para controle e ordenamento da ocupação do solo, que utiliza como unidade mínima o lote urbano, pode constituir uma barreira para implantação de soluções mais eficazes para o aproveitamento dos condicionantes ambientais (ventilação natural, iluminação natural e resfriamento evaporativo através da vegetação) no interior da estrutura urbana. Desta forma, a utilização da quadra como unidade mínima para o controle de ocupação, através da legislação urbana, pode subsidiar novas respostas para o favorecimento do desempenho térmico e energético do ambiente urbano, no nível microclimático, devido à possibilidade de estímulo à conservação e configuração de espaços livres com potencial para incorporação das estratégias bioclimáticas (solo natural e eliminação das barreiras aos ventos predominantes locais). O presente estudo fundamenta-se neste entendimento prévio, por isso, a pesquisa partiu da seguinte **tese**:

- ✓ Para o incremento da densidade construtiva, a adoção da quadra como elemento mínimo de planejamento urbano pode favorecer o desempenho ambiental, pois, a partir desta unidade, a forma do tecido urbano pode ser ajustada para atender as solicitações climáticas locais através da incorporação de estratégias bioclimáticas na escala urbana.

Dentre as **hipóteses** que fomentaram a pesquisa e os procedimentos metodológicos adotados, destacam-se as seguintes:

- ✓ A adoção dos parâmetros urbanísticos tradicionais é insuficiente para o estabelecimento do ajuste da forma urbana à adequação climática de recintos urbanos, haja vista a realidade que se difundiu a partir da aplicação dos mesmos marcada pelo baixo potencial de aproveitamento dos condicionantes passivos de climatização;
- ✓ Os parâmetros urbanísticos avançados apresentam significativa influência no desempenho climático urbano e podem ser adotados no processo de planejamento urbano para otimizar o aproveitamento das estratégias bioclimáticas na escala urbana, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental das cidades.

A necessidade de aprofundamento sobre as análises de correlação entre as diferentes formas de ocupação urbana e o comportamento das variáveis climáticas tem sido a principal

recomendação para novos estudos e para a elaboração e contribuição para a sistematização metodológica de procedimentos de subsídio ao processo de planejamento urbano (ASSIS, 2000; DUARTE, 2000, BRANDÃO 2009, GONÇAVES et al 2011, GUSSON, 2014).

A análise espacial sistemática de uma realidade urbana empírica, o uso de modelos para a simulação de variações climáticas (modelos preditivos) e a interação desses dois processos, que são complementares, pode auxiliar o avanço teórico desta temática, contribuindo efetivamente para formulação de diretrizes de adequação climática de assentamentos construtivos em diversas realidades climáticas. Esta abordagem corresponderá ao enfoque teórico e metodológico da presente pesquisa.

Por isso, a cidade de Arapiraca-AL foi selecionada como objeto empírico para o presente estudo devido à observação de sua fragilidade quanto ao processo de ocupação resultando na inspiração e motivação para o desenvolvimento da presente pesquisa. Arapiraca está localizada no Estado de Alagoas, na mesorregião do agreste¹, que corresponde, à região de transição entre a costa úmida e o interior semiárido do nordeste. Segundo o Ministério da Integração Nacional (2005) o clima da região é tropical quente sub-úmido seco².

Na década de 1990, Arapiraca abandonou o modelo de vida rural, transferindo a importância da agricultura para as atividades tipicamente urbanas como o setor de serviços, a indústria e o comércio. Devido a sua posição geográfica e a sua atual dinâmica urbana representada pela presença de diversos sistemas urbanos (comércio, hospitais e clínicas especializadas; escolas e instituições de ensino superior, incluindo um campus interiorizado da Universidade Federal de Alagoas), a cidade vem assumindo uma grande importância regional no contexto urbano de Alagoas, pois vem atuando como centro de convergência populacional.

Estes fatores têm interferido conseqüentemente no intenso processo de urbanização da cidade, marcado nos últimos 30 anos pela expansão tipicamente horizontal da sua estrutura urbana. O Plano Diretor da cidade foi aprovado em 23 de Janeiro de 2006 (Lei Nº2424/06), porém, atualmente ainda falta a revisão e criação dos instrumentos jurídicos articulados aos objetivos do plano (Lei de Uso e Ocupação do Solo; Código de Edificações e Urbanismo; Código do Meio Ambiente; Lei de Zoneamento). Desta forma, devido à ausência de definição dos parâmetros urbanísticos de ocupação, a cidade vivencia hoje uma situação de vulnerabilidade quanto aos impactos climáticos decorrentes dos padrões construtivos urbanos. Esta realidade assemelha-se à encontrada na maioria das cidades de pequeno e médio porte no cenário brasileiro, principalmente na região Nordeste.

¹ Segundo IBGE (2010) define-se como Microrregião Geográfica um conjunto de municípios, contíguos e contidos na mesma Unidade da Federação, definidos com base em características do quadro natural, da organização da produção e de sua integração; e, Mesorregião Geográfica, como um conjunto de Microrregiões, contíguas e contidas na mesma Unidade da Federação, definidas com base no quadro natural, no processo social e na rede de comunicações e lugares

² Classificação fundamentada no índice de aridez (THORNTHWAITE, 1941), o qual é dado pela razão entre a precipitação e a evapotranspiração potencial (ET). Para clima de classificação sub úmido seco o índice de aridez corresponde entre 0,51 e 0,65.

Nota-se que em Arapiraca-AL, tem se intensificado a proliferação de assentamentos urbanos caracterizados pela alta taxa de ocupação dos lotes e, nos últimos anos, o processo de verticalização começa a se destacar. Devido à ausência dos parâmetros urbanísticos, a morfologia urbana tem sido influenciada fortemente pelos interesses do mercado imobiliário. No bairro Caititus, por exemplo, o padrão de ocupação horizontal predominante começa a modificar devido aos interesses do mercado imobiliário (figura 1.4).

Figura 1.4: Vista área do bairro Caititus, cidade de Arapiraca-AL (vista do condomínio vertical à esquerda).



Foto: Milton Torres (2015)

O problema de pesquisa explorado neste estudo corresponde à necessidade de integração entre os conteúdos dos campos disciplinares da *climatologia urbana* e *urbanismo bioclimático*, para fundamentar o estudo de diferentes padrões de densidade e morfologia urbana resultantes de parâmetros urbanísticos, visto que estes são os principais determinantes dos padrões geométricos dos volumes construídos urbanos.

Sabendo-se que a densidade construtiva e a morfologia urbana são um resultado da aplicação de parâmetros urbanísticos no processo de planejamento urbano local, o estudo sobre tipos e quantificação dos parâmetros urbanísticos pode favorecer a identificação de diretrizes para otimização do desempenho climático urbano. Este estudo sobre o grau de correlação entre padrões de ocupação urbana (parâmetros urbanísticos) e as variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa e velocidade dos ventos) pode subsidiar a estimativa das alterações nas variáveis climáticas em cenários futuros.

Pretende-se, então, demonstrar que a efetividade do desempenho ambiental da edificação será parcial quando for adotado, na avaliação, apenas o universo do lote em que se insere. Deve ser imprescindível, portanto, a correspondência de um modelo de ocupação urbana com as características do clima da cidade. No caso de cidades de baixa latitude, de clima quente e úmido, por exemplo, é apontado pela literatura especializada como modelo de ocupação ideal a malha dispersa, para potencializar no nível microclimático as trocas térmicas de calor por convecção a partir do aproveitamento das massas de ar predominantes. Desta forma, o alto adensamento construtivo pode constituir uma barreira para o alcance das condições climáticas adequadas para obtenção do nível de conforto térmico necessário. É

importante, por isso, a investigação sobre o impacto das ocupações urbanas caracterizadas por morfologias e densidades construtivas diferenciadas para verificar as condições adequadas para o alcance do adensamento construtivo de baixo impacto quanto à qualidade climática de recintos urbanos.

Desta forma, o **objetivo geral** da pesquisa é realizar uma avaliação preditiva sobre o desempenho climático de tipos espaciais urbanos determinados por diferentes densidades construtivas e padrões morfológicos. Esta pesquisa está fundamentada na correlação com parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados, a partir de um estudo de caso, a cidade de Arapiraca-AL. Pretende-se contribuir para a construção de diretrizes para o controle da densidade construtiva urbana, baseado na adequação climática de recintos urbanos.

Aponta-se como necessária, portanto, a abordagem preditiva a partir da técnica de cenários. Os diferentes padrões de ocupação quanto à morfologia e densidade construtiva serão investigados tanto no universo empírico, como também, a partir do estudo de cenários hipotéticos. Estes cenários possibilitarão a análise de padrões não existentes no universo empírico. Assim, torna-se imprescindível a adoção de um modelo teórico para a análise referente ao desempenho dos cenários hipotéticos. O modelo ENVI-met 4.0 foi escolhido para o presente estudo, por ser, atualmente, o mais promissor para simulações de efeito do microclima urbano. Ele é um modelo tridimensional de clima, que simula as interações entre superfícies construídas, vegetação e atmosfera, permitindo análise integrada de desenho urbano e microclima (BRUSE, 2013). Assim, constitui um modelo prognóstico baseado nas leis fundamentais de dinâmica dos fluidos e na termodinâmica. Sendo de origem alemã, a presente pesquisa, objetivou também, realizar a calibração do modelo para análise de desempenho climático de estruturas urbanas e cenários hipotéticos para a realidade climática da cidade de Arapiraca-AL.

No presente estudo são considerados **fatores inerentes** à formação do **clima urbano**: a concentração de materiais de alta capacidade de absorção da energia incidente da radiação global; o calor antropogênico gerado na camada intra-urbana, a redução da massa vegetativa natural/nativa, sendo denominado como **fator variável** a geometria da forma urbana (morfologia). É variável porque pode ser controlada através de sistemas de regulamentação do uso e ocupação do solo urbano. Os demais fatores são próprios da formação e consolidação de ambientes urbanos. Por isso, a morfologia urbana será o fator da análise da pesquisa preditiva, a partir de um enfoque integrado com os aspectos da densidade construtiva, visto sua importância destacada nos estudos sobre sustentabilidade urbana e clima urbano.

A abordagem referente aos *parâmetros urbanísticos avançados* não corresponde à definição de novos instrumentos de planejamento urbano, refere-se apenas ao modo de caracterização do processo de ocupação de recintos urbanos. Os *parâmetros urbanísticos tradicionais* (taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, recuos e gabaritos) embora sejam definidos para áreas/zonas urbanas, são exclusivamente aplicados para regulamentação de lotes urbanos. Sabendo-se da necessidade da análise integrada das unidades construtivas urbanas para a implantação de soluções mais eficazes para o aproveitamento dos condicionantes ambientais (ventilação natural, iluminação natural e resfriamento evaporativo

através da vegetação) no interior da estrutura urbana, a quadra será adotada como unidade mínima do estudo exploratório. Desta forma, novas respostas para o favorecimento do desempenho termo energético do ambiente urbano, no nível microclimático, podem ser investigadas para estimular a conservação e configuração de espaços livres com potencial para incorporação das estratégias bioclimáticas.

Portanto, os parâmetros urbanísticos tratados neste estudo correspondem apenas a indicadores de desempenho ambiental de tecidos urbanos definidos através da caracterização ou da modelagem da forma urbana, estudada a partir de conjunto de quadras. Assim, os *parâmetros urbanísticos avançados*, referem-se a indicadores de desempenho definidos a partir de atributos bioclimatizantes, como a *porosidade* da malha urbana, definida a partir da relação dos volumes úteis abertos na camada limite urbana ao conjunto do volume total do tecido urbano (fundamental para verificar o grau de permeabilidade das massas de ar predominantes). Os demais parâmetros adotados na investigação serão conceituados no capítulo referente à abordagem metodológica, como também, no capítulo 5, correspondente aos resultados da avaliação climática preditiva.

As hipóteses da pesquisa fundamentam os objetivos específicos do estudo e estão relacionadas com o conteúdo dos capítulos da tese (quadro 1.1).

Quadro 1.1: Relação entre as hipóteses, os objetivos específicos e conteúdos dos capítulos da tese

HIPÓTESES	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	CAPÍTULOS
A adoção dos parâmetros urbanísticos tradicionais é insuficiente para o estabelecimento do ajuste da forma urbana à adequação climática de recintos urbanos, haja vista a realidade que se difundiu a partir da aplicação dos mesmos marcada pelo baixo potencial de aproveitamento dos condicionantes passivos de climatização.	Caracterizar o estado da arte sobre a bioclimatologia e clima urbano discutindo teorias, conceitos e pesquisas sobre a análise da morfologia urbana e adensamento urbano e os efeitos no desempenho climático.	CAPÍTULO 2: <i>Desempenho Climático e Morfologia Urbana</i>
	Estudar os procedimentos para a análise sobre a interferência da morfologia urbana e do adensamento construtivo na determinação dos padrões de modificação climática dos espaços urbanos e nos padrões de aproveitamento das estratégias bioclimáticas.	CAPÍTULO 3: <i>A abordagem metodológica: considerações sobre a pesquisa preditiva</i>
	Avaliar o grau de adequação climática do objeto empírico da pesquisa, a cidade de Arapiraca, e identificar as principais estratégias bioclimáticas para adequação do conjunto edificado local.	CAPÍTULO 4: <i>Arapiraca-AL e sua caracterização climática</i>
Os parâmetros urbanísticos avançados apresentam significativa influência no desempenho climático urbano e podem ser adotados no processo de planejamento para otimizar o aproveitamento das estratégias bioclimáticas na escala urbana, contribuindo para a melhoria da qualidade ambiental das cidades..	Avaliar o grau de correlação entre o comportamento de variáveis ambientais e as características de ocupação e forma urbana, determinadas pelos parâmetros urbanísticos (tradicionais e avançados) a partir da elaboração de cenários hipotéticos.	CAPÍTULO 5: <i>A avaliação climática preditiva: os parâmetros urbanísticos e o desempenho climático de recintos urbanos</i>

No **Capítulo 2**, *Desempenho Climático e Morfologia Urbana*, são discutidos dois temas principais: *Clima Urbano: a importância para o Planejamento das cidades* (subcapítulo 2.1) e *Bioclimatologia aplicada ao Planejamento Urbano* (subcapítulo 2.2). No primeiro subcapítulo serão apresentados e discutidos os principais conceitos relacionados com a climatologia urbana, a partir do entendimento sobre o comportamento das variáveis climáticas no ambiente urbano, as principais escalas de abordagens e as principais contribuições teóricas para avaliação dos impactos da urbanização no clima das cidades. São discutidos ainda os obstáculos e desafios para aplicação da informação climática no processo de planejamento urbano. No segundo subcapítulo são apresentadas as interfaces conceituais do *Urbanismo Bioclimático* e da *Sustentabilidade Urbana*. São expostos os principais avanços teóricos referentes à abordagem do Clima Urbano e as implicações relacionadas ao adensamento construtivo. Para destacar a importância dos parâmetros urbanísticos na qualidade climática urbana, são apontados os estudos sobre análise da morfologia urbana e adensamento urbano e os efeitos sobre o desempenho climático das estruturas urbanas.

No **Capítulo 3**, *A abordagem metodológica: considerações sobre a pesquisa preditiva*, são apresentados os principais procedimentos metodológicos para o alcance dos objetivos para presente pesquisa. No **capítulo 4**: *Arapiraca-AL e sua caracterização climática*, são expostas informações sobre o objeto empírico da pesquisa a partir dos métodos de caracterização climática aplicados no presente estudo. Devido à ausência de dados históricos sobre as variáveis climáticas locais, houve a necessidade de aplicação de metodologias de caracterização do clima e identificação de estratégias bioclimáticas para análise do grau de adequação dos assentamentos construtivos urbanos locais. Neste capítulo, são apresentados os resultados obtidos através destes procedimentos. Além disso, serão apresentados os resultados do levantamento microclimático realizado para verificar condições de diferenciação térmica entre recintos urbanos de densidade construtiva e morfologias diferenciadas, como também, para subsidiar a escolha de dias representativos para levantamento de dados climáticos de entrada para a calibração do modelo ENVI-met.

O **Capítulo 5**, *A avaliação climática preditiva: os parâmetros urbanísticos e o desempenho climático de recintos urbanos*, apresenta no primeiro subcapítulo (*Simulações computacionais – calibração do modelo ENVI-met*) os resultados da modelagem computacional a partir do modelo teórico ENVI-met 4.0 (BRUSE, 2013), para fundamentar a pesquisa preditiva. São apresentados os resultados referentes ao tratamento estatístico dos dados simulados e medidos microclimaticamente para a confirmação da validação do modelo ENVI-met para estudos na realidade climática de Arapiraca-AL como também para avaliação de cenários hipotéticos. No segundo subcapítulo (*Parâmetros urbanísticos: análise sobre a influência no desempenho climático de recintos urbanos*), são apresentados os conceitos dos parâmetros urbanísticos utilizados para caracterizar a morfologia dos cenários hipotéticos elaborados para a análise climática, como também, os resultados referentes ao desempenho climático destes cenários determinados por morfologias urbanas e densidades construtivas diferenciadas. A análise de desempenho é complementada pelo estudo de correlação entre o comportamento das variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar) e as variáveis de ocupação e morfologia (parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados).

2

DESEMPENHO CLIMÁTICO E MORFOLOGIA URBANA

O conceito de clima tem evoluído ao longo dos últimos tempos, a partir do surgimento da climatologia como campo de conhecimento, após a sistematização da Meteorologia. Neste sentido, para compreender o conceito de **clima**, é necessário diferenciá-lo do conceito de **tempo**. Segundo Mendonça, Danni-Oliveira (2007, p.14) o tempo corresponde ao estado momentâneo da atmosfera em um dado instante e lugar, compreendendo um conjunto de atributos que a caracterizam, tais como radiação (insolação), temperatura, umidade (incluindo precipitação, nebulosidade etc) e pressão (ventos). Já o clima, enquanto, conceito clássico, é definido como resultado do comportamento médio dos elementos atmosféricos, denominados também como elementos climáticos: temperatura, umidade e pressão atmosférica. Estes elementos, em suas diferentes manifestações, variam espacial e temporalmente.

A **climatologia** constitui uma subdivisão da Meteorologia e da Geografia e corresponde ao campo disciplinar de estudo da espacialização e evolução dos elementos e fenômenos atmosféricos. Ou seja, é um estudo científico do clima e aborda a análise do comportamento da atmosfera em suas interações com as atividades humanas e com a superfície terrestre durante um longo período de tempo. Por isso, as pesquisas da climatologia podem contribuir para uma intervenção mais consciente na organização do espaço (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.15).

Quando o clima de uma região interage com os fatores físicos-espaciais de um local (topografia, revestimentos de solo, desenho urbano), ocorre uma modificação nos padrões de comportamento dos elementos e fenômenos atmosféricos. Denomina-se, assim, como **clima urbano** o sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO, 1976).

A urbanização altera radicalmente o ambiente físico natural e tem ainda inadvertidas consequências ambientais importantes. Os processos aerodinâmicos, térmicos, radiativos e hidrológicos característicos de ambientes naturais são alterados através de modificações da morfologia da superfície, introdução de superfícies artificiais, redução na cobertura vegetal e emissão de poluentes urbanos (OKE, 1982). Como consequência, as cidades experimentam temperaturas elevadas e têm um regime térmico diferente de zonas rurais circundantes. Conhecida como a ilha de calor urbana, esta é, provavelmente, a característica mais estudada do clima urbano, desde que quando foi observado pela primeira vez em 1818 por Luke Howard em Londres (HOWARD, 1818).

O aumento do calor através da urbanização pode apresentar consequências positivas e desejáveis para cidades de média e alta latitude, pois pode favorecer o comportamento de

temperaturas de inverno menos extremas e reduzir a demanda por aquecimento em espaços internos (OKE, 1988). No entanto, o oposto é verdadeiro nos trópicos úmidos onde a ilha de calor contribui para aumentar as cargas para arrefecimento dos edifícios (uso de ar condicionado), transferindo a carga de calor ao ar livre agravando, assim, o aquecimento urbano.

Aumento do calor nos espaços urbanos em um clima tropical úmido também é susceptível a aumentar o desconforto térmico, o que pode levar ao estresse e gerar problemas de saúde (ROTH, CHOW, 2012). Por isso, todos os aspectos da mudança climática urbana e aquecimento nos trópicos têm consequências negativas.

2.1 Clima urbano e a importância para o planejamento das cidades

Muitos fatores da estrutura física da cidade podem afetar o clima urbano. Como a estrutura da cidade pode ser controlada pelo planejamento e desenho urbano é possível modificar o clima urbano através de políticas urbanas e novas intervenções para a composição de um entorno favorável às condições de conforto ambiental humano, tanto nos espaços externos, como nos espaços internos, e assim, reduzir a demanda de energia nas construções-para aquecimento no inverno e para resfriamento no verão (GIVONI, 1998, p.275). O clima urbano pode ser analisado a partir do balanço de energia e do entendimento de que os fluxos de energia podem ser alterados pela morfologia urbana local.

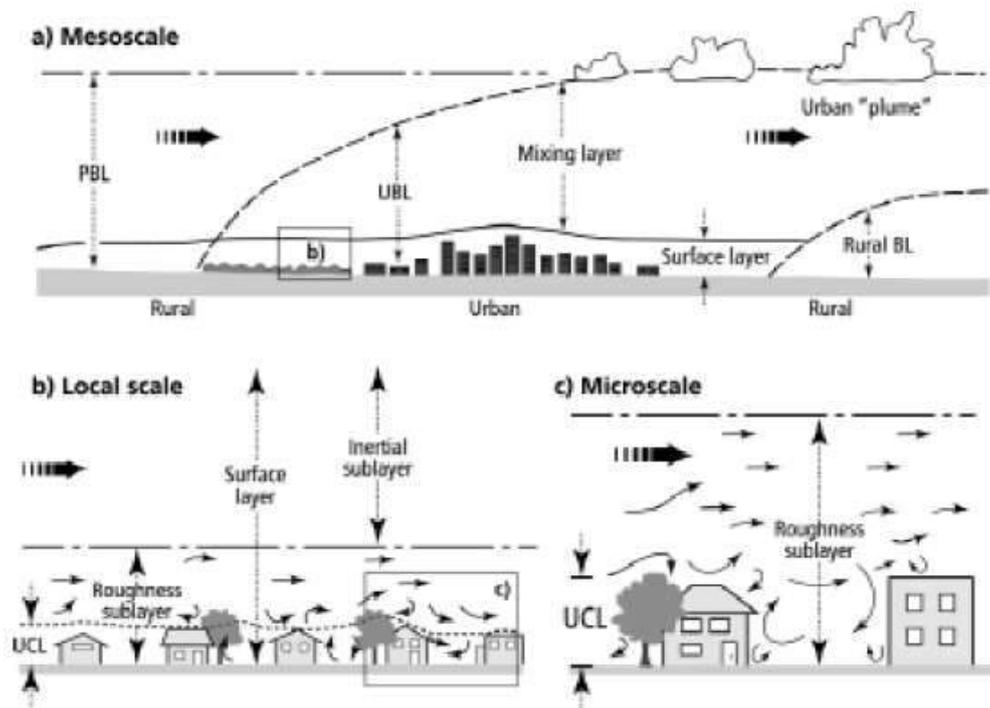
Givoni (1998) discute sobre os principais efeitos das características físicas de uma área urbana sobre o clima como, o tamanho do sítio, a altura das construções, a localização da cidade na região, a densidade da área urbana, os revestimentos de solo, a orientação e largura das ruas, a subdivisão dos lotes de construção e os detalhes das construções/edificações que afetam as condições climáticas externas. Para a compreensão destes aspectos, serão abordados no presente capítulo, as escalas de análise do clima urbano, as informações sobre o comportamento dos elementos climáticas no contexto urbano, os modelos de clima urbano e a importância dos estudos da climatologia para o alcance da sustentabilidade urbana.

Escalas de Análise do Clima Urbano

A compreensão sobre as escalas de análise do clima urbano é essencial para o desenvolvimento de qualquer investigação sobre este fenômeno. Sobre este aspecto, Oke (2006) apresenta uma estrutura tridimensional do clima urbano que engloba a escala espacial (horizontal e vertical) e a escala temporal (entendendo o clima urbano como processo dinâmico). A escala temporal aborda a duração dos vários fenômenos em cada escala espacial. Um exemplo desta abordagem corresponde à análise dos tipos de tempo, a variabilidade climática de curta duração, as tendências climáticas e o estabelecimento de médias são aspectos da escala temporal contemporânea. É nessa escala temporal que a maioria dos climatólogos da atualidade atua (MENDONÇA, DANNI-OLIVEIRA, 2007, p.15).

Em relação às escalas espaciais Oke (2006, p.3), propõe o entendimento da estrutura urbana a partir de três escalas (figura 2.1):

Figura 2.1 Representação esquemática de escalas espaciais horizontais do clima urbano e suas camadas verticais: PBL –Planetary Boundary Layer ou Camada Limite Atmosférica, UBL Urban Boundary Layer ou Camada Limite Urbana, UCL - Urban Canopy Layer ou Camada Urbana ao nível das coberturas, também denominada como Camada Intraurbana.



Fonte : Oke (2006, p.3, modificado a partir de Oke, 1997)

- Mesoscala** – a cidade influencia o tempo e o clima em relação a toda sua extensão, alcançando geralmente dezenas de quilômetros de distância. Uma única estação meteorológica não é capaz de representar esta escala.
- Escala local** - esta é a escala que as estações climáticas normais são projetadas para monitorar. Inclui características da paisagem tais como topografia, mas exclui efeitos de microescala. Nas áreas urbanas, isso se traduz nos climas de bairros com semelhante tipos de desenvolvimento urbano (de cobertura de superfície, tamanho e espaçamento dos edifícios, de atividade). Pode corresponder a uma extensão de 100m a 10km.
- Microescala** - Cada superfície e objeto têm seu próprio microclima e pode influenciar os vizinhos. As temperaturas das superfícies e do ar podem variar em vários graus, em distâncias muito curtas , mesmo milímetros, e um fluxo de ar pode ser muito perturbado mesmo com pequenos objetos. Escalas típicas de microclimas urbanos estão relacionadas com as dimensões de edifícios individuais, árvores, estradas, ruas, pátios, jardins, etc Estas escalas podem se estender a partir de menos de um metro a algumas centenas de metros. Recomenda-se, para fins de investigação de condições microclimáticas, a utilização de uma altura padrão de medição, uma única superfície de cobertura, as distâncias mínimas a obstáculos e pouca

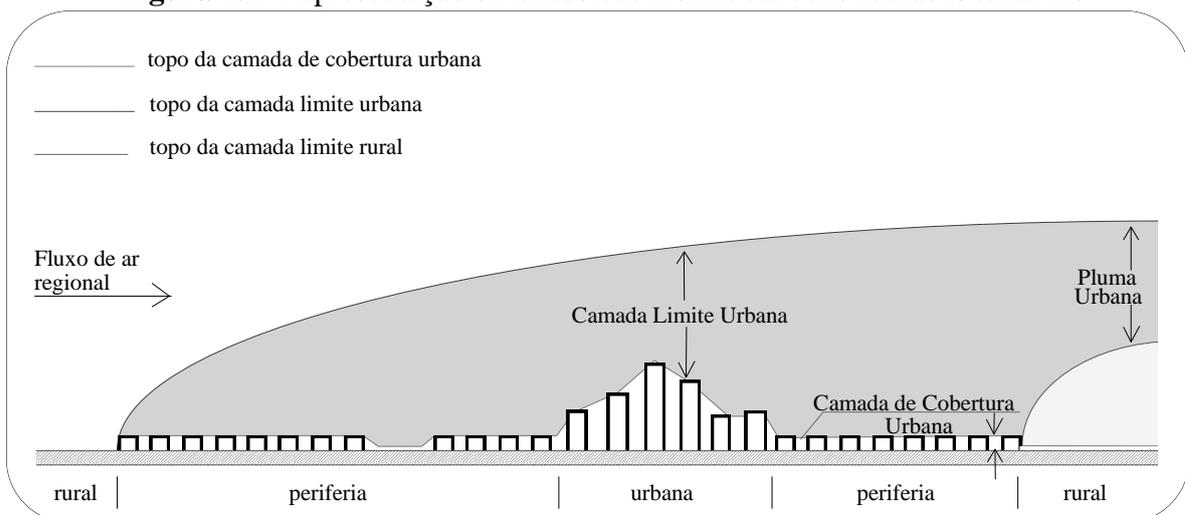
obstrução horizonte. Os dados coletados nesta escala podem ser utilizados para avaliar as tendências do clima em escalas maiores.

Em relação às escalas espaciais verticais, é necessário distinguir a camada intra-urbana (UCL -*urban canopy layer*), que fica abaixo do nível das coberturas da estrutura urbana e compreende microclimas criados por edifícios, estradas e vegetação, da camada limite urbana (UBL -*Urban Boundary Layer*) acima do último nível das coberturas (figura 2.2), que é uma integração dos microclimas urbanos sobre uma grande área (OKE, 1976, 1995; Arnfield 2003). O efeito da urbanização difere nestas duas camadas. Por exemplo, embora cidades contribuam para aquecer o clima na camada limite urbana, a sombra de edifícios na camada intra-urbana pode gerar temperaturas locais menores que as encontradas em áreas abertas (OKE, 1979).

As investigações da presente pesquisa compreendem avaliações na camada intra-urbana. O desempenho das variáveis climáticas nesta camada sofre, portanto, interferências de inúmeras características do meio edificado, como o tamanho das edificações, orientações das construções, densidades da área construída e padrões gerais de uso do solo. Segundo Oke (2006) a altura da camada intra-urbana (UCL) é aproximadamente equivalente ao da altura média dos principais elementos de rugosidade (edifícios e árvores), denominada ZH (ver Figura 2.2).

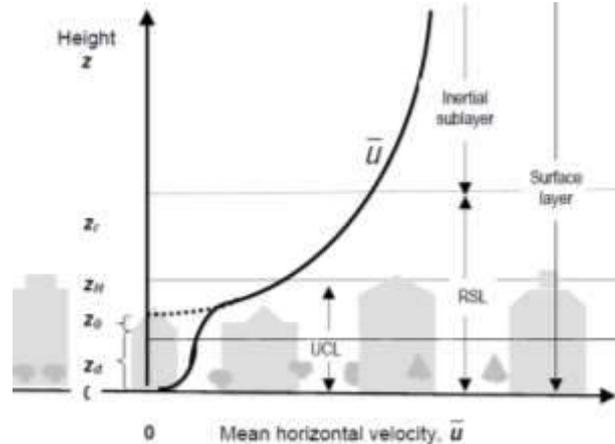
Na figura 2.3, as medidas na escala de altura são: a média da rugosidade dos elementos construídos (ZH), a subcamada de rugosidade (Zr, ou a altura *blending*), o comprimento de rugosidade (ZO) e plano zero de deslocamento (Zd); a linha tracejada corresponde ao perfil extrapolado a partir da subcamada inercial e linha sólida, o perfil real.

Figura 2.2 :Representação da atmosfera urbana em duas camadas térmicas..



Fonte: adaptado de Oke (1976, p.275)

Figura 2.3: Velocidade média do vento (\bar{U}) em um perfil de área urbana, incluindo o as subcamadas da superfície urbana.



Fonte: (Oke, 2006,p.22)

Segundo Oke (2006), a magnitude de cada escala urbana não concorda exatamente com aquelas especificadas pela literatura especializada. As escalas são conferidas pelas dimensões das características morfológicas que compõem uma paisagem urbana. Isto coloca a ênfase na necessidade de análise e caracterização das propriedades de áreas urbanas que afetam a atmosfera

A morfologia pode ser definida como o estudo da forma urbana ou o estudo dos aspectos exteriores do meio urbano. Lamas (1997) propõe que esse estudo seja feito a partir da análise dos elementos morfológicos das “[...] unidades ou partes físicas que, associadas e estruturadas, constituem a forma [...]” (LAMAS, 1997, P.37). No presente estudo, o termo **morfologia urbana** corresponde à combinação de três elementos principais da estrutura urbana: o *plano*, delimitado pelo conjunto de vias de circulação, parques, vazios urbanos e projeção de áreas construídas; o *construído*, delimitado pelo conjunto de edifícios construídos diferenciados pela sua tipologia e volume e os *usos do solo*, delimitado pelo conjunto de diferentes utilizações do espaço para as funções urbanas – residenciais, industriais, residenciais, públicas, semipúblicas ou privadas.

Para Oke (2006) as características básicas mais importantes para a caracterização morfológica de recintos urbanos e identificação de escala de análise são:

- A estrutura urbana (dimensões dos edifícios e dos espaços entre eles, as larguras de ruas e espaçamento da rua),
- A cobertura urbana (*built-up*, pavimentado, vegetação, solo exposto, água),
- O tecido urbano (construção e materiais naturais);
- O metabolismo urbano (calor, água e poluentes, devido à atividade humana).

Essas quatro características básicas das cidades, quando analisadas em conjunto podem descrever classes/ categorias morfológicas urbanas. Por exemplo, a maioria das áreas centrais das cidades têm edifícios relativamente altos que são densamente próximos, onde o

solo é em grande parte coberto com edifícios ou superfícies pavimentadas como cimento, tijolo e asfalto, recebendo calor de condicionadores de ar, chaminés e veículos. O entendimento da estrutura edificada urbana pode

Oke (2006, p.11) apresenta uma classificação morfológica de estruturas urbanas denominadas de Zonas Climáticas Urbanas que constituem um conjunto simplificado de classes que inclui aspectos estudados por Auer (1978) e Ellefsen (1990/91). Esta classificação pode ser usada para descrever a estrutura urbana quanto à rugosidade, o fluxo de ar e acesso à radiação. Ou seja, indiretamente inclui aspectos de cobertura urbana, de tecido e o seu metabolismo (quadro 2.1).

Quadro 2.1: Classificação simplificada das formas urbanas distintas dispostas em ordem decrescente em relação à sua capacidade de afetar o clima local.

Zona Climática Urbana <i>UCZ</i>	Imagem	Classe de Rugosidade ³	Relação do <i>canyon</i>	% área construída
Área urbana intensamente edificada, com edificações altas e próximas, ex.: torres localizadas em grandes centros urbanos.		8	>2	>90
Área urbana intensamente edificada de alta densidade construída (m ² /ha), com edificações de 2 a 5 andares, ligados ou muito próximos. Os edifícios são frequentemente de tijolo ou pedra, por exemplo, núcleo antigo da cidade		7	1.0 a 2.5	>85
Altamente desenvolvida, de densidade urbana média, com edificações geminadas ou isoladas, com edificações residenciais e comerciais em proximidade. Ex. residenciais urbanos		7	0.5 a 1.5	70 a 85
Altamente desenvolvida, de baixa ou de média densidade urbana com área extensa de baixos prédios e estacionamento pavimentado, por exemplo shopping centers, armazéns		5	0.05 a 0.2	70 - 95
Desenvolvimento médio, baixa densidade suburbana com edifícios de 1 ou 2 andares, por exemplo: habitações suburbanas		6	0.2 a 0.6 Até > 1 com árvores	35 a 65
Uso misto, com extensos edifícios em paisagem aberta, por exemplo: instituições tais como hospital, universidade, aeroporto		5	0.1 a 0.5 Depende das árvores	< 40
Desenvolvimento Semi-rural, casas espalhadas em natural ou área agrícola, por exemplo: fazendas, sítios		4	>0.05 Depende das árvores	< 10

Legenda: construções vegetação solo impermeável solo permeável

Fonte Adaptado de Oke (2006), p.11.

³ Determina o atrito entre as superfícies. Rugosidade do terreno efetiva de acordo com a classificação de Davenport et al (2000) apud Oke (2006).

Quanto à rugosidade, a classificação das estruturas urbanas corresponde às classes abaixo citadas (as classes 1 a 3 referem-se a estruturas do meio rural/ natural) (DAVENPORT et al, 2000 apud OKE, 2006, p.21):

- **Classe 4 : Aproximadamente aberto:** local moderadamente aberto com eventuais obstáculos (por exemplo, prédios ou árvores baixas isolados) em separações relativas horizontais de no mínimo 20 alturas do obstáculo, Z_0 : 0,10m
- **Classe 5: Rugoso:** Obstáculos dispersos (edifícios) em distâncias relativas de 8 a 12 alturas do obstáculo para objetos sólidos baixos (por exemplo, edifícios); Z_0 : 0,25m
- **Classe 6: Muito Rugoso:** área moderadamente coberta por edifícios baixos em separações relativas de 3 a 7 de alturas do obstáculo e sem árvores altas. Análise requer Z_d^4), Z_0 : 0,5m
- **Classe 7: *Skimming*:** área densamente construída sem muita variação da altura do edifício. (requer análise z_d); Z_0 : 1,0m;
- **Classe 8: Caótico:** Cidade, centros com mistura de prédios baixos e altos, Z_0 : 2.0m.

2.2 As variáveis climáticas no contexto urbano

Radiação solar e temperatura do ar

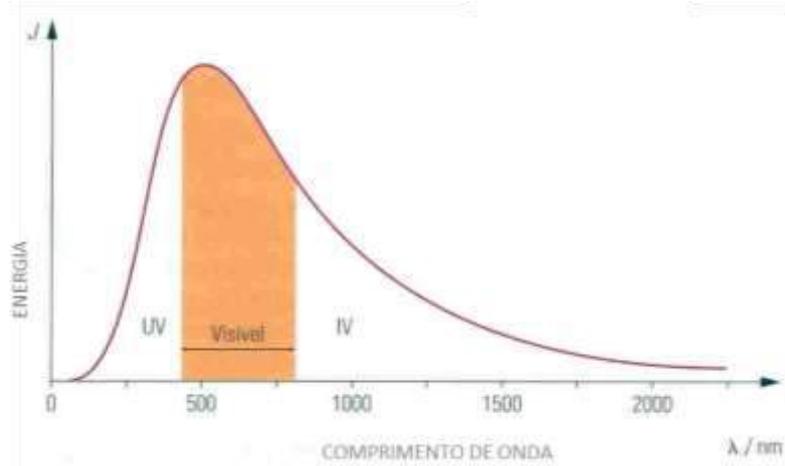
Seja residencial ou comercial, área central ou subúrbio, o uso do solo urbano representa uma alteração da paisagem natural. As vastas extensões de ruas impermeáveis, calçadas, estacionamentos, telhados e paredes alteram o balanço de energia térmica e o ciclo hidrológico no meio urbano.

O principal condicionante na formação dos diferentes tipos de climas e microclimas é a radiação solar. O espectro de energia solar apresenta uma distribuição similar à forma de sino sobre uma gama de comprimentos de onda que são convenientemente divididas em três parcelas (figura 2.4). A primeira parcela consiste na composição ultravioleta, cujo comprimento de onda é muito curto e invisível ao olho humano. Muitos dos fótons desta parcela são consumidos pela camada de ozônio na estratosfera. A redução do ozônio na estratosfera, resultante da intervenção humana com substâncias químicas, aumentou a quantidade desta radiação na superfície da terra. Sendo potencialmente prejudicial para a pele e os olhos humanos, a remoção desta parcela através de sombreamento pode ser um desenho objetivo de alguns locais. A maior parte da energia solar está presente nas demais parcelas que são aproximadamente iguais em tamanho. A energia visível (luz) é também utilizada pelas plantas no processo de fotossíntese. Já a energia solar infravermelha, possui um comprimento maior que a parcela de luz visível. Segundo Brown; Gillespie (1995, p. 47) as plantas (folhas) não utilizam esta parcela para seu crescimento e por isso, refletem ou

⁴ É importante incorporar a altura de deslocamento Z_d na avaliação do vento urbano. Efetivamente isso é equivalente a definir uma base para o vento logarítmica que reconhece o volume físico do dossel urbano. É como a criação de um novo “chão” da superfície do solo no ar, onde o fluxo dissipador se situa (figura 2.3).

transmitem a porção invisível (radiação infravermelha).

Figura 2.4: Parcelas de comprimentos de onda da energia solar



Fonte: Adaptado de BROWN; GILLESPIE (1995)

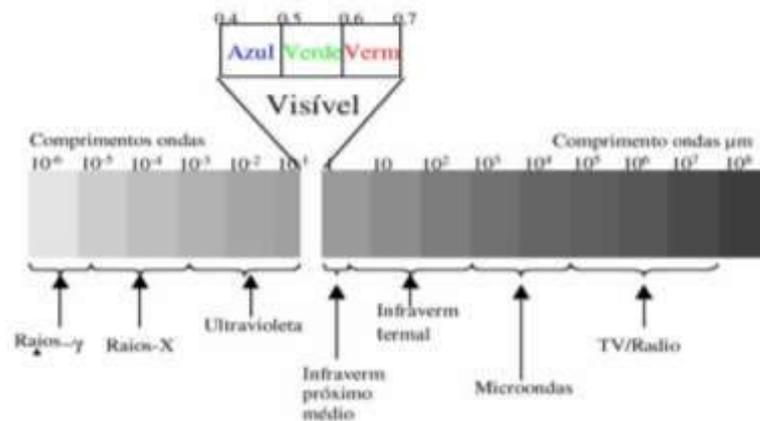
O **balanço de energia** se baseia na primeira lei da termodinâmica que afirma que a energia nunca é perdida. Ou seja, para qualquer superfície na Terra, toda a energia absorvida por meio de radiação ou através do calor antropogênico, vai para algum lugar, podendo aquecer o ar (troca de calor sensível – mudança de temperatura), ou ser evaporada com a umidade (troca de calor latente – mudança de estado físico), podendo ainda ser armazenada nos materiais em forma de calor.

A radiação com determinado comprimento de onda incidente em uma superfície pode ser tanto transmitida, refletida ou absorvida. Portanto, a soma da porção transmitida, refletida e absorvida será representada é igual a 1 (um).

Segundo OKE (1987) a energia radiativa é transmitida através de partículas eletromagnéticas, chamada fótons, que atuam como ondas. Os comprimentos de ondas que são abordados nas análises de clima urbano incluem algumas ondas do espectro ultravioleta e todas as ondas visíveis e infravermelhas. A radiação pode ser propagada no vácuo (não precisa de um meio para se propagar) e se desloca na velocidade da luz. A energia eletromagnética é emitida por qualquer corpo que possua temperatura acima de zero absoluto (0 Kelvin = -273°C). Assim, todo corpo com temperatura absoluta acima de zero pode ser considerado como uma fonte de energia eletromagnética (OKE, 1987; p.9).

A porção visível do espectro, sensível a visão humana corresponde a uma pequena extensão (0,36µm -violeta a 0,75µm -vermelho). O comprimento de onda da radiação proveniente do sol estende-se de 0,15 µm (ultravioleta) a 3,0 µm (próximo do infravermelho). Desta forma, para investigação da base atmosférica, cientistas classificam o intervalo de comprimento de onda entre 0,15 µm a 3,0 µm, como um intervalo de radiação de onda curta, já o intervalo correspondente a 3,0 µm a 100 µm, é denominado de radiação de onda longa (OKE, 1987; p.9).

Figura 2.5: Espectro Eletromagnético



Fonte: Figueredo (2008). Disponível em: <http://www.ufrgs.br/engcart/PDASR/referencias.html#40>

Segundo Gartland (2010), o **saldo de radiação** no meio urbano é influenciado a partir de quatro processos de radiação diferentes que ocorrem na superfície terrestre: a radiação solar global, a radiação solar refletida, a radiação atmosférica e a radiação da superfície. A radiação solar global corresponde à energia radiada pelo sol – onda curta (é variável de acordo com a hora do dia, com a estação do ano, nível de poluição e nebulosidade). A radiação solar refletida (onda curta) é a quantidade de energia que é refletida a partir de uma superfície, de acordo com a refletância do material (propriedade relacionada com a cor do material – quanto mais claro, próximo do branco maior a refletância). A radiação atmosférica corresponde ao calor emitido pelas partículas presentes na atmosfera – onda longa (poluição, nuvens, vapor d’água). A radiação da superfície (onda longa) é o calor radiado a partir de uma superfície (depende da temperatura superficial e da emissividade do material).

Como todas as superfícies emitem energia, segundo a Lei de Plank, o máximo de energia que pode ser emitida a partir de uma superfície perfeita (corpo negro), depende da quarta potência da temperatura da superfície (OKE, 1987; p.10):

$$\text{Energia emitida por um corpo negro} = \sigma T^4 \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$\sigma = \text{constante de Stefan-Blotzmann } (5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4)$$

Como nenhuma superfície real é um corpo negro, para as superfícies reais, a energia real emitida vai depender da emissividade de cada superfície:

$$\text{Energia real emitida} = \varepsilon \sigma T^4 \quad [\text{Eq. 2}]$$

A emissividade (valor entre 0 e 1) da maioria dos materiais não metálicos pode variar de 0,8 a 0,95 e de materiais metálicos pode variar de 0,1 a 0,6, e corresponde a capacidade de uma superfície emitir calor. A energia absorvida nas superfícies urbanas pode aquecer o ar acima destas superfícies, ou ser evaporada com a umidade ou até mesmo armazenada em

forma de calor. A equação do balanço de energia, segundo (OKE, 1987, p.274) é a seguinte:

$$Q_r + Q_T = Q_E + Q_L + Q_S + Q_A \quad \text{Eq. [3]}$$

Onde:

Q_r : saldo de radiação (incluindo os fluxos de radiação solar e fluxos de radiação de onda longa emitida pelos elementos opacos – construções e superfícies urbanas)

Q_T : calor antropogênico

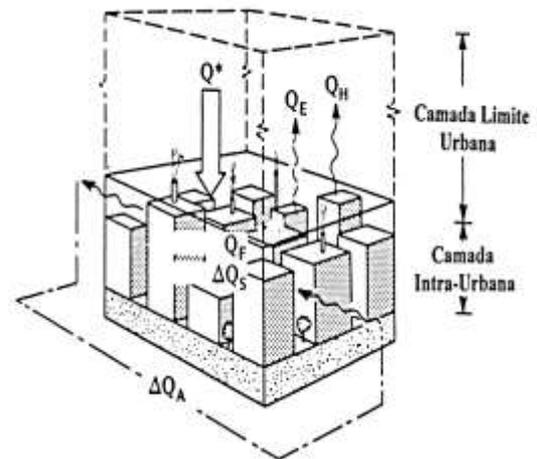
Q_E : perda de energia por calor sensível – convecção

Q_L : perda de energia por calor latente – evaporação

Q_S : calor armazenado

Q_A : é a energia líquida transferida para ou a partir do sistema através de advecção na forma de calor sensível ou latente. Pode ser ignorada nas áreas urbanas centrais rodeadas por uma densidade de construção quase uniforme, mas pode ser importante nas áreas limite entre o urbano e os ambientes rurais.

Figura 2.6: Fluxos envolvidos no balanço de energia de um volume urbano construção-ar.



Fonte: Oke (1987, p.275).

O calor antropogênico corresponde ao calor produzido pelo homem que é gerado no meio urbano por edifícios, pessoas, veículos e equipamentos. A convecção corresponde ao processo de troca de calor através de um sólido e um fluido (superfície terrestre e o ar acima dela). A convecção aumenta quando os ventos apresentam alta velocidade e quando as diferenças entre as temperaturas das superfícies e do ar são maiores (este processo é denominado também como troca de *calor sensível*, pois ocorre com mudança de temperatura entre os elementos). A evaporação é o processo de troca de calor onde a energia é transmitida a partir da superfície terrestre em forma de vapor d'água (é denominado também como troca de calor latente, pois além da mudança de temperatura ocorre a mudança de estado físico). A água presente em solos úmidos ou superfícies molhadas se transforma em vapor quando é aquecida pelo sol ou por outras fontes (o vapor d'água é transportado para atmosfera levando a energia solar) (GARTLAND, 2010, p.27). O armazenamento de calor dependerá das propriedades térmicas dos materiais, como a condutividade térmica⁵ e a capacidade calorífica⁶.

Assim, a radiação de determinado comprimento de onda incidente sobre uma

⁵ É capacidade do material de conduzir calor. No Sistema Internacional de Unidades, a condutividade é expressa em W/m.°C e indica a quantidade de calor (em Joules) transmitido em regime estacionário entre duas faces paralelas de um corpo homogêneo com espessura igual à 1 metro, durante o intervalo de tempo de 1 segundo, para cada metro quadrado de área, e para cada grau centígrado de diferença entre as temperaturas superficiais das faces (NBR 15220/2005)

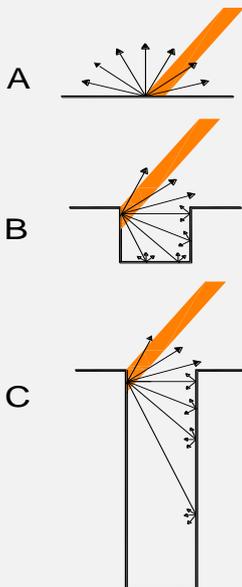
⁶ Quantidade de calor necessária para variar em uma unidade a temperatura de um sistema (NBR 15220/2005).

superfície pode ser transmitida, refletida ou absorvida. Este é o padrão de conservação de energia. Para expressar a parcela transmitida (τ), refletida (ρ) e absorvida (α) a partir da porção incidente de energia, são adotados os termos transmissividade, refletividade e absorvidade (Eq. 4)

$$\tau + \rho + \alpha = 1 \quad \text{Eq. [4]}$$

Estas são propriedades radiativas dos materiais (expresso em números adimensionais entre 0 e 1). A equação é adotada somente para o caso de um único comprimento de onda (λ). Na prática, é normalmente aceitável para a faixa de radiofrequência bastante ampla (OKE, 1987; p.12). Especificamente quanto à radiação solar denomina-se **albedo** a propriedade dos materiais que indica sua capacidade de refletir esta radiação (tabela 2.1). Quando expostos ao sol, materiais de alto albedo refletirão mais a radiação solar incidente, e portanto, mais baixas serão suas temperaturas superficiais.

Figura 2.7: Esquema de distribuição da radiação solar: a) Espaço plano aberto; b) Área construída caracterizada pela relação H/W próxima a 1 (média densidade), c) Área construída com relação H/W próxima a 4 (alta densidade construtiva).



Fonte: Givoni (1998)

No contexto urbano, além das propriedades térmicas dos materiais de revestimentos de solo e superfícies construídas, a geometria urbana apresenta forte impacto sobre as condições climáticas. Este impacto da radiação solar sobre o clima depende da razão entre a altura dos edifícios (H) e o espaçamento (largura) entre eles, a relação H/W dos espaços entre os edifícios (OKE, 1981; GIVONI, 1998). Ludwing (1970) apud Givoni (1998) apresenta pioneiramente uma análise do efeito desta relação na radiação e temperatura do ar próximo ao solo (figura 2.7).

Na situação A, na área plana aberta, a maior parte da radiação solar é refletida ou emitida para longe, depois da absorção, como radiação de ondas longas para o céu. Em uma área de média densidade, condição B, grande parte da radiação refletida atinge outros edifícios ou o solo e é absorvida perto do nível do solo. Na área de alta densidade, condição C, a maior parte da absorção ocorre acima do solo. Assim, a quantidade de radiação que atinge o solo e aquece o ar perto deste solo é menor do que no caso da condição de média densidade.

Tabela 2.1: Valores de albedo (ondas curtas) e emissividade(ϵ) para radiações a temperaturas comuns (ondas longas) de alguns materiais adotados nas estruturas urbanas

Materiais	Albedo (%)	Emissividade (%)
Concreto	10-50	71-90
Asfalto	5-15	95
Tijolo	20-50	90-92
Pedra	20-35	85-95
Parede pintada na cor branca	50-90	85-95
Parede pintada na cor preta	2-15	90-98
Telhado de ardósia	10	90
Telhado de cerâmica		85-95

Fonte dos dados: Brown, Gillespie (1995)

O impacto da urbanização na temperatura do ar tem sido diagnosticado em diversos estudos que comparam as temperaturas em áreas urbanas e áreas rurais. Tem sido comprovado que as cidades são mais quentes que seu entorno rural, especialmente à noite. Este fenômeno é conhecido como ilha de calor urbana (LANDSBERG, 1981; OKE, 1981, 1987, 1995; LOMBARDO, 1985; ARNFIELD, 2003) A *ilha de calor* surge devido à redução de emissões de radiação de onda longa pela superfície da cidade (que permanece presa nos edifícios altos), redução do fluxo de calor latente e aumento do fluxo de calor sensível por causa de uma maior área de superfície impermeável e do armazenamento de calor em materiais urbanos durante o dia em que é liberado durante a noite.

O primeiro estudo documentado sobre calor urbano foi desenvolvido em 1818, sobre o clima de Londres realizado por Luke Howard (HOWARD, 1833). Posteriormente, Emilen Renou realizou constatações similares em Paris (RENOU, 1855). Wihelm Schimidt, diagnosticou o fenômeno de aquecimento na cidade de Viena entre 1917 e 1929. Nos Estados Unidos os estudos sobre as modificações climáticas só ocorreram a partir da primeira metade do século XX (MITCHELL, 1961).

As pesquisas sobre a interferência do processo de urbanização na formação do Clima Urbano foram sistematizadas a partir da década de 1970, destacando-se, neste panorama, as pesquisas desenvolvidas por Timothy Oke. As investigações iniciais basearam-se na correlação do aumento de temperatura e da população da cidade (OKE, 1973). Posteriormente, sua análise evoluiu pra a observação dos fluxos de calor no ambiente urbano, inovando a partir da abordagem da análise de correlações entre as variáveis de planejamento e o clima da cidade (OKE, 1982; OKE, 1988). Nesta abordagem, considera-se o sítio urbano um sistema termodinâmico fechado de entradas e saídas conhecidas, que poderia, portanto, ser avaliado a partir de um cálculo de balanço energético. São analisadas as relações dimensionais entre os edifícios e os efeitos no clima, com impactos na ventilação, qualidade do ar, insolação e capacidade energética do tecido urbano, considerando como unidade de avaliação o *canyon* urbano⁷.

⁷ Entendido como uma composição formada por uma rua margeada por uma série de edifícios. A relação geométrica entre edificações é um fator decisivo na interação do espaço construído com o clima, principalmente a relação abordada por Oke (1988) determinada pela razão: Altura (do edifício)/ Largura (da via).

Oke (1981) introduziu o termo *urban canyon* e apresentou uma análise quantitativa detalhada do balanço de energia e resultados de medições de cânions urbanos em Vancouver, British Columbia, tendo uma relação de H/W de 0,9. Neste estudo verificou-se que cerca de 60% do ganho solar ao meio-dia foi transferido como calor sensível para o ar contido no volume do *canyon*, cerca de 30% foi armazenado na massa construída do *canyon* (para ser libertado durante a noite) e cerca de 10% foi consumido por evaporação a partir das superfícies. A partir então Oke desenvolveu modelos preditivos para avaliar a intensidade de ilhas de calor urbanas que corresponde à característica mais evidente do clima urbano, representado pelo aumento da temperatura do ar na cidades em relação ao entorno rural.

Estudos posteriores foram realizados ainda em Vancouver, comparando detalhadamente o balanço de energia entre áreas suburbanas e rurais (OKE, McCaughey 1983, Oke, Cleugh 1987; Grimmond, 1992, Roth, Oke 1995). Estes estudos comprovaram que a maior diferença entre áreas rurais e urbanas corresponde a redução no fluxo de calor latente (QL) e aumento do armazenamento térmico (Qs), aumentando os ganhos térmicos através de calor sensível, nas áreas urbanas. Uma dos aspectos avaliados, a Razão de Bowen⁸, em áreas suburbanas, devido à redução do fluxo de calor latente apresenta valores elevados e superiores à área rural.

Segundo Gartland (2010), as principais características urbanas que contribuem para a formação de ilhas de calor e os respectivos efeitos no balanço de energia urbano são as seguintes (quadro 2.2):

Quadro 2.2: Principais causas da formação de ilhas de calor urbanas

Fatores que contribuem para a formação de ilhas de calor	Efeitos no balanço de energia
Falta de vegetação	Reduz evaporação
Utilização difundida de superfícies impermeáveis	Reduz a evaporação
Maior difusividade térmica dos materiais urbanos	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa refletância solar dos materiais urbanos	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas acumulam calor	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz as trocas de calor por convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta o saldo de radiação

Fonte: Gartland (2010).

Desta forma, a base física para o desenvolvimento da ilha de calor urbana tem sido compreendida através do conceito de *canyon* urbano, onde a arquitetura da cidade é representada por um corte esquemático de uma rua ladeada por edifícios em ambos os lados. A geometria do *canyon*, (figura 2.8) especialmente a altura relativa dos edifícios e a largura da via, afetam o balanço de radiação na cidade através da redução da emissão de radiação de

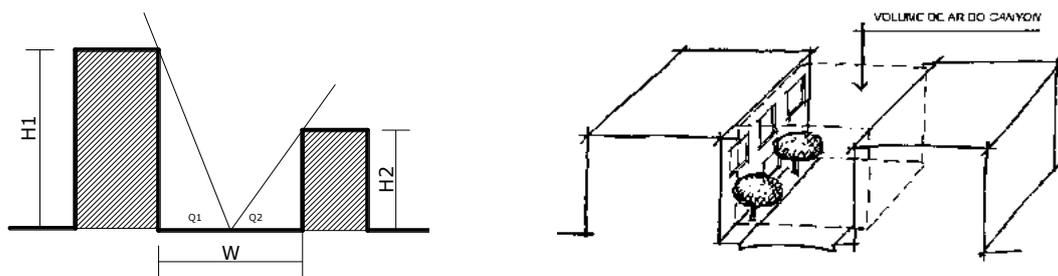
⁸ Razão de Bowen (1926), determinada pelo fluxo de calor sensível (H) e o fluxo de calor latente (λE). Ou seja, $\beta = H / \lambda E$

BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface, **Physical Review**, Ithaca, v.27, p.779-787, 1926.

onda longa e pelo decréscimo do albedo das superfícies do meio urbano.

Estudos sobre o balanço de energia de *canyons* urbanos confirmam a importância da altura das construções e da largura das vias na determinação do aprisionamento de radiação no *canyon*, provocando o aquecimento térmico (NUNEZ, OKE; 1976, OKE, 1987; ARNFIELD, MILLS; 1994, ELIASSON, 1996, ARNFIELD, GIMMOND, 1998). O calor é radiado a partir das superfícies urbanas de maneira difusa ou regular em todas as direções. Dependendo da geometria do *canyon*, a maior parte da radiação pode ser capturada pelas paredes dos edifícios ao invés de escapar para a atmosfera, aumentando o nível do saldo de radiação em áreas urbanas, dificultando assim o resfriamento das áreas urbanas, principalmente após o pôr do sol. A formação e intensidade da ilha de calor depende das condições de tempo. A diferença de temperatura entre a área urbana e rural é geralmente maior à noite, especialmente com céu limpo e condições de calmaria. É menor com a influência de nebulosidade e incidência de ventos locais.

Figura 2.8: a) Representação da variação da unidade geométrica - *urban canyon* ou street canyon; b) Corte esquemático de um *canyon* urbano com o volume de ar contido.



Fonte: adaptado de Oke (1987)

A geometria do *canyon* afeta o balanço de radiação, reduzindo a emissão de radiação de ondas longas das superfícies da cidade e diminuindo o albedo. O aprisionamento de radiação dentro de um *canyon* urbano ocorre devido a mudanças no *fator de visão do céu* (FVC). Segundo Souza et al (2010), o fator de visão do céu (FVC) é um parâmetro adimensional também chamado de fator de configuração ou ainda fator angular. Ele indica uma relação geométrica entre a Terra e o céu e representa uma estimativa da área visível de céu (por apresentar normalmente sua temperatura inferior à da superfície terrestre, influencia significativamente o balanço de energia). O valor do FVC varia de 0 (zero) a 1, sendo o valor 1 correspondente a uma área sem qualquer obstáculo que se interponha entre o ponto escolhido e o céu.

Oke (1981) desenvolveu um modelo analítico, a partir de regressão linear que relaciona o FVC com a intensidade máxima da ilha de calor. Desde então, o FVC tem sido comumente utilizado em estudos de trocas de energia em espaços urbanos. Alguns pesquisadores apontam que os métodos adotados para análise do clima urbano desenvolvidos na década de 80, assumiam *canyons* com dimensões ideais” (simétricos de profundidade infinita), gerando resultados estimados. Como esta simplificação não corresponde à forma urbana de algumas cidades, as quais apresentam edificações com perfis verticais

diversificados, o fator de visão do céu (FVC), pode ser considerado um parâmetro mais próximo da realidade (OKE, 1981; SOUZA RODRIGUES; MENDES; 2003; UNGER, 2004; CHAPMAN E THORNES, 2004).

Ventilação

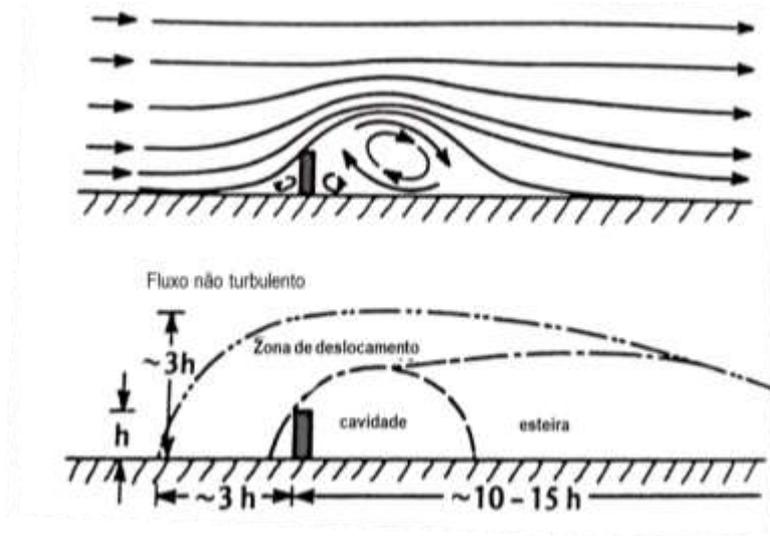
A ventilação (movimento do ar) é resultado das diferenças de pressão atmosférica verificadas pela influência direta da temperatura do ar, deslocando-se horizontalmente e verticalmente. O movimento horizontal está relacionado às diferenças de temperatura da superfície terrestre, e o movimento vertical, ao perfil de temperatura do ar.

Estudos em campo e em túnel de vento mostram que a geometria dos cânions urbanos e a organização dos edifícios e ruas dentro de recintos pode ter um grande efeito sobre o fluxo de ar e ventilação em bairros (Oke 1988; Golany 1996). A velocidade e direção do vento pode variar muito dentro da UCL- *Urban Canopy Layer* ou Camada Urbana ao nível das coberturas, onde a velocidade é muito reduzida em comparação com a atmosfera acima do nível do telhado e depende do tamanho, forma e disposição dos edifícios, e outras obstruções como árvores e a topografia da área (PEARLMUTTER et al. 2011).

Para favorecer as trocas térmicas por convecção (troca de calor sensível), é importante verificar o padrão de ventilação no meio urbano. Porém, de todos os elementos climáticos, o vento apresenta maior modificação pelo processo urbanização. Mas, a ventilação urbana pode ser controlada e modificada pelo desenho urbano.

Segundo Oke (1987, p.241), mesmo antes da massa de ar alcançar um obstáculo ele começa a reagir por causa do acúmulo de pressão localizado à frente da barreira. A maior parte do fluxo é forçado a deslocar-se sobre a barreira. Imediatamente, acima da barreira, as linhas de corrente são forçadas a convergir na direção da mesma massa de ar, parecendo “espremer” sobre esta, causando uma aceleração ou jato. Mas, sobre à barreira esta massa de ar é capaz de se expandir novamente e, conseqüentemente, desacelera. Este comportamento ocorre na chamada *zona de deslocamento* (figura 2.9). Depois de atravessar a barreira, caso haja espaço disponível, a expansão aumenta de repente, mas o fluido não pode reagir imediatamente para preenchê-lo. Por isso, o fluxo se separa da superfície da barreira e sua organização divide-se em uma condição muito mais turbulenta em baixa pressão, conhecida como *zona de esteira* que se estende na direção do vento após a barreira. Imediatamente na área posterior à barreira, a pressão é baixa, isso tende a sugar o ar em um redemoinho semi-estacionário, conhecido também, como vortex ou sombra de vento.

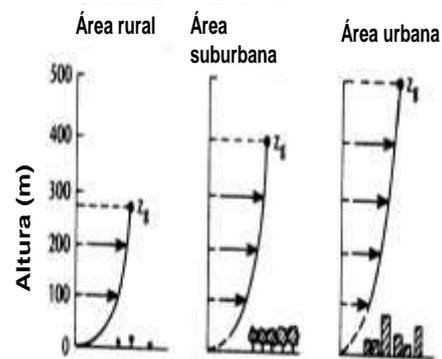
Figura 2.9: Fluxo aerodinâmico, zonas associadas com o padrão típico do fluxo de ar influenciado por uma barreira sólida localizada à normal do fluxo. Dimensões expressas em múltiplos da altura da barreira, h .



Fonte: Oke (1987, p.243).

Oke (1996) define a rugosidade (Z_g) de uma estrutura urbana como um parâmetro que expressa a morfologia geométrica da superfície, cujo conceito significa a medida da rugosidade aerodinâmica da superfície, relacionada, à altura dos elementos, como também, à forma e distribuição da densidade destes, afetando diretamente a velocidade das massas de ar que alcançam a estrutura urbana. A rugosidade interfere, portanto, no perfil vertical do vento, conhecido como gradiente de vento (figura 1.10).

Figura 2.10: Representação esquemática do perfil do vento em diferentes ambientes, a partir da influência do tipo de rugosidade.



Fonte: Oke (1996).

Segundo Givoni (1998, p. 261) a rugosidade urbana pode ser mensurada a partir de diversos modelos numéricos, descritos e formulados por pesquisadores desde a década de 60, como Davenport (1960), Munn (1970), Candler (1976). Segundo Oke (1996), a rugosidade urbana pode ser expressa pela avaliação da altura média dos elementos da estrutura urbana e pela área da face da estrutura perpendicular à direção do vento (equação 5).

$$Z_g = 0,5h \left(\frac{A^*}{A'} \right), \quad \text{Eq.[5]}$$

Onde:

h = altura média do elemento de rugosidade (m);

A^* = área de silhueta, ou área da face do elemento, na direção perpendicular à do vento (m^2);

A' = área ocupada pelo elemento (m^2)

Analisando a figura 2.10, verifica-se que o perfil vertical do vento (gradiente de vento) determinado pela rugosidade da estrutura urbana, afeta diretamente a velocidade das massas de ar na camada acima das coberturas. Quanto maior a rugosidade do conjunto edificado, maior será a altura de alcance da velocidade máxima dos ventos.

Devido à dificuldade de sua medição para problemas práticos relacionados ao meio ambiente urbano, Oke (1987), indica os seguintes valores típicos para rugosidade em terrenos urbanizados, expressos na tabela 2.2:

Tabela 2.2: Valores típicos da rugosidade Z_g para terrenos urbanizados

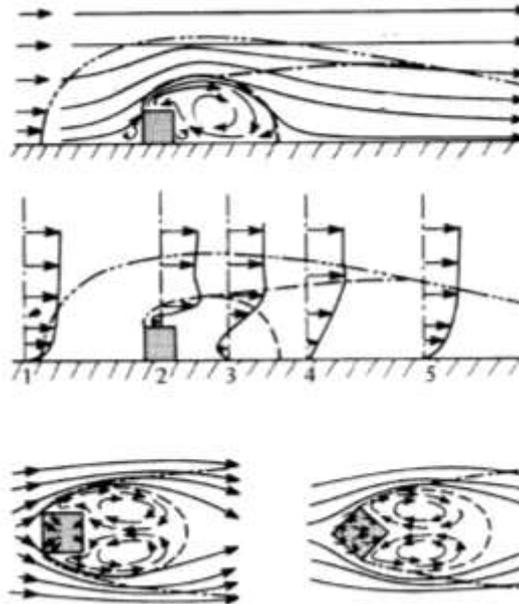
TERRENO	Z_g (m)
Povoados esparsos (fazendas, vilas, árvores, sebes)	0,2 – 0,6
Suburbano, baixa densidade, residências e jardins	0,4 – 1,2
Suburbano, alta densidade	0,8 – 1,8
Urbano, alta densidade, fileira de edificações e blocos com < 5 pavimentos	1,5 – 2,5
Urbano, alta densidade urbana, blocos de multiandares	2,5 – 10

Fonte: Oke (1987, p.298)

A razão H/W em conjunto com o comprimento (L) de um *canyon* urbano define o grau da rugosidade a superfície urbana. Isso afeta a velocidade do ar no nível acima do telhado, como também, o grau de mistura das massas de entre a Camada Intraurbana -UCL e:- Camada Limite Urbana –UBL, como também a quantidade de sombra de vento – área de estagnação de ar (Oke, 1988).

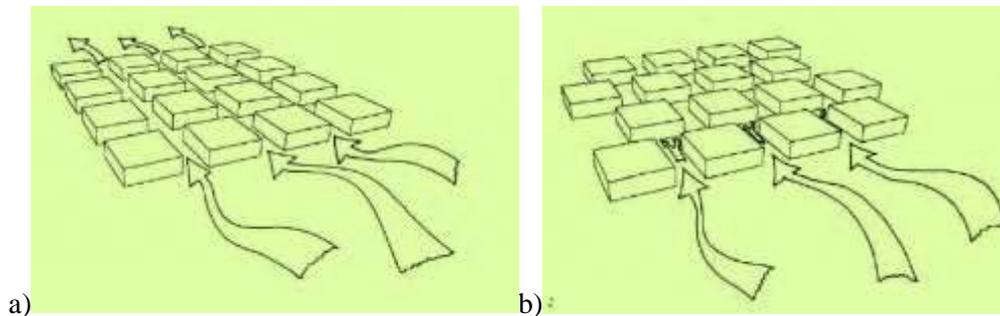
Uma forma urbana mais compacta pode restringir a troca de ar no nível do pedestre e a mistura de ar acima do nível das coberturas, levando à redução do acesso ao ar fresco, à concentração de poluentes e de acumulação de calor entre os edifícios. Enquanto um sistema de grade compatível com o fluxo de ar pode favorecer a penetração de ventos profundamente em uma cidade, um conjunto edificado de ruas bloqueadas impedem a distribuição do fluxo de ar. Oke (1988) sugere uma razão H/W para o canyon de 0,65 com uma densidade de construção de 0,25 para favorecer o efeito máximo da rugosidade para a troca de ar e dispersão no nível da rua.

Figura 2.11: Efeito da turbulência e formação de sombras de vento em diferentes posicionamentos da massa edificada.



Fonte: Oke (1987, pp. 265).

Figura 2.12: A configuração do arranjo urbano influencia o grau de penetração das massas de ar: a) grade compatível com o fluxo de ar; b) conjunto edificado de ruas bloqueadas



Fonte: Golany (1996)

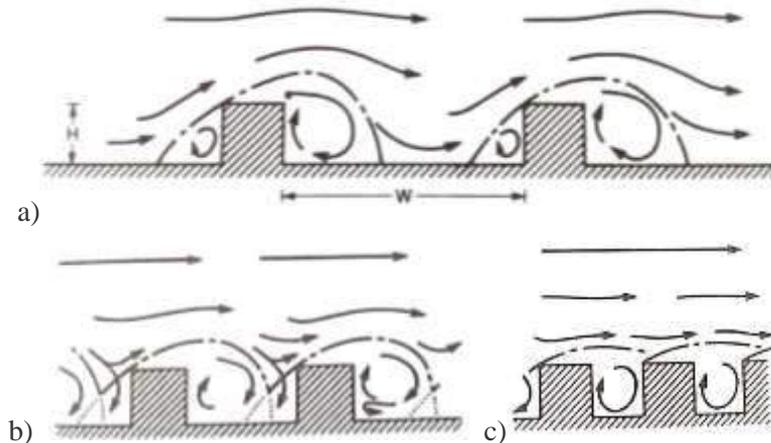
Um bairro homogêneo com construções de altura uniforme, apresentando distâncias estreitas entre os edifícios, em geral, apresenta menor potencial de aproveitamento da ventilação, comparado a um bairro com uma variação de alturas de construção, ou seja, com maior rugosidade da superfície, facilitando as trocas térmicas e a distribuição das massas de ar (Golany, 1996).

Segundo Oke (1987, p.267), existem três formas de avaliar a interferência da geometria das configurações urbanas na ventilação natural (figura 2.13):

- a) **Fluxo com rugosidade isolada:** quando as edificações são dispostas espaçadamente entre si, fazendo com que não haja interferência no fluxo de ar dos obstáculos que estão a sotavento (área oposta à incidência direta da massa de ar)

- b) **Fluxo com interferência de esteira:** quando a esteira do vento, ao atingir os obstáculos a sotavento, causa interferência no fluxo de ar.
- c) **Fluxo turbulento (zona de circulação do ar):** quando a distância entre dois obstáculos é tão estreita que o fluxo de ar é desviado para cima dos obstáculos, ocasionando um movimento turbulento no espaço entre esses obstáculos.

Figura 2.13: Interferência da geometria das configurações urbanas na ventilação natural: a) Fluxo com rugosidade isolada; b) Fluxo com interferência de esteira, c) Fluxo Turbulento

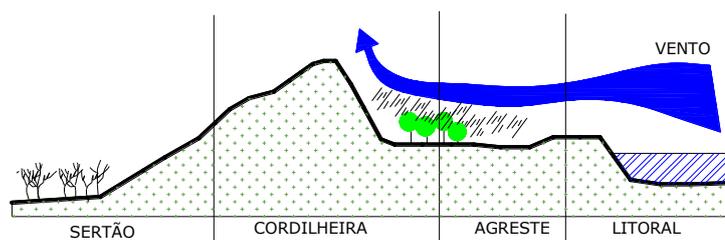


Fonte: Oke (1987, p.267)

Desta forma, em climas tropicais quentes e úmidos, o aproveitamento das massas de ar para trocas térmicas e dissipação do calor armazenado nas estruturas urbanas pode ser altamente comprometido caso a estrutura urbana não propicie o deslocamento das massas de ar e a minimização das perdas de velocidade dos fluxos no nível microclimático. Desta forma, as pesquisas e aportes teóricos da climatologia devem subsidiar o processo de desenho urbano e planejamento das cidades, principalmente para subsidiar o processo de ajuste do adensamento construtivo urbano, que será discutido no próximo capítulo.

As condições topográficas de sítios urbanos também apresentam forte influência no comportamento das massas de ar incidentes em conjuntos edificados. Um relevo acidentado pode atuar como barreira à ventilação modificando, muitas vezes, as condições de umidade e de temperatura do ar em escala regional (figuras 2.4). Além disso, a topografia influencia na redução de temperatura, quando ocorrem mudanças na elevação e orientação do sítio, devido à diferença de radiação solar incidente.

Figura 2.14: Deslocamento e desvio de massas úmidas: falta de chuva no sertão.

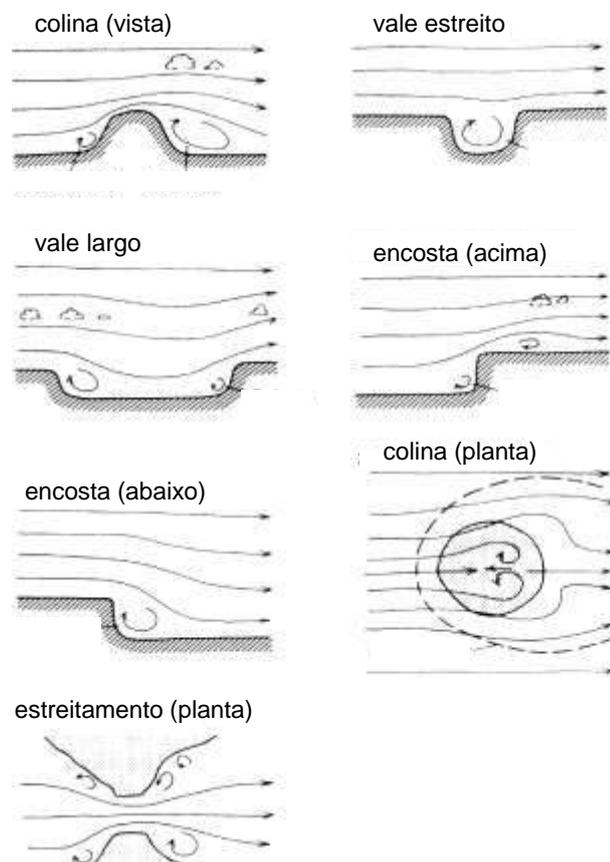


Fonte: adaptado de Bustos Romero (1988, p.30).

Segundo Bustos Romero (1988), referindo-se a influencia da altitude nas condições climáticas, o gradiente termométrico do ar é de aproximadamente 1°C para cada 200m de altura, com pouca variação em relação à latitude e às estações do ano.

O posicionamento do sítio dos recintos urbanos em relação à topografia local pode resultar, também, em benefícios para a qualidade térmica dos assentamentos. Ou seja, a posição privilegiada do sítio no qual se assenta o conjunto urbano pode facilitar a exposição à ventilação predominante, amenizando as suas possibilidades de armazenamento de calor nas massas edificadas. Porém, posições desprivilegiadas em relação à incidência das massas de ar, como a de vale estreito ou à sotavento de morros e colinas, podem prejudicar o desempenho climático de estruturas urbanas por não permitir a dissipação de poluentes, de calor antropogênico e energia térmica acumulada nos elementos construídos (figura 2.15).

Figura 2.15: Diferentes efeitos do relevo no padrão de distribuição das massas de ar



Fonte: Oke (1987, p.185)

A umidade do ar e os benefícios da vegetação

A disponibilidade de umidade é outro fator que influencia significativamente o microclima urbano. A evaporação da água remove a energia do ar, reduzindo a sua temperatura. Da mesma forma, o processo de evapotranspiração através de plantas tem um efeito de resfriamento, pelo incremento da umidade do ar no nível microclimático.

A quantidade de água disponível no ambiente é determinada por processos meteorológicos, incluindo a precipitação e a capacidade de armazenamento no solo. O processo de urbanização implica, cada vez mais, na substituição de superfícies naturais por materiais impermeáveis, que em geral se intensifica com densidade de construção. Em um ambiente urbano cada vez denso, a gestão nos períodos de maior pluviosidade representa um desafio para as cidades. As águas pluviais, como tal, são consideradas como um incômodo permanente, sendo subutilizadas e desprezadas como potencial para o incremento das condições microclimáticas urbanas (TROY 2008 apud IRGER, 2014).

O acúmulo de superfícies impermeáveis nas cidades que são projetadas para drenar a água da chuva tão rapidamente quanto possível contribui para a formação de um ambiente urbano muito seco. A falta de resfriamento evaporativo (transferência de calor latente) deixa mais energia disponível para aquecer o ar (aumento de calor sensível), resultando, conseqüentemente, em temperaturas urbanas elevadas. Apesar da maior quantidade de vapor presente na atmosfera urbana em função das atividades antropogênicas, a umidade relativa é menor na cidade, em torno de 6% em média (LANDSBERG, 1981), se comparada com o campo, devido ao incremento da temperatura urbana.

Devido à redução da umidade relativa do ar no meio urbano, muitas pesquisas apontam a importância da vegetação para a amenização térmica dos espaços urbanizados pela capacidade de incremento da umidade através do processo de evapotranspiração relacionado com a fotossíntese (BROWN, GILLESPIE, 1995; BARBOSA, 2005; IRGER, 2014).

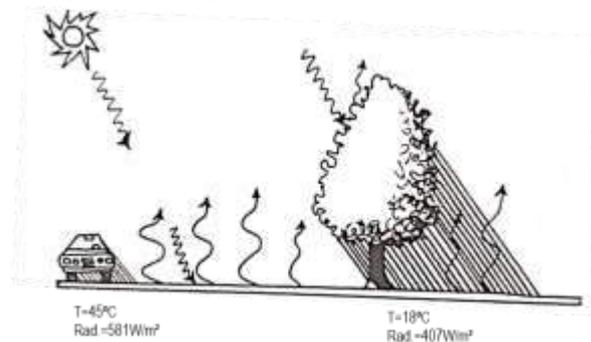
Como a taxa de fotossíntese depende da quantidade de radiação solar direta recebida pelas folhas, o resfriamento através da evapotranspiração só pode ocorrer durante o dia e é mais forte no topo de árvores. A capacidade de resfriamento evaporativo da vegetação depende do tipo de espécie da planta, da disponibilidade de água e das condições meteorológicas prevalentes de uma localidade (ERELL, PEARLMUTTER et al. 2011).

Enquanto a vegetação bloqueia o acesso à radiação solar nas superfícies urbanas favorecendo a redução significativa de temperatura durante o dia, ela também bloqueia a dissipação de radiação de onda longa no período noturno provocando a retenção de calor dentro na camada intraurbana - UCL (IRGER, 2014). Conseqüentemente, áreas cobertas por árvores apresentam temperaturas do ar mais baixas durante o dia, enquanto proporciona um ambiente mais quente à noite, especialmente, em relação às áreas expostas sem qualquer vegetação alta. Esse efeito torna-se positivo no período de inverno.

Dependendo da estrutura da folha e da área da copa, uma cobertura vegetal pode reduzir a penetração da luz solar em até 85 por cento (GIVONI 1998). O albedo médio de árvores é comparável ao do concreto, com 12% a 15% de refletividade, enquanto superfícies gramadas, correspondem a 20% de reflexão da luz solar (ERELL, PEARLMUTTER et al. 2011). A vantagem deste comportamento é que a radiação de onda curta torna-se menos refletida para o entorno em comparação com uma superfície de alto albedo: como uma pavimentação de cor clara, por exemplo, o que combinado com a redução de emissão de radiação de onda longa através da evapotranspiração, contribui para a melhoria de conforto

térmico humano e redução de calor urbano.

Figura 2.16: Radiação emitida por superfícies urbanas em função da sua temperatura. Quanto maior a temperatura superficial maior a intensidade de radiação emitida.



Fonte: Brown, Gillespie (1995 p.99).

Desta forma, é possível compreender que os elementos climáticos - especialmente a *temperatura, umidade, radiação*, as massas de ar e precipitação sofrem influência do ambiente urbano, atuando de forma integrada, influenciando-se mutuamente. No quadro 2.3, são descritas as principais modificações no comportamento das variáveis climáticas apontadas por Landsberg (1981, p. 258).

Quadro 2.3: Alterações climáticas locais produzidas pelas cidades

ELEMENTOS	OBSERVAÇÃO	COMPARAÇÃO COM AMBIENTE RURAL
Radiação	Total sup. horizontal	10-20% menos
	ultravioleta, inverno	30% menos
	ultravioleta, verão	5% menos
	duração insolação	5-15% menos
Poluentes	núcleos de condensação	10 vezes mais
	partículas em suspensão	10 vezes mais
	misturas gasosas	5-25 vezes mais
Nebulosidade	nuvens	5 a 10% mais
	névoa (inverno)	100% mais
	nevoa (verão)	30% mais
Precipitação	total	5 a 15% mais
	dias com <5mm	10% mais
	queda de neve, na cidade	5 a 10% menos
	neve no limite da cidade	10% mais
	tempestades	10 a 15% mais
Temperatura	média anual	0,5 a 3 C mais
	mínima de inverno (média)	1 a 2 C mais
	máxima de verão (média)	1 a 3 C mais
	dias uso aquecimento	10% menos
Um. Relativa	média anual	6% menos
	inverno	2% menos
	verão	8% menos
Veloc. Ventos	média anual	20 a 30% menos
	rajadas máximas	10 a 20% menos
	calmarias	5 a 20% mais

Fonte: adaptado de Landsberg (1981, p. 258)

2.3 Modelos para análise do Clima Urbano

Os estudos e investigações sobre os processos de fluxos e armazenamento de energia e umidade em ambientes urbanos permitem uma melhor caracterização da superfície atmosférica afetada pela urbanização. A compreensão destes fenômenos pode subsidiar a identificação de soluções para minimizar os efeitos negativos decorrentes do processo de alteração climática no meio urbano. Por isso, algumas pesquisas têm sido fundamentadas na elaboração e utilização da modelagem matemática, tanto para o entendimento destes fenômenos, como também, como recurso para a previsão de fenômenos. Além disso, a modelagem matemática pode ser uma alternativa aos trabalhos de campo para obtenção de informações, dependendo das especificidades do modelo.

Avaliar o balanço energético urbano, entretanto, é uma tarefa complexa, devido ao grande número de fenômenos envolvidos em cada termo da equação do balanço e à dificuldade de sua precisa quantificação (BARBIRATO, 1998). Por isso, apreensão da realidade climática urbana como um todo se torna inviável. Para a compreensão dos fenômenos atmosféricos urbanos é necessário, portanto, a utilização de modelos que correspondem a formulações conceituais, físicas ou matemáticas, fundamentadas apenas nas características mais relevantes da realidade.

A maior parte dos modelos climáticos urbanos vistos na literatura técnica disponível baseia-se em locais com um banco de dados climáticos considerável apresentando um suporte científico (instrumentação e pesquisas prévias) necessário. A modelagem matemática é, portanto, já bastante usada hoje em pesquisas sobre climatologia urbana para cidades de latitudes médias.

Um dos modelos clássicos fundamentados em observações empíricas foi formulado por Oke (1973) que relacionou a intensidade da ilha de calor à população da área urbana e à velocidade média do vento. Posteriormente, Oke (1981) aprimorou seu modelo analisando fluxos de radiação de onda longa para o fundo do céu, a partir da razão de aspecto do *canyon* (H/W) ou fator de visão do céu relacionando-os com o aumento da temperatura do ar.

Algumas formulações matemáticas podem ser baseadas a partir de um aporte teórico, como por exemplo, nas leis da física de transferência de calor, entendendo que o meio urbano é um sistema atmosférico fechado, onde a energia que entra deve sair (MYRUP, 1969; BORNSTEIN, 1975). Bornstein (1986) classificou em duas categorias os modelos climáticos urbanos de balanço de energia: os modelos da camada intra-urbana (“Urban Canopy Layer” - UCL), ou modelos de microescala, que calculam o balanço de energia de um “canyon” urbano ou edifício; e os modelos da camada limite urbana (“Urban Boundary Layer” - UBL), ou modelos de mesoescala.

Desde então, as modificações climáticas no meio ambiente urbano têm sido objeto de inúmeras investigações, em especial o desenvolvimento de modelos numéricos que procuram caracterizar a complexa superfície urbana e seu balanço energético (TSO et al., 1990; OKE et

al., 1992; MILLS, 1997, OKE et al., 1999, entre outros). Observa-se que ainda muito pouco do que é estudado na área refere-se a sistemas climáticos tropicais.

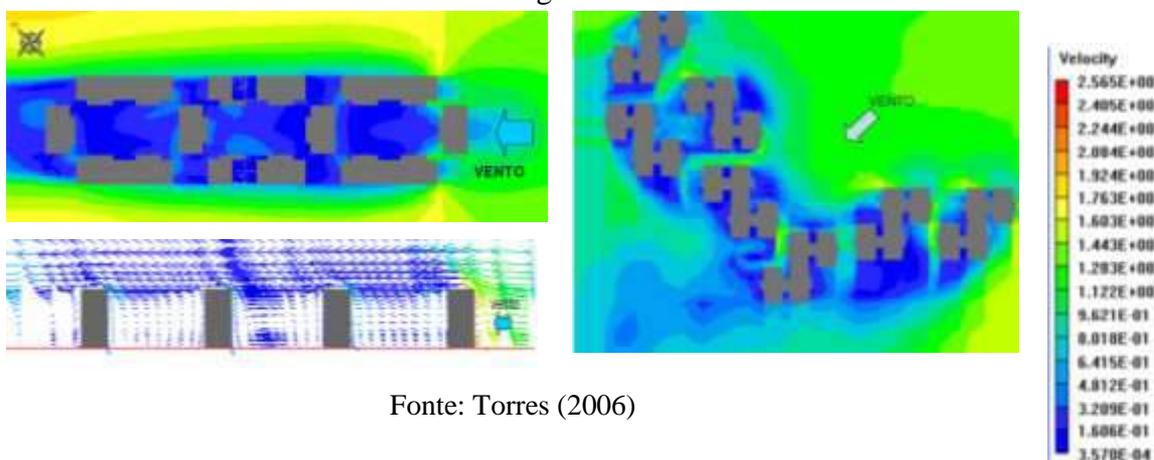
Duarte (2000) desenvolveu um modelo para a análise das condições térmicas da cidade de Cuiabá. Foi elaborado com parâmetro para análise do clima urbano (I) que é fundamentado na relação da taxa de ocupação do solo (T.O), o coeficiente de aproveitamento (C.A), superfície de água (SA) e área arborizada (ARB) (equação 6). O modelo foi deve ser aplicado para diagnóstico de áreas urbanizadas e resultado deve ser inferior a 2 para evitar condições de acúmulo de calor na área urbana, caso contrário os parâmetros de ocupação devem ser ajustados.

$$I = \frac{TO .CA}{SA .ARB} \dots\dots\dots \text{Eq. [6]}$$

Modelos analíticos podem ser aplicados no desenvolvimento de ferramentas computacionais para facilitar a utilização das formulações físicas e matemáticas referentes à análise de fenômenos da atmosfera urbana. Por isso, atualmente tem se intensificado as discussões sobre diferenças entre modelagens e observações de campo, a complexidade do mundo real e as simplificações da realidade dos modelos numéricos. Os avanços tecnológicos contemporâneos como o uso de computadores com maior capacidade de processamento de dados e melhores parametrizações constituem um importante potencial para subsidiar os processos de geração da informação sobre fenômenos climáticos, como também, para o aproveitamento destas informações no processo de planejamento urbano.

Algumas ferramentas computacionais são fundamentadas na dinâmica dos fluidos computadorizada- CFD (*Computer Fluid Dynamics*) constituindo uma alternativa aos tradicionais túneis de vento nos estudos de ventilação natural. Tais programas fornecem resultados através de vetores que indicam o direcionamento do fluxo do vento incidente, como também através de manchas de cores que correspondem a diferentes campos de velocidades do vento, modificadas a partir da interferência dos obstáculos construtivos e diferenças de pressão (figura 2.17)

Figura 2.17: Exemplo de simulação computacional de arranjo urbano com a utilização de Programa Phoenix.



Fonte: Torres (2006)

Pesquisas recentes relacionadas com análise do clima urbano na escala microclimática tem adotado o modelo computacional **ENVI-met** para análise do comportamento de diversas variáveis climáticas. Originalmente desenvolvido na Alemanha para zonas climáticas temperadas, este modelo tem sido aplicado com sucesso em vários estudos (SIMON, 2016; MIDDEL et al 2013; YOUNSI, KHARRAT, 2015; MALEKI, MAHDAVI, 2016; WANG, BERARDI, AKBARI, 2015; BOURIKAS, 2015, VANESSA, 2014, WANG, ABARI, 2016). No cenário brasileiro, o ENVI-met foi adotado por Brandão (2009), Castelo Branco (2009); Silva (2009); Nakata (2010); Dacanal et al. (2010), Nogueira (2011), Rosseti (2013), Gusson (2014). O modelo numérico microclimático ENVI-met é um modelo tridimensional, não hidrostático, que foi criado por Michael Bruse como parte de sua tese de doutorado, realizada na Alemanha (BRUSE; FLEER, 1998). O programa computacional ENVI-met foi elaborado por Bruse e sua equipe de pesquisadores, do Instituto de Geografia da Universidade de Mainz – Alemanha.

O **ENVI-met** corresponde hoje a uma ferramenta computacional fundamentada em um modelo tri-dimensional de clima urbano que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente, oferecendo várias possibilidades de aplicação e associações, permitindo a simulação do ambiente térmico urbano (BRUSE, 2010).

Diferenciando-se dos demais programas existentes para simulações de ventilação urbana que consideram somente os princípios da mecânica dos fluidos, este programa baseia-se nestes princípios e também nas leis fundamentais da termodinâmica, o que, neste aspecto, constitui um avanço. O modelo combina o cálculo dos parâmetros da mecânica dos fluidos, como a forma de escoamento e a ocorrência de turbulências, com os processos termodinâmicos que ocorrem nas superfícies dos solos, das construções e das plantas para prever o fluxo de ar entre as edificações (BRUSE, 2013)

É um programa de livre acesso, disponibilizado gratuitamente desde 2004, na versão 3.0. Foi aprimorado nos últimos dez anos. A segunda versão foi disponibilizada em 2008, versão 3.1, sendo a última versão publicada em 2013 (versão 4.0). As versões anteriores não levavam em consideração a capacidade térmica de fachadas nos cálculos de energia e turbulência. Na versão 4.0, o cálculo da temperatura da superfície das fachadas foi completamente reescrito. O novo cálculo da temperatura da superfície da fachada é baseado no modelo das propriedades físicas dos materiais componentes e da superfície da fachada, incluindo: reflexão, absorção, transmissão, emissividade, coeficiente de transferência de calor, capacidade térmica específica e a espessura da parede.

ENVI-met V4 é um modelo holístico tridimensional não-hidrostático para a simulação das interações planta-ar-superfície sendo muito frequentemente utilizado para simular ambientes urbanos e para avaliar os efeitos de uma arquitetura verde. Ele foi concebido para microescala horizontalmente com uma resolução típica de 0,5 a 10 m e um período de tempo típico de 24 a 48 horas com um intervalo de tempo de 1 a 5 segundos. Esta resolução permite analisar interações pessoais de pequena escala entre os edifícios, superfícies e plantas (BRUSE, 2016).

O modelo calcula iterativamente o desempenho de uma área urbana em regime transiente. Inclui o cálculo de ondas curtas e fluxos de radiação de onda longa a partir do efeito de sombreamento, reflexão e irradiação dos sistemas de construção e da transpiração da vegetação, evaporação e fluxo de calor sensível da vegetação no ar. Inclui a simulação de todos os parâmetros físicos da planta (por exemplo, taxa de fotossíntese). Calcula, sobre elementos construídos, a temperatura da superfície dinâmica e a temperatura da parede para cada fachada e telhado (com até 3 camadas de materiais). Inclui, também, a representação 3D da vegetação para a modelagem do balanço hídrico dinâmico das espécies individuais. Calcula a dispersão de gases e de partículas (incluindo sedimentação e deposição de folhas e superfícies), gases inertes e gases reativos do ciclo de reacção NO-NO₂-Ozone. Realiza cálculo de índices biometeorológicos a partir da temperatura radiante média: PMV / PPD, PET ou UTCI. A versão básica do ENVI-met 4.0 foi disponibilizada gratuitamente nos últimos três anos através do site: <http://www.envi-met.com>, incluindo o núcleo de simulação completo para aplicações não comerciais.

O modelo é baseado em uma estrutura de cinco módulos que analisam e trabalham de maneira integrada e interativa:

- **Atmosférico:** simula o campo de velocidades e distribuição de vento. Resolve as equações de Navier-Stokes não-hidrostáticas para cada grade no espaço e para cada espaço de tempo. Os efeitos da vegetação são incluídos como forças de arrasto no campo de vento. O fluxo de vento é atualizado em intervalos de tempo determinados, incluindo fluxos turbulentos. Calcula a temperatura do ar e umidade (absoluta e relativa), a partir de diferentes fontes e armazenamento de calor sensível e latente dentro do domínio do modelo. As folhas da superfície do solo e da vegetação agem como fontes ou dissipadores para a temperatura e umidade. As paredes do edifício e telhados atuam principalmente como superfícies irradiadoras de calor para o ambiente, mas também pode atuar como fontes de umidade se a fachada verde ou cobertura vegetada for aplicada. Calcula, também, os fluxos de ondas curtas e radiação de onda longa dentro de ambientes complexos, levando em conta o sombreamento por geometrias complexas, reflexões por diferentes materiais de superfície e de construção e o efeito da vegetação em todos os fluxos radiativos. Neste módulo são calculados, ainda, os padrões de dispersão de poluentes.
- **Solo:** A temperatura da superfícies e a distribuição de temperatura do solo é calculada para solos naturais e artificiais e para materiais de vedação. Calcula também os processos de transmissão e absorção de radiação de onda curta no interior da água
- **Vegetação 3D:** Incorpora um banco de dados de plantas simples, como a grama, incluindo, também, a vegetação 3D, com geometrias complexas, como árvores de grande porte. Todas as plantas são tratadas como espécies individuais. A temperatura da folhas é calculada através da resolução do balanço de energia da superfície da folha respeitando às condições fisiológicas da planta e meteorológicas.
- **Ambiente construído e sistema de construção:** edifícios e outras estruturas complexas podem ser construídos em 3D. É possível atribuir tipos de parede individuais para cada superfície da parede e do telhado. As paredes podem ser

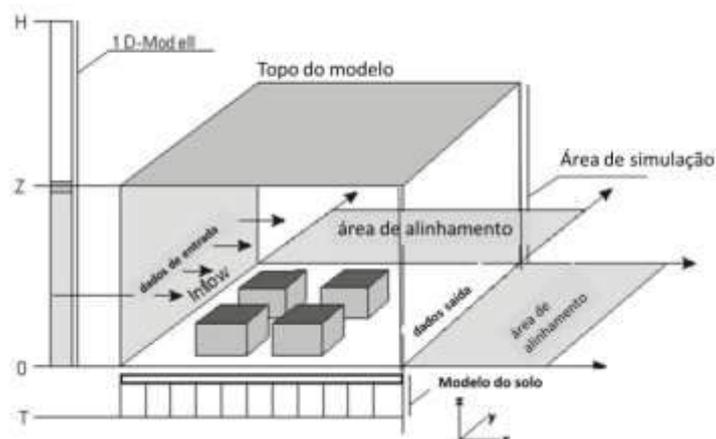
compostas por até 3 camadas de diferentes materiais com propriedades físicas individuais.

- **Módulo interno:** o programa é baseado na composição de uma malha ortogonal para representar o ambiente a ser simulado, por isso, só permite estudo de estruturas lineares e retangulares. Para construção de paredes e telhados inclinados ou superfícies curvas devem ser estudados pontos de aproximação na malha/ grade. O método de diferenças finitas é utilizado para resolver o grande número de equações diferenciais parciais (PDE) e outros aspectos do modelo.

Diante da diversidade de variáveis ambientais calculadas pelo modelo, nas versões anteriores (versão 3.0 e 3.1) era possível escolher os dados de saída no processo de simulação. Porém, após o aprimoramento da ferramenta, os dados são gerados de maneira totalmente integrada, por isso, na nova versão (4.0), todas as variáveis são calculadas no processo de simulação, sendo gerado um arquivo síntese com os dados referentes aos módulos do programa. Assim, o tempo de execução da simulação se tornou maior, comparado às versões anteriores. Dependendo da complexidade do objeto/ambiente investigado e da capacidade do processador adotado, o processo de simulação pode durar até 15 dias.

O modelo aborda os fenômenos da Camada limite urbana (CLU), com um formato tridimensional de traçado em grade que pode variar: 100x100x40, 150x150x35, 250x250x25, correspondendo a unidades de volume de controle máximo nos eixos x, y e z. Na versão 4.0, o programa trabalha com a possibilidade de modelagem do terreno (um fator que não era considerado das versões anteriores). Cada volume de controle pode ser delimitado pela quantidade de metros necessária para o ambiente a ser modelado, determinando, assim, o nível de detalhamento da simulação. A figura 2.18 apresenta a representação gráfica do programa computacional, exemplificando a entrada e saída de dados, a área de alinhamento do modelo e os limites de bordas.

Figura 2.18: Lay out do modelo ENVI-met 4.0



Fonte: disponível em <http://www.envi-met.info/hg2e/doku.php?id=kb:modellayout>. Acesso em: 11/08/2015

Na versão 4.0, é também possível definir a variação diurna das variáveis do ar atmosférico, das condições de contorno e da radiação, o que nas versões anteriores não era

possível. Assim, é admissível utilizar dados medidos para comparação com as simulações e avaliar a precisão da modelagem.

Uma das principais dificuldades para a utilização do modelo ENVI-met corresponde à necessidade de obtenção dos dados de entrada para a execução dos processos de simulação, devido à escassez de registros referentes às variáveis climáticas de localidades de clima tropical. A ausência de parâmetros de entrada físicos e meteorológicos exigidos pelo programa tem levado a estimativas ou suposições baseadas em informações disponíveis (de outras realidades climáticas), muitas vezes não apropriadas para a realidade local. Cidades de médio e pequeno porte não apresentam a disponibilidade de dados históricos climáticos e estações meteorológicas para a obtenção de dados importantes para a investigação da atmosfera urbana. Essa dificuldade impede o avanço no campo da simulação climatológica urbana, que só se verificará com a realização de maior número de pesquisas que subsidiem a identificação de dados climáticos para as regiões tropicais.

Apesar da existência de limitações na determinação de alguns dados de entrada e, conseqüentemente, nos resultados de simulações da atmosfera climática urbana, os procedimentos metodológicos relacionados à análise e previsão de ambiente higró-termico através do modelo ENVI-met são importantes iniciativas para a consolidação do enfoque climático na área do planejamento urbano. No próximo capítulo serão discutidas algumas pesquisas mais recentes que adotaram o modelo ENVI-met como ferramenta de análise climática. Um dos aspectos evidenciados nestes estudos corresponde a necessidade de ajuste da morfologia urbana para minimização das adversidades climáticas locais.

2.4 Desafios para aplicação da informação climática no processo de planejamento

Diversas pesquisas, realizadas através do monitoramento das variáveis climáticas, em recintos urbanos, como também, por meio de modelos físicos e numéricos, têm demonstrado que a morfologia urbana, as propriedades térmicas dos materiais de construção e a proporção entre área verde e área construída são os principais fatores relacionados com as mudanças climáticas da atmosfera urbana. Estas servem para reforçar a importância do projeto do edifício e do planejamento sobre o desempenho das condições de saúde e de conforto ambiental nos espaços construídos urbanos (CHANDLER, 1976; GIVONI, 1998, ASSIS, 2000; DUARTE, 2010).

Os estudos sobre os problemas urbanos e sua relação com a abordagem climática são frequentemente fundamentados em duas perspectivas diferentes: o consumo e a degradação de recursos, e a qualidade de vida nos espaços urbanos. Segundo Andrade (2005), a primeira perspectiva está relacionada com o consumo de água, energia e outros recursos e com a produção de resíduos, pelas cidades. As pesquisas realizadas a partir desta abordagem evidenciam a necessidade de redução dos impactos urbanos em todos os domínios (clima, hidrologia, produção de CO₂, e biodiversidade), quer no nível externo (regional e global), quer no nível dos espaços urbanizados locais. Já a perspectiva baseada na busca da otimização da qualidade de vida baseia-se no conceito defendido como ajuste pessoal entre o conjunto de

domínios humanos (econômicos, sociais, culturais etc) e ambientais, englobando o ambiente natural (incluindo o clima) e os aspectos do ambiente construído, os recursos naturais e de segurança. Por isso, o clima urbano deve ser considerado enquanto componente da qualidade do ambiente e de contribuição para qualidade de vida no ambiente urbano (ANDRADE, 2005).

É por isso que Monteiro (1976) destacou a importância da utilização da Teoria dos Sistemas como um quadro de referência teórico para o estudo do clima urbano. Ele considera o clima urbano como um sistema dinâmico adaptativo, atentando que para o estudo do clima da cidade deve-se adotar uma conduta de investigação que veja nela não um antagonismo entre o homem e a natureza, mas uma co-participação. A proposta de análise deste sistema é baseada em três canais perceptivos associados aos conjuntos de fenômenos do universo climáticos: conforto térmico (subsistema termodinâmico), a qualidade do ar (subsistema físico-químico) e o impacto meteórico (subsistema hidrodinâmico).

A importância dos estudos de Monteiro (1976), baseados na análise dos efeitos da urbanização na qualidade ambiental das cidades a partir da Teoria dos Sistemas, deve-se principalmente ao seu aspecto integrador. Sua contribuição diferencia-se dos primeiros estudos sobre clima urbano e das análises consideradas clássicas, como os trabalhos de Landsberg (1981) e Chandler (1965), baseados em análises separatistas (abordagem mais meteorológica do que geográfica) onde faltava uma correlação entre os fenômenos meteorológicos e urbanos. Monteiro (1986) já chamava a atenção para a necessidade do desenvolvimento de modelagem para a simulação a partir de situações observadas, fortalecendo as bases de previsão para subsidiar o planejamento urbano.

Porém, no Brasil, como afirmam alguns pesquisadores (ASSIS, 2005, MENDONÇA, 2003, DUARTE, 2010) a maior parte dos estudos sobre Clima Urbano fundamenta-se principalmente na abordagem descritiva de modelos empíricos, dispensando pouca atenção à abordagem das capacidades exploratórias ou de simulação futura, com vistas a gerar subsídios para o planejamento urbano. Poucos estudos se baseiam no detalhamento prévio das diferenças de sítio e do uso do solo urbano como suporte para a compreensão da formação do clima derivado dos diferentes arranjos espaciais da cidade.

Desde então, a aplicação da Climatologia ao Planejamento das áreas urbanas é um dos objetivos apontados por praticamente todos os pesquisadores da área. A constatação da falta de aplicação é também muito recorrente, sendo requerida, em geral, a adequação climática dos modelos de ocupação arquitetônica e urbana (OLGAY, 1963; GIVONI, 1998; MILLS, 1999), explicitando os prejuízos das práticas atuais, caracterizados pela total desconsideração das condições ambientais locais dos conjuntos edificados urbanos. Como destacam Ratti et al (2003) e Assis (2005), as análises sobre adequação climática são baseadas em análises isoladas, qualitativas e genéricas.

Algumas pesquisas, objetivando uma investigação sobre a utilização da informação climática no planejamento urbano, identificaram como principais obstáculos à aplicação da climatologia, os problemas de comunicação entre climatologistas e diferentes agentes do

planejamento, os conflitos de interesse entre os atores envolvidos no processo de planejamento, as limitações econômicas, a falta de conhecimento, a pouca prioridade atribuída aos aspectos climáticos e a falta de coerência e clareza das políticas (ELIASSON, 2000).

Segundo Andrade (2005), para uma maior aplicabilidade da climatologia urbana é necessária uma maior atenção quanto à investigação dos parâmetros atmosféricos, que condicionam significativamente o ambiente urbano, os estudos dos padrões térmicos no período diurno, a partir de diversificações temporais e principalmente, nos estudos das relações entre as condições de interior e exterior e ao comportamento térmico de estruturas urbanas diferentes do *canyon urbano* padrão.

A identificação mais detalhada dos diferentes espaços urbanos é de grande importância, pois, a partir desta, é possível identificar os fatores causadores da diferenciação climática do ambiente citadino. Por isso, o estudo do clima urbano deve oferecer um grau de detalhamento capaz de possibilitar uma intervenção mais consciente na gestão da cidade, a partir do seu planejamento urbano (MENDONÇA, 2003).

Os avanços referentes a possibilidade de utilização de modelos numéricos e computacionais, como o ENVImet, podem favorecer e estimular novos diálogos com os profissionais e atores responsáveis pelos processos decisórios no planejamento urbano das cidades.

2.5 Bioclimatologia aplicada ao planejamento das cidades: contribuições para a sustentabilidade urbana

O **planejamento urbano** está relacionado com o ato de planejar a cidade, diferente do processo de gestão das cidades. Como aponta Souza (2004), planejar remete ao futuro, ou seja, está relacionado ao processo de tentar prever a evolução de um fenômeno e simular os desdobramentos de um processo, no intuito de precaver-se contra prováveis problemas e de aproveitar os prováveis benefícios. Ou seja, o planejamento e a gestão (refere-se ao presente, tem haver com administrar uma situação com recursos disponíveis, tendo em vista necessidades imediatas) são atividades complementares, porém, distintas: “[...] o planejamento é a preparação para a gestão futura... e a gestão a efetivação, ao menos em parte, das condições que o planejamento feito no passado ajudou a construir [...]” (SOUZA, 2004, p.46). O planejamento urbano tem caráter multi e interdisciplinar e interdisciplinar, correspondendo ao processo que visa definir as diretrizes para um desenvolvimento urbano a partir do estabelecimento de planos para ocupação do espaço da cidade, fundamentados nas suas características econômicas, sociais e administrativas. Segundo Duarte (2007) o Planejamento Urbano deve reconhecer, localizar as tendências e as propensões naturais (locais e regionais) para o desenvolvimento, estabelecendo as regras de ocupação do solo e definindo as principais estratégias e políticas de um município (no caso brasileiro), explicitando as restrições, as proibições e as limitações para manter e aumentar a qualidade de vida para seus habitantes.

Observa-se que o entendimento do planejamento urbano está atrelado ao entendimento do processo de desenvolvimento urbano. A discussão sobre o conceito desenvolvimento urbano evoluiu ao longo do tempo e esteve vinculada ao entendimento do fenômeno da pobreza urbana e na atualidade é fortemente permeada pela busca da sustentabilidade. O debate sobre as questões ambientais só foi fomentado pela discussão dos problemas urbanos a partir de duas conferências que abordaram questões relacionadas com o tema da habitação social, Habitat I, em 1976 e Habitat II, realizada vinte anos depois, em 1996. No espaço temporal intermediário entre estas conferências, foi divulgada a primeira definição de *desenvolvimento sustentável*, cunhada pelo *Relatório Brundtland* em 1987, afirmando que desenvolvimento sustentável é *aquele que atende às necessidades do presente, sem comprometer o atendimento às necessidades das gerações futuras*.

Nas décadas seguintes, grandes conferências mundiais foram realizadas, como a Rio 92, no Rio de Janeiro, em 1992, e a Rio+10, em Johannesburgo, em 2002, e recentemente, a Rio +20, também no Rio de Janeiro. Nessas reuniões, protocolos internacionais foram firmados a fim de rever as metas e elaborar mecanismos para o desenvolvimento sustentável. O desafio global de melhorar o nível de consumo da população mais pobre e diminuir o impacto ambiental dos assentamentos humanos no planeta foi o grande tema em debate. Fazendo-se um balanço dos resultados, essas reuniões foram marcadas por disputas ideológicas e econômicas, e as ações subsequentes continuam aquém das expectativas e muitos problemas ambientais ainda não foram resolvidos.

A discussão teórica sobre o conceito de **sustentabilidade urbana** apresenta-se ainda em construção, pois, não se equacionou um dos grandes questionamentos suscitados após a divulgação do conceito tradicional: como pensar em soluções para o atendimento das necessidades de futuras gerações se ainda não foi possível atender as necessidades básicas da geração presente? Além disso, a literatura especializada tem alertado sobre a crescente banalização do uso do conceito, que atualmente tem permeado discursos para reforçar diferentes interesses (políticos e/ou econômicos), não incorporando princípios básicos para efetivo alcance do desenvolvimento sustentável em ações governamentais.

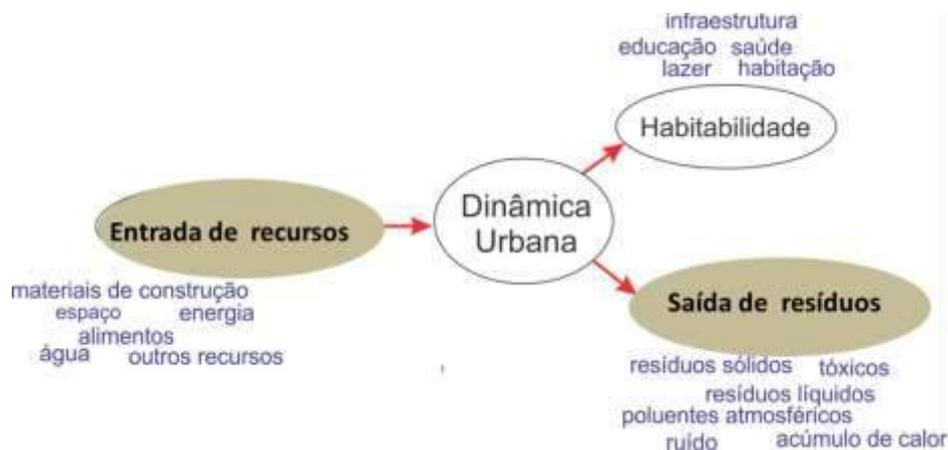
Ou seja, deve-se pensar em soluções que promovam o resgate da qualidade de vida nas cidades e a redução dos impactos ambientais, tanto no nível da produção de resíduos, como também, do consumo de recursos naturais. Assim, o processo de urbanização deve ser fundamentado no re-direcionamento do atual padrão de produção e consumo do espaço urbano, a partir da otimização da relação do homem com o meio natural.

Mesmo apresentando um conceito ainda em construção, alguns consensos teóricos já foram firmados. O principal deles é o entendimento de que a sustentabilidade deve ser entendida como uma condição indispensável à sobrevivência e à permanência da vida na Terra. Outra constatação é a escala multidimensional do conceito, abordando questões inter-relacionadas com diversas dimensões: social, política, econômica, ambiental etc (SACHS, 1993; ACSELRAD, 2009).

Segundo Silva e Bustos Romero (2011), a sustentabilidade urbana tem como foco, antes de tudo, a esfera social e de comunidade, já que os principais problemas urbanos têm sua origem nas relações humanas. Desta forma, a abordagem do conceito a partir da compreensão e da análise das relações humanas e de seus impactos no meio natural e, conseqüentemente, no ambiente urbano pode garantir a consideração de diversos aspectos e dimensões implícitos na complexidade deste ambiente, devendo este ser analisado como um sistema.

É por isso, que um dos principais conceitos de sustentabilidade defendidos na atualidade baseia-se na necessidade do equilíbrio entre entrada de recursos (produção e consumo) e saída (resíduos) no sistema urbano, resgatando referências da ecologia e do conceito de ecossistema. A sustentabilidade urbana, portanto, estaria mais próxima quanto menor o fluxo de entrada e saída de energia, materiais e resíduos de sua área. No modelo de Newman (1999), a sustentabilidade urbana depende da redução das entradas de energia e massa, assim como, da diminuição das saídas de resíduos (figura 2.19). Por isso, as cidades devem ser o foco principal na definição de estratégias e políticas de desenvolvimento. O planejamento urbano, portanto, a partir de abordagens multidisciplinares deve incorporar estas estratégias enfocando os escopos da sustentabilidade, como a melhoria da qualidade de vida e o equilíbrio ambiental.

Figura 2.19: Modelo metabólico do espaço urbano.



Fonte: (adaptado de Newman, 1999)

Para garantir condições de habitabilidade no meio urbano, deve-se adotar o uso racional dos recursos naturais e diminuir os impactos negativos referentes aos resíduos inerentes ao processo de produção do espaço. Dentre os diversos aspectos que podem ser analisados para o cumprimento deste escopo, destacam-se como motivação para o desenvolvimento da presente pesquisa, a abordagem sobre a necessidade de desenvolvimento de estratégias para a minimização do consumo de energia (*entradas*) e as estratégias para minimizar os impactos negativos referentes às modificações climáticas decorrentes do processo de urbanização, como acúmulo de calor (*saídas*).

A disponibilidade de energia é um condicionante do desenvolvimento urbano porque é indispensável para a execução das atividades humanas. No atual panorama energético, observamos a necessidade de seu uso racional devido à iminência da escassez de fontes não renováveis. Por isso, o consumo de energia em edificações está no cerne das discussões sobre o futuro das cidades e seu impacto ambiental, conseqüentemente, está também presente nas discussões sobre a sustentabilidade urbana.

O consumo de energia em edificações corresponde 32% da demanda global. Várias iniciativas tem sido tomadas para reduzir o consumo, incluindo o estabelecimento de padrões mínimos de desempenho para edificações e sistemas de certificação voluntária (IEA, 2012). No âmbito internacional, destaca-se como exemplo do primeiro caso, a Diretiva Europeia de Desempenho Energético em Edificações (*European Energy Performance in Buildings Directive -EPBD*), aprovada pela Comissão Europeia, em 2002, que exigiu a revisão das regulamentações sobre desempenho energético dos edifícios dos países da União Europeia.

As regulamentações, para o consumo de energia em edifícios e para o seu comportamento térmico passaram a ser determinadas por exigências apresentadas em diversos artigos da EPBD, como o artigo 4º (Estabelecimento de requisitos de desempenho energético), 5º (Edifícios Novos) e 6º (Edifícios existentes com renovações importantes maiores do que 1000m²) etc. Para o segundo caso, referente as certificação. destaca-se o selo LEED, liderança em energia e design ambiental (*Leadership in Energy and Environmental Design*), que corresponde a um sistema de certificação e orientação ambiental de edificações desenvolvido pela USGBC -*United States Green Building Council*. Esta organização estabelece pré-requisitos obrigatórios e opcionais, que possuem um sistema de pontuação cumulativa, que permite a classificação das edificações nos níveis: LEED *Silver*, LEED *Gold* e LEED *Platinum*. O resultado da certificação depende da avaliação de desempenho de cinco condições de impacto do edifício analisado: impactos locais (*sustainable sites*), uso racional de água, energia e atmosfera; materiais e recursos, qualidade ambiental interna e inovação e processos. É considerado o selo da edificação sustentável, foi criado em 2000 e no Brasil foi implementado em 2007, sendo utilizado em 143 países.

No cenário internacional já existem diversos outros selos de certificação ambiental para verificar os recursos consumidos, o consumo de energia, as emissões de carbono e os resíduos gerados pelas edificações⁹ (figura 2.20). Ainda no Brasil, atuam o selo *AQUA* e *BREEAM*. A *AQUA* (Alta Qualidade Ambiental): inspirada no selo francês HQE - Haute Qualité Environnementale, foi criada em 2008 e é a primeira norma brasileira para a certificação de construções sustentáveis, oferece referencial técnico para residências e prédios comerciais. De origem inglesa, a *BREEAM* (*Building Research Establishment Environmental Assessment Method*) é a mais antiga certificação para construções sustentáveis do mundo. Foi

⁹ Os Sistemas de Avaliação e Certificação que surgiram em diversos países estudam essencialmente o edificado, e assumem o edifício como a principal área de estudo e referência da construção sustentável. Entre estes sistemas destacam-se, para além do BREEAM no Reino Unido e do o LEED nos EUA, o NABERS (*National Australian Buildings Environmental Rating System*) na Austrália, o BEPAC (*Building Environmental Performance Assessment Criteria*) no Canadá, o HQE (*Haute Qualité Environnementale des Bâtiments*) em França, o CASBEE (*Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency*) no Japão, e o LiderA (Liderar pelo Ambiente para a Construção Sustentável), em Portugal.

criada em 1992, pela BRE Global, mas chegou ao Brasil apenas em 2011. Assim, estima-se que os habitantes da União Europeia consomem hoje 60% menos energia se comparado com o estoque imobiliário construído antes da primeira crise do petróleo na década de 70 (WEC, 2004).

Figura 2.20: Selos para certificação ambiental e suas respectivas origens.



Fonte: www.geoconstruction.com

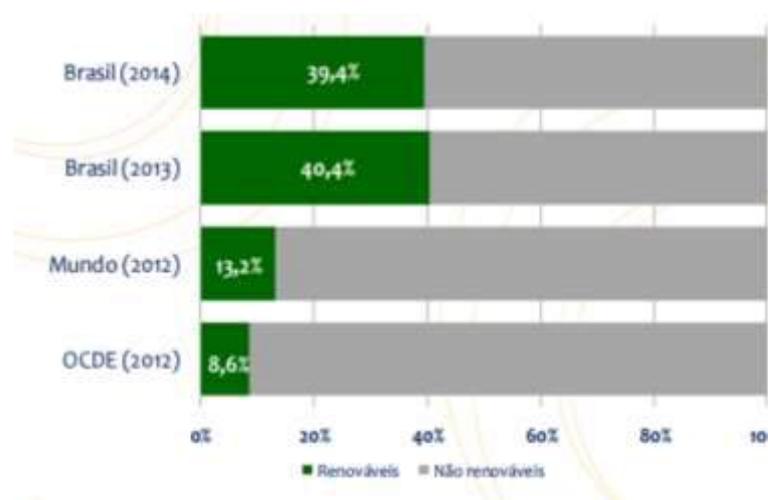
No Brasil, ações ainda são recentes, tendo destaque o estabelecimento de padrões mínimos de desempenho energético de equipamentos de uso final, onde se podem exemplificar as regulamentações posteriores decorrentes da lei nº 10.295/2001, conhecida com a “lei de eficiência energética”. Outras iniciativas no Brasil nesse sentido incluem o Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), que lançou em 2009 a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia para Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (ENCE-C) e, em 2010, a Etiqueta para Edifícios Residenciais (ENCE-R). Estas etiquetas são de caráter voluntário para avaliação de edificações novas e existentes e passarão a ser obrigatórias para edificações novas em prazo que será definido pelo Ministério de Minas e Energia e pelo INMETRO, de acordo com as metas estabelecidas pelo Plano Nacional de Eficiência Energética. Estes avanços ocorreram devido ao impacto causado pela crise do fornecimento de energia elétrica, ocorrida em 2001 (o conhecido apagão) dando propulsão para do desenvolvimento de estratégias e regulamentações para a promoção da eficiência energética, especialmente á edificação. Desta forma, o Governo Federal, as universidades e as instituições de pesquisa continuam, portanto, empenhados no cumprimento das determinações instituídas pela lei de eficiência energética.

Dentre outros avanços para a disseminação e aplicação das premissas de conforto ambiental, de eficiência energética em edificações e de sustentabilidade pode-se citar: a) a aprovação da NBR 15.220-3/2005: Zoneamento Bioclimático Brasileiro (ABNT) que apresenta diretrizes construtivas para o total de oito zonas bioclimáticas brasileiras, além de estratégias de condicionamento térmico para edificações em cada um delas (atualmente a

referida norma encontra-se em processo de revisão e aprimoramento); b) a NBR 15.575 Norma de Desempenho em Edificações, aprovada em 2008, para edifícios habitacionais de até 5 pavimentos, que definiu as condições construtivas mínimas, considerando entre outros, o desempenho térmico, luminoso e acústico para uma parcela do setor residencial (diferente da NBR 15220, a NBR 15.575 é obrigatória e foi revisada em 2011, entrando em vigor a nova versão em julho de 2013); b) o Selo Caixa Azul, aprovado em 2010, que consiste no primeiro sistema de classificação de sustentabilidade do setor da construção habitacional e favorece a adoção de parâmetros de conforto ambiental, eficiência energética, conservação de recursos materiais, uso racional de água e práticas sociais.

A matriz energética do Brasil apresenta menor impacto quando comparada com outros países industrializados, por isso é considerada limpa. Em 2014, a participação de renováveis na matriz energética brasileira (figura 2.21) manteve-se entre as mais elevadas do mundo (39,4%), com redução devido à menor oferta de energia hidráulica e de etanol. (EPE, 2015). Em 2011, a matriz renovável correspondia a 44%, em 2012 a 42,4% (EPE, 2013) e em 2013 correspondia a 40,4%. Estes dados demonstram que apesar de vantagem quanto à base energética renovável, a produção brasileira reduziu 4,6%, e o atendimento à demanda por energia tem sido prejudicado. Além disso, a demanda por petróleo permanece aumentando continuamente. A utilização da fonte primária de energia a partir de combustíveis fósseis desequilibra o ciclo de carbono do planeta, aumentando o teor de gases de efeito estufa na atmosfera, causando o aquecimento global. Desta forma, a manutenção deste quadro pode gerar uma alteração irreversível no meio ambiente natural.

Figura 2.21: Gráfico referente à participação de energias renováveis na matriz energética brasileira.

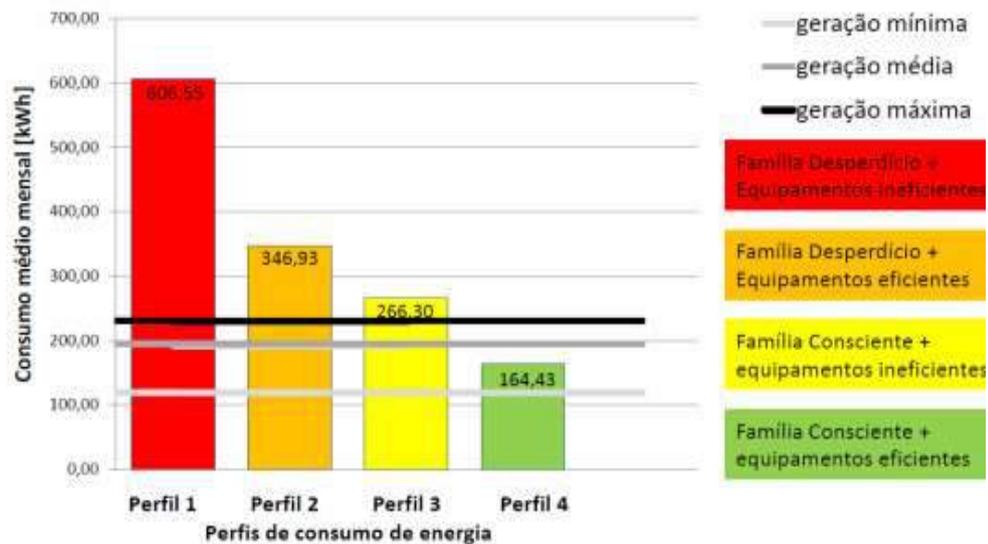


Fonte: Empresa de Pesquisa Energética – Balanço Energético Nacional – Relatório Síntese 2015.

Ainda sobre o cenário brasileiro, o documento do Plano Nacional de Energia 2050, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética – Ministério de Minas e Energia, publicado em agosto de 2014, aponta a situação de incerteza quanto ao alcance de atendimento à

demanda energética brasileira de longo prazo (figura 2.22). Este identifica que apesar do estabelecimento de ações de eficiência energética e de geração distribuída, a demanda líquida resultante de energia poderá ter diferentes resultados, que irão depender dos aspectos técnicos, econômicos e regulatórios. Reforçam-se o papel e a postura do consumidor quanto às perspectivas de consumo, sendo denominado o consumidor consciente aquele que executa as ações para a racionalização do uso de energia e o equipamento eficiente aquele que apresenta desempenho satisfatório com menor consumo de energia.

Figura 2.22: Gráfico referente à demanda de eletricidade e fontes de atendimento à demanda de energia a longo prazo.



Verifica-se, portanto, o avanço quanto ao aparato técnico-científico para a avaliação e projeto de edificações de baixo impacto ambiental e menor consumo de energia, tanto no âmbito internacional, como também nacional. Destaca-se, assim, a importância dos recursos passivos de climatização natural de edifícios como principal estratégia para o uso racional de energia. Porém, o edifício não pode ser analisado como obra isolada, pois o clima urbano apresenta interferência direta sobre seu desempenho e para efetivo aproveitamento dos recursos passivos (naturais) de climatização, é necessário que a morfologia urbana favoreça este aproveitamento.

A morfologia pode ser definida como o estudo da forma urbana ou o estudo dos aspectos exteriores do meio urbano. Lamas (1997) propõe que esse estudo seja feito a partir da análise dos elementos morfológicos das “[...] unidades ou partes físicas que, associadas e estruturadas, constituem a forma [...]” (LAMAS, 1997, p.37). No presente estudo, o termo **morfologia urbana** corresponde à combinação de três elementos principais da estrutura urbana: o *plano*, delimitado pelo conjunto de vias de circulação, parques, vazios urbanos e projeção de áreas construídas; o *construído*, constituído pelo conjunto de edifícios construídos diferenciados pela sua tipologia e volume e os *usos do solo*, delimitado pelo conjunto de

diferentes utilizações do espaço para as funções urbanas – residenciais, industriais, residenciais, públicas, semipúblicas ou privadas.

Assim, vários fatores relacionados ao planejamento urbano têm influência sobre o consumo de energia, como a morfologia e a densidade urbana. O padrão de adensamento e qualidade da expansão urbana, portanto, deve ser estudado através de estratégias de uso e ocupação do solo e legislação urbanística para que o objetivo referente ao alcance das condições de conforto ambiental e eficiência energética seja alcançado.

O controle de uso do solo é um dos principais escopos do planejamento urbano. É importante porque em uma abordagem ambiental para desenvolvimento de uma cidade, as diretrizes devem permitir a reserva de terrenos necessários para realizar empreendimentos públicos (habitação social e equipamentos coletivos), para aplicar as medidas ambientais preconizadas nas regulamentações urbanísticas e permitir alternativas para a destinação futura dos terrenos. Em relação às estratégias para o alcance da sustentabilidade urbana, verifica-se cada vez mais a necessidade de economizar espaços, tanto por razões ambientais, como também, por questões sociais e econômicas. Ou seja, segundo a literatura especializada, o planejamento territorial sustentável não recomenda, por exemplo, a expansão excessiva das áreas urbanas.

Verifica-se que a malha urbana dispersa gera problemas ambientais, face ao espalhamento da estrutura urbana, eliminando florestas, aumentando a demanda por consumo de energia, exigindo o intenso uso de veículos para o transporte de mercadorias e pessoas (que acarretam a poluição do ar através da emissão de gases provenientes de combustíveis fósseis nos diversos meios e redes de transportes), afetando, também a elevação da impermeabilização do solo natural decorrentes da pavimentação excessiva, exercendo sérios danos ao ciclo hidrológico, causando enchentes, impactando também no clima urbano.

Por isso, o adensamento tem sido apontado como uma das medidas básicas aplicada ao desenho urbano como minimização de impactos ambientais e sociais. Tem-se defendido, portanto, a *cidade compacta* como importante estratégia para favorecer o uso otimizado do espaço urbano. Segundo Acselrad (2009), além da compactação urbana, é necessária, também, a descentralização dos serviços e usos, distribuindo nas áreas centrais para as periferias, para promover um espaço urbano menos segregado e mais igualitário. Desta forma, o autor destaca a importância do controle demográfico paralelo às mudanças no processo de planejamento e gestão urbana.

Os limites para o estímulo ao adensamento urbano estão relacionados com a capacidade de suporte do sistema urbano, tanto em relação à infraestrutura como também em relação aos impactos ambientais. Para evitar o espraiamento da malha urbana, é necessária a ocupação e aproveitamento dos vazios urbanos (os principais elementos de especulação imobiliária). No caso brasileiro, além das implicações jurídicas relacionadas com o direito da propriedade urbana, devem ser analisadas também, as implicações quando ao potencial deste vazio urbano, como elemento de amenização climática. Sobre o primeiro caso, alguns avanços já foram alcançados, como os instrumentos presentes no Estatuto da Cidade, como a *outorga*

onerosa do direito de construir e o direito de preempção urbana. Ambos, quando aplicados aos instrumentos de planejamento urbano, apresentam o potencial de estímulo ao adensamento urbano e à ocupação dos vazios urbanos. Estes têm sido adotados, por exemplo, em alguns centros europeus, como a cidade de Rennes, na França que definiu o controle do uso do solo como elemento dominante de sua política urbanística e reorientou seu crescimento por meio de várias ações, como: revitalização dos espaços públicos, reestruturação de terrenos abandonados, adensamento das zonas pouco construídas e preservação de corredores verdes (outros exemplos, encontrados na Alemanha e Áustria). No segundo caso, é necessário compreender a necessidade de estudos sobre os impactos ambientais negativos sobre a ocupação de vazios urbanos, pois este processo pode eliminar áreas importantes para a qualidade climática local como as áreas verdes remanescentes, ou pode até mesmo estimular ocupações inadequadas, comprometendo o aproveitamento da ventilação natural na malha urbana. Estes seriam os pontos negativos que deveriam ser analisados no processo de planejamento urbano e a consideração dos princípios bioclimáticos subsidiaria a definição de diferentes estratégias na legislação urbanística para evitar a concretização dos efeitos negativos para a qualidade ambiental urbana.

Já que as normativas para avaliação do desempenho ambiental de edificações estão avançando, tanto no nível internacional, como também nacional, e cada vez mais são exigidas a incorporação das estratégias bioclimáticas no nível do edifício, questiona-se, portanto, quais são os aportes técnicos-científicos de apoio ao planejamento urbano, para que as estratégias bioclimáticas sejam aplicadas no processo de desenho urbano e no planejamento urbano.

Quais são as normas e instrumentos para a avaliação do desempenho climático de estruturas urbanas?

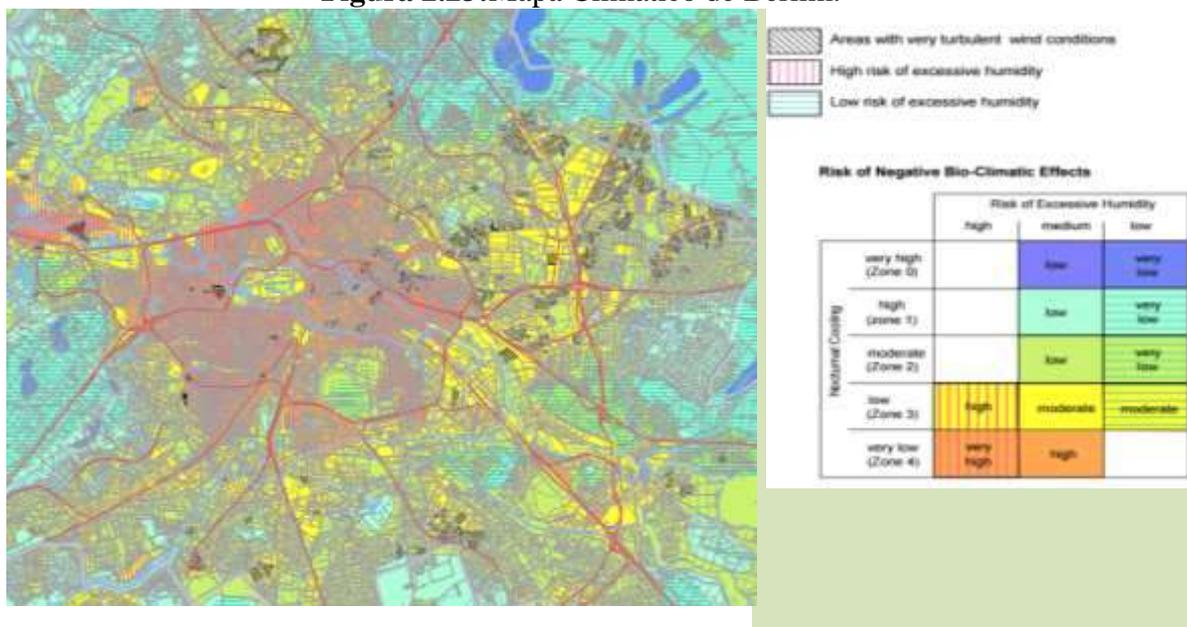
Em relação aos indicadores de sustentabilidade urbana, têm surgido novas abordagens com o intuito de avaliar a totalidade do espaço urbano, ao nível da vizinhança dos bairros. Estas abordagens pretendem preencher a lacuna deixada pelos sistemas de avaliação/certificação, que limitavam o estudo ao nível mais restrito da vizinhança do edificado. Neste contexto, inserem-se os projetos desenvolvidos quer a partir de critérios, como o PIMWAG (*Pennanen, Inkinen, Majurinen, Warttainen, Alltonen e Gabrielsson*) na Finlândia, quer sob a forma de sistemas de certificação voluntária, como o LEED NEIGHBOURHOOD (*Leadership in Energy & Environmental Design - Neighbourhood*), nos E.U.A., e como o HQE2R (*Sustainable Renovation of Buildings for Sustainable Neighbourhoods*), na França, Espanha, Alemanha, Reino Unido, Itália, Holanda, e Dinamarca, e o LiderA V 2.00 (Liderar pelo Ambiente para a Construção Sustentável), em Portugal.

No Brasil, além do LEED ND, que é o selo para avaliação de projetos com o objetivo de desenvolvimento de bairros inteiros, a Fundação Vanzolini desenvolveu o referencial técnico do Processo AQUA (Alta Qualidade Ambiental) para bairros e loteamentos. Este selo AQUA adaptado para o Brasil a partir do processo francês HQE *Amenagement*, considera a gestão do projeto da construção, do uso e da operação de bairros e loteamentos sustentáveis para a obtenção dos níveis de desempenho planejados.

Especificamente sobre a aplicação dos estudos climáticos no processo de planejamento, destacam-se os avanços conquistados na Alemanha. Ainda na década de 1980, os estudos sobre clima urbano foram desenvolvidos por um grupo de trabalho de meteorologistas ambientais que são considerados os pioneiros na Europa em relação à implantação da informação climática como suporte para a administração pública, na cidade de Stuttgart, através da elaboração de mapa climático para o planejamento urbano. Em seguida, outras investigações foram intensificadas em diferentes universidades alemãs e suíças. A Alemanha possui leis que exigem que o ar e o clima devam ser considerados no planejamento urbano para garantir o bem-estar dos cidadãos e promover a redução de consumo de energia das cidades. Assim, o governo alemão e as comunidades devem desenvolver ferramentas de informação adequadas para subsidiar os planos urbanos.

A metodologia do mapa climático é adotada nas cidades alemãs como importante estudo para a definição dos padrões de ocupação urbana no processo de planejamento urbano. O mapa mostra os efeitos da ocupação do solo, da distribuição e estrutura de áreas não edificadas e do relevo sobre os parâmetros climáticos em comparação com a zona rural. A avaliação qualitativa em zonas climáticas serve a avaliação ecológica do clima como um fator locacional. Em Berlim, as zonas climáticas da cidade foram derivadas de: dados de temperaturas médias anuais da Berlim Ocidental e Berlim Oriental e do campo circundante; como também, dados sobre a redução da velocidade do vento durante o dia e à noite e da temperatura equivalente (figura 2.23). Dentre outras cidades europeias que adotam esta metodologia nos planos urbanísticos, pode-se citar: Atenas, Frankfurt, Kassel, Milão, Stuttgart e Zurique.

Figura 2.23:Mapa Climático de Berlim.



Fonte: Ministry for Urban Development Berlin Disponível:

<http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ekia405.htm>

Atualmente, destacam-se os avanços no projeto REFINA (*Research for the Reduction of Land Consumption and for Sustainable Land Management*) que é um programa financiado

pelo Ministério Federal de Educação e Pesquisa (BMBF) e parte da estratégia do governo alemão para o alcance do desenvolvimento sustentável. O governo alemão definiu uma meta para reduzir o consumo de solo urbano para novos assentamentos e áreas relacionadas com os transportes até 2030. A fim de proporcionar uma base científica viável para as decisões e medidas, apoiou o desenvolvimento e o teste de conceitos inovadores, para a redução do consumo de terra urbana e rural.

No contexto brasileiro, no planejamento urbano, as questões climáticas não são consideradas, não correspondendo a um tema de interesse pensado e regulado pelas entidades governamentais. Apesar da ampliação dos estudos fundamentados na climatologia urbana, tanto no âmbito internacional, como também, nacional, o impacto para as ações de planejamento urbano no Brasil é ainda pouco evidenciado. Minimizar o processo de aquecimento urbano e minimizar os impactos negativos do clima urbano é imprescindível tanto para o alcance da qualidade de vida nas cidades, como também, para a redução do consumo de energia, conseqüentemente para proteção dos bens ambientais, como fauna e flora. Ou seja, a aplicação de estratégias bioclimáticas e inovações tecnológicas isoladas para o edifício não são suficientes para o alcance dos imperativos da contemporaneidade, por isso, é necessário preparar o espaço urbano para o alcance destas estratégias. É importante repensar o processo de planejamento urbano, adotando estratégias para a diminuição do ônus ambiental produzido pela atividade de ocupação do solo urbano.

Foi publicado, em 2012, o *Guia Técnico PROCEL Edifica: elaboração e atualização de código de obras e edificações*, elaborado pela Área de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (DUMA)/IBAM, em convênio com a Eletrobrás e por intermédio do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL). Este documento foi construído para orientar gestores e técnicos municipais para que promovam mudanças na legislação e nas práticas adequadas aos seus contextos específicos, aos interesses da população e características climáticas locais. Embora o documento destaque a importância do código de obras e do planejamento municipal para integrar as políticas urbanas ao processo de conscientização de seus feitos no espaço quanto aos aspectos das mudanças climáticas, seu texto base destaca apenas as recomendações para incorporação dos critérios de adequação climática exigidos pela NBR 15220/ 2005 e pela NBR155575/2013 (baseados no zoneamento bioclimático brasileiro), fundamentando possíveis caracterizações para o edifício. Não são apresentadas, portanto, diretrizes a subsidiar a definição de parâmetros urbanísticos, fundamentais para o alcance das condições de salubridade e conforto ambiental de estruturas urbanas.

Verifica-se, assim, a necessidade de aprofundamento quanto das pesquisas para a investigação sobre a interferência da morfologia urbana e do adensamento construtivo na determinação dos padrões de modificação climática dos espaços urbanos a fim de propiciar o aproveitamento de estratégias bioclimáticas no nível dos edifícios, já exigido por diferentes normativas e modelos de certificação ambiental já comentados anteriormente.

A morfologia urbana se tornou um dos tópicos mais discutidos desde a década de 1960 quando vários estudos comparativos demonstraram com uma mesma densidade, várias formas

urbanas são possíveis, cada uma com diferentes qualidades (MARTIN, MARCH, 1972; JACOBS, 2000). A textura urbana foi analisada na Suíça, pela Universidade de Genebra, onde mapas de várias cidades suíças foram coletados e avaliados. Comparações mostraram uma grande diversidade dentro de um contexto geográfico relativamente pequeno. A razão para este fenômeno foi atribuído a vários impactos das normas e regulamentos de construção nas morfologias urbanas (CETAT, 1986). Noções interessantes, como a relação *densidade x volumetria*, começaram a surgir a partir desta pesquisa, constituindo indicadores de forma urbana úteis. As características texturais de bairros urbanos são um resultado da acumulação e sobreposição de características da forma de edifícios na microescala e, portanto, apresenta fortes implicações para o consumo de energia e desempenho ambiental de um bairro urbano.

Para Golany (1995) existem princípios básicos que podem ser aplicados no processo de desenho urbano fundamentados nas considerações climáticas locais. Os dois principais aspectos que devem ser considerados são: a seleção do sítio urbano (local do assentamento urbano e seu perfil climático) e a configuração urbana. Golany propõe tipos de morfologia urbana apropriada para o desenho urbano (forma compacta, forma dispersa, forma agrupada e forma combinada), em resposta à sua categorização de seis tipos climáticos: quente e úmido, temperado (frio e úmido), quente e seco, frio e seco, litorâneo e montanhoso. Salienta que as soluções de desenho podem ser adequadas para mais de um tipo de perfil climático, apesar das diferenças nos comportamentos das variáveis climáticas.

Os atributos da morfologia urbana (geometria da massa construída, densidade, tamanho, porosidade/ permeabilidade aos ventos predominantes) responsáveis pelo desempenho climático das estruturas urbanas são, atualmente, estimulados e concretizados, no contexto brasileiro, através dos instrumentos de planejamento normativo, como as leis de uso e ocupação do solo, os códigos de obra e edificações, como também, planos diretores baseados em macrozoneamentos urbanos. Desta forma, a utilização de bases científicas no planejamento da ocupação do solo urbano é uma estratégia capaz de contribuir para a racionalização do uso da energia elétrica, minimização do surgimento de fenômenos como as ilhas de calor e a poluição do ar. A análise de dados concretos referentes aos principais fatores envolvidos na possível modificação do clima urbano pode permitir a implementação de ações de cunho corretivo em ocupações já iniciadas e/ou preventivo, quando de ocupação de novas áreas urbanas.

A legislação urbanística nas cidades brasileiras tem mantido uma perspectiva de regulação do mercado imobiliário, tornando-se instrumento de especulação e de valorização imobiliária, em detrimento da inclusão de novas demandas sociais relativas à qualidade ambiental e ao uso racional de recursos naturais. Como já destacaram Mascaró, J.L e Mascaró, L. (2001), a maioria dos instrumentos de legislação urbana acaba não assegurando as condições mínimas de salubridade e conforto ambiental no meio urbano, pois se restringem a parâmetros urbanísticos tradicionais, relativos apenas à densidade máxima permitida, coeficiente de aproveitamento do solo, taxa máxima de ocupação, afastamentos mínimos das divisas e alturas máximas das edificações. Além disso, observa-se uma significativa homogeneidade de recomendações na legislação construtiva brasileira, mesmo ocorrendo uma

grande diversidade de domínios climáticos no território nacional. Assim, verifica-se, no país, um grande distanciamento entre as considerações da *bioclimatologia* e as diretrizes urbanísticas contidas nos planos, códigos e leis municipais.

Segundo a literatura especializada (CHANDLER, 1976, ASSIS, 2000; MONTEIRO; MENDONÇA, 2003; KATZCHNER, 2007), é reconhecível, atualmente, a importância da climatologia urbana para o planejamento e para a preservação da qualidade ambiental do meio urbano, porém, sua aplicação às atividades de planejamento e projeto das cidades ainda é muito limitada. Dentre as dificuldades desta aplicação, apontam-se quanto às possíveis causas: a abordagem fragmentada e desintegrada entre os diversos campos do conhecimento envolvidos e a falta de um consenso quanto a um quadro conceitual norteador para a elaboração de metodologias integradas, inclusive na abordagem das bases de dados e dos recursos. (BRANDÃO 2009, ASSIS, 2011). Assim, a maioria dos trabalhos nessa área, tanto no Brasil como no exterior, são descritivos e, portanto, seus resultados enfocam apenas situações do caso em estudo. Além disso, as recomendações para o planejamento e o projeto urbano, climaticamente responsáveis, são muito genéricas. Aponta-se, então, a necessidade de elaboração de critérios e métodos de projeto de caráter menos genéricos para aplicação no processo de síntese da forma urbana (ASSIS, 2005).

O desafio para a superação dos obstáculos para aplicação dos princípios da bioclimatologia no processo de planejamento urbano e para o alcance da sustentabilidade urbana corresponde ao próprio entendimento da dinâmica urbana e da capacidade de identificação e estudos de cenários futuros. Monteiro (1976) já chamava a atenção para a necessidade do desenvolvimento de modelagem para a simulação a partir de situações observadas, fortalecendo as bases de previsão para subsidiar o planejamento urbano.

O entendimento das interfaces conceituais presentes nas discussões da climatologia urbana e da sustentabilidade tem se revelado bastante promissor para o levantamento de novas perspectivas de análise e reconhecimento das problemáticas urbanas. Os esforços científicos para o desenvolvimento de metodologias para subsidiar o processo de planejamento urbano é relativamente recente (OKE, 1988; BITTAN, 1988; OLIVEIRA, 1988; KATZSCHNER, 1997; BARBIRATO, 1998; ASSIS, 2000; DUARTE, 2000, HIGUERAS, 2006, BRANDÃO 2009). Como destacou Higuera (2006): Para cada lugar deve existir um planejamento. Isso porque cada localidade apresenta particularidades quanto ao perfil climático e quanto aos fatores que influenciam este perfil.

As consequências do fenômeno, como aumento do consumo de energia nos edifícios devido à perda das condições de conforto térmico nos espaços urbanos e arquitetônicos, coloca em questionamento o estímulo ao alto adensamento construtivo urbano, apontado por muitos pesquisadores, como solução mais adequada para o alcance a sustentabilidade urbana. Ora, se o alto adensamento construtivo pode provocar prejuízos quanto à formação do ambiente climaticamente modificado, como devemos tratar o adensamento urbano? Por hora, compreende-se que não se deve buscar uma resposta generaliza para este questionamento, pois as diferentes realidades climáticas apresentam especificidades que devem ser previamente avaliadas.

A presente pesquisa pretende contribuir para o entendimento desta questão, acreditando que a bioclimatologia aplicada ao projeto urbano poderá subsidiar soluções que permitam o alto adensamento construtivo, considerando as implicações na estrutura urbana, para que o aproveitamento do potencial dos recursos naturais de climatização não se torne comprometido. Pretende-se realizar uma investigação fundamentada na integração dos campos disciplinares do **urbanismo bioclimático** e da **climatologia urbana**. Desse modo, dentre as interfaces conceituais da bioclimatologia e da sustentabilidade urbana, corresponde ao principal ponto de convergência a busca pela melhoria da qualidade ambiental, a partir do equilíbrio entre *consumo* e *produção* no sistema urbano, principalmente através de soluções urbanísticas que busquem a minimização dos efeitos negativos do processo de urbanização do ponto de vista da qualidade climática.

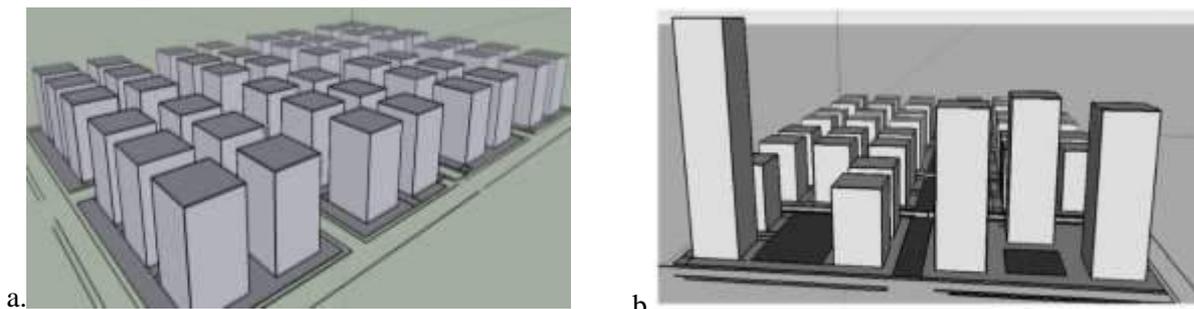
2.6 Clima Urbano e o debate sobre o adensamento urbano

Os estudos fundamentados no desempenho climático de morfologias urbanas podem, então, subsidiar novas soluções para o controle do adensamento construtivo. É importante, porém, levar em consideração as particularidades climáticas de cada localidade avaliada.

A densidade populacional indica o grau de compacidade de uma área urbana e diferentes formas urbanas podem responder a um mesmo padrão de densidade, com diferentes configurações de espaços abertos, condições microclimáticas e distribuições de usos (figura 2.24). Desta forma, as pesquisas fundamentadas no urbanismo bioclimático devem subsidiar o processo de planejamento urbano, através do estudo de parâmetros urbanísticos, definidos na legislação das cidades, do Plano Diretor à Lei de Uso e Ocupação do Solo, pois os mesmos agem diretamente sobre a densidade urbana e determinam os limites de adensamento de uma determinada área, interferindo, ou não, no aproveitamento da ventilação natural e na determinação de espaços livres urbanos.

Evidenciando a influência da legislação urbanística no estímulo ao favorecimento de diferenciados padrões de ocupação urbana, a presente pesquisa será fundamentada na análise da influência de parâmetros urbanísticos sobre a qualidade climática urbana.

Figura 2.24: Exemplo da modificação da morfologia urbana, utilizando-se a mesma densidade construtiva prevista. a). Quadras com lotes determinados por taxa de ocupação 60% e coeficiente de aproveitamento 1,5. b) Quadra aberta determinada por edificações com maior gabarito



Fonte: elaborado pela autora

As abordagens de planejamento urbano e de planos diretores que tenham sido concebidas a partir de considerações das mudanças climáticas são raras, mesmo que tenham sido desenvolvidas com o enfoque na sustentabilidade urbana. A maioria dos municípios (exceção das capitais e cidades de grandes aglomerações urbanas) apresenta carência de informações para a quantificação e formulação de índices urbanísticos locais para o atendimento e manutenção da qualidade ambiental na cidade (ELETROBRÁS, PROCEL, 2012)

Segundo dados do IBGE (2009), 57% dos 5.575 municípios brasileiros possuem código de obras. Todos os municípios com mais de 500.000 habitantes apresentam este instrumento de controle e ordenamento territorial (total de 40 municípios), porém, nos municípios enquadrados nas classes entre 100.001 a 500.000 habitantes e 50.001 a 100.000 habitantes, o percentual correspondente a ausência deste instrumento é de 10% e 8% respectivamente. Nos municípios com menos de 50.000 habitantes, este percentual corresponde a 46%. É importante destacar, ainda, que além o número elevado de municípios que não apresentam código de obras, é comum encontrar exemplos de cidades que apresentam instrumentos elaborados a partir de outras realidades urbanas e que não evidenciam as particularidades locais, como também, exemplos que não contemplam informações suficientes para regulamentar coerentemente as atividades de construção nas diferentes poções do território do município. A maioria apresenta instrumentos de planejamento desarticulados (Plano Diretor, Código de Obras, Lei de Zoneamento e lei de Parcelamento) e não possibilitam o atendimento dos objetivos tratados nos seus termos gerais.

Assim, para a aplicação dos princípios bioclimáticos no processo de planejamento urbano é necessário entender os atuais processos envolvidos na materialização espacial da estrutura urbana. Esta materialização espacial corresponde à forma, à morfologia e à configuração dos espaços urbanos e constituem o foco de análise da presente pesquisa, pois, representam significativa relação com perfil e comportamento das condições climáticas, ou seja, com a formação do Clima Urbano.

Um dos aspectos atualmente discutidos é o ajustamento da forma urbana para favorecer a adequação climática e a sustentabilidade urbana. O debate sobre a densidade está presente em qualquer discussão sobre o planejamento urbano devido a sua estreita relação com os estudos sobre os impactos ambientais. Desta forma, colocam-se em evidencia neste debate as análises de dois modelos de forma urbana: a cidade compacta, tradicional do centro da Europa, e a cidade dispersa, bastante presente na realidade anglo-saxônica, cujos exemplos mais determinantes encontramos na América do Norte e Sul.

Farr (2013), ao abordar o conceito de urbanismo sustentável, aponta a necessidade de aplicação de parâmetros, interdisciplinares (dimensionais e relacionais) para o desenho e desenvolvimento urbano, discutidos a partir de cinco categorias: aumento da densidade urbana, corredores de sustentabilidade, bairros sustentáveis, biofilia¹⁰, edificações e

¹⁰ O termo “biofilia” é utilizado pela Universidade de Harvard para representar a relação os seres humanos com a natureza e com outras formas de vida. Beatley (2010), aplica o termo *biofilia* às cidades que apresentam um desenho urbano que permite aos habitantes desenvolverem atividades e um estilo de vida que os deixa aprender

infraestrutura de alto desempenho. Especificamente quanto ao aumento da densidade construtiva e populacional, defende como benefício ambiental a redução indiscriminada no uso per capita de recursos naturais, tanto no nível local, regional como também, global. Porém, destaca que é imprescindível uma avaliação criteriosa e integrada quanto às estratégias para o aumento da densidade urbana para que ocorra um equilíbrio entre os impactos locais e os benefícios globais. Isso porque o aumento da densidade construtiva pode gerar, no nível local, efeitos indesejáveis como bloqueio à luz solar, aumento de congestionamentos e trânsito lento de automóveis, evidenciando assim, a complexidade desta estratégia de sustentabilidade. Nos grandes centros urbanos, os espaços de alta densidade podem corresponder aos custos mais elevados para a construção civil, porém, mais lucrativos. Desta forma, é necessário que a legislação urbanística contemple diretrizes para evitar a saturação quanto à infraestrutura e, também, quanto aos impactos ambientais decorrentes da inadequação climática dos conjuntos edificados.

Freitas (2008) analisa as consequências das densidades altas e baixas destes dois modelos para o alcance da cidade sustentável e avalia as relações existentes entre conjuntos edificados e seu entorno, como também, a compatibilidade entre densidade de ocupação, valorização imobiliária, presença de equipamentos urbanos e a possibilidade de apropriação dos elementos naturais. Sua pesquisa revela que apesar do adensamento construtivo ser comumente associado ao processo de degradação ambiental, não pode por si só, ser representado como fator negativo. Freitas, portanto, investigou, sob a perspectiva da consideração dos aspectos climáticos no processo de planejamento, a contribuição do adensamento para o alcance da sustentabilidade ambiental.

Segundo Andrade (2005), desde o início da década de 1990 do século XX, têm sido desenvolvidos argumentos que defendem o incremento da densidade de ocupação e intensificação da utilização dos espaços urbanos, como forma de incrementar a sustentabilidade, reduzindo o consumo de espaço e de energia e as emissões de poluentes pelos transportes (STEEMERS, 2003). Surge assim um novo paradigma, a cidade compacta, em evidente contradição com os modelos de “utopia climática urbana”, dominante na década de 60 e 70 do séc. XX (LANDSBERG, 1973) que preconizavam espaços de baixa densidade. Atualmente, o conceito de "Cidades Tranquilas", de Jan Gehl, salienta também, a importância da qualidade do espaço público e a criação de um espaço urbano mais agradável e confortável integrado à natureza e que atende às necessidades dos pedestres e ciclistas (GEHL DE, 2010).

A formação do movimento *Novo Urbanismo*, na década de 1950, pode ser visto como uma reação à prática de planejamento após a Segunda Guerra Mundial, que amplamente incentivava a separação de uso da terra por meio de zoneamento com enfoque no desenvolvimento orientado para a utilização do automóvel. A segregação no uso do solo por funções, influenciada pelas teorias do Congresso Internacional de Arquitetura Moderna - CIAM (*Congrès Internationaux d'Architecture Moderne*) e associados, deu origem a uma série de pesquisas na área da sociologia que estudaram os impactos do ambiente urbano sobre

os seres humanos e seu comportamento. Jane Jacobs, que defendia o uso misto para ativar a vida nas ruas e "olhos na rua" para a prevenção da criminalidade no meio urbano (controle social urbano), ou Kevin Lynch, que investigou como as pessoas compreendem o ambiente urbano através de um "mapa mental" dos "caminhos, limites, distritos e pontos de referência", estão entre os teóricos mais influentes (LYNCH 1960; JACOBS 2000).

Embora não existam ainda modelos teóricos que permitam sustentar o paradigma da cidade compacta, diversas evidências empíricas têm reforçado a possibilidade da compacidade urbana sem o comprometimento das condições termo-energéticas de ambientes urbanos.

Assis (2000), usando o exemplo de Belo Horizonte, já havia demonstrado que em áreas verticalizadas, mas com maior área livre, as condições de conforto térmico são melhores do que em áreas horizontais com maior taxa de ocupação. Essa recomendação também concorda com o trabalho de Bittencourt *et al.* (1997 e 2000) e Givoni (1998). Bittencourt *et al.* (1997) lembram que os recuos maiores, além de facilitar a circulação do vento na área urbana, aumentam o potencial de uso da iluminação natural, reduzindo a carga térmica da iluminação artificial.

Souza (1997) verificou a influência da geometria urbana na temperatura do ar, desenvolvendo um modelo matemático para identificar possíveis correlações entre características geométricas e as condições térmicas da cidade de São Carlos-SP. Essa correlação é fraca para índices de verticalização médios e fatores de visão do céu entre 58% a 90%, demonstrando que o maior adensamento construtivo não está diretamente associado a consequências térmicas danosas para o meio ambiente.

Barbirato (1998), a partir do ajuste de um modelo unidimensional de balanço de energia para a realidade climática de Maceió-AL, observou que a variável massa de construção (mc em Kg/m²) foi o parâmetro menos sensível à faixa de variação climática (aproximadamente 2% de mudança na temperatura do ar máxima). Apesar de o modelo corresponder ao nível de avaliação de escala mesoclimática, os resultados apontam para possibilidade de estímulo ao adensamento construtivo.

Duarte (2000), a partir de um modelo empírico, desenvolveu um indicador visando orientar as medidas necessárias para amenizar o rigor microclimático de áreas urbanas e concluiu que é possível equilibrar a maior densidade construída com os elementos naturais (vegetação e água), com altas densidades urbanas. A idéia do indicador foi possibilitar soluções que permitam otimizar as trocas de calor latente, em oposição ao predomínio de trocas sensíveis que caracterizam o balanço de energia da maioria das áreas urbanizadas

Freitas (2008) apontou a necessidade de revisão e análise do entendimento sobre o processo de urbanização e a conseqüente degradação ambiental, pois destaca que não é impossível alcançar qualidade ambiental urbana sob estas configurações, pois existem diversos exemplos de cidades densas determinadas por bons indicadores de qualidade de vida. Em sua análise abordando a cidade de Recife, Freitas constata a não associação entre

urbanização, adensamento e degradação ambiental. Neste sentido, o estudo permitiu concluir que a qualidade de vida e a sustentabilidade ambiental serão obtidas em cidades compactas quando for preservada a alta densidade de vegetação e garantida a eficiência dos sistemas urbanos.

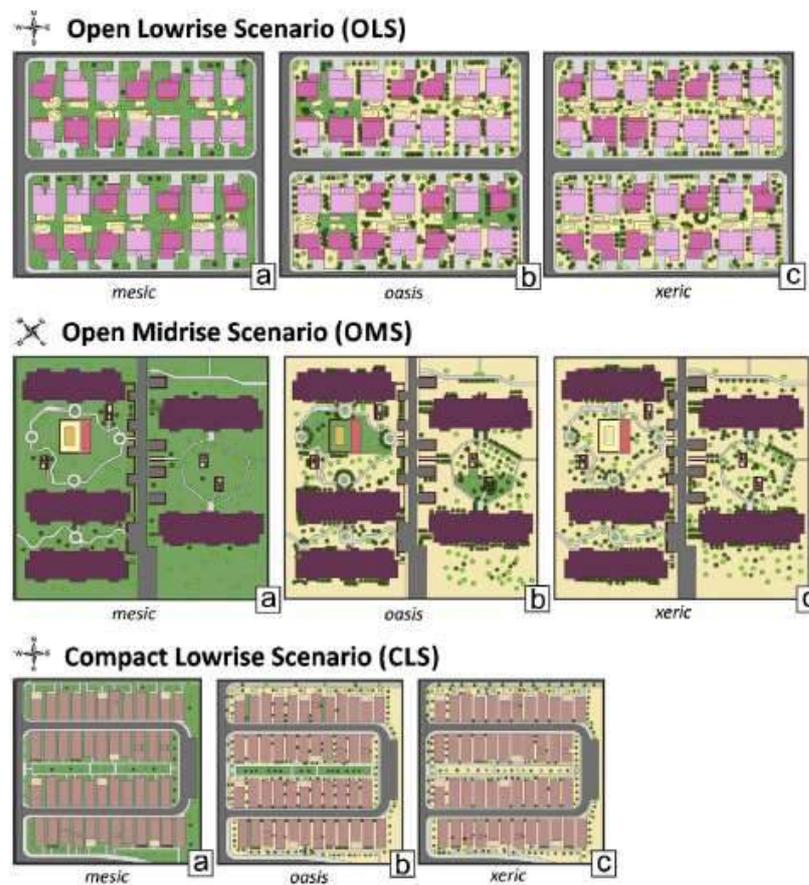
Castelo Branco (2009) realizou simulações computacionais no programa Envi-met e constatou, partir de um estudo na Superquadra 108 Sul de Brasília, que há criação de um microclima no espaço arborizado investigado, onde a temperatura do ar é amenizada, mostrando a relevância de áreas verdes na malhar urbana.

Gonçalves et al (2011) realizaram uma avaliação de desempenho ambiental das propostas de ocupação e forma urbana na área da Luz, no centro da cidade de São Paulo e demonstraram que formas urbanas associadas a altas densidades populacionais (tomando o limite de 2.500 pessoas por hectare como referência) não implicam necessariamente em baixa qualidade ambiental do espaço urbano. A avaliação geral mostrou que a proposta de quadras abertas tem um desempenho inicial superior ao da proposta de quadras fechadas de forma perimetral, no contexto ambiental do centro de São Paulo. A quadra aberta superou a quadra perimetral nos itens de ventilação urbana, dissipação de poluentes e conforto do pedestre, enquanto a quadra perimetral foi melhor no que tange ao ruído urbano e à geração de energia.

Gusson (2014) quantificou o efeito da densidade construída sobre o microclima urbano, por meio da elaboração de diferentes cenários paramétricos, usando a versão 4.0 do ENVI-met, considerando possíveis padrões de ocupação de quadra, com diferentes tipologias de edifícios: o bloco perimetral, o edifício lâmina e o edifício torre, para a cidade de São Paulo. O estudo mostra que, mantendo-se a mesma densidade construída, os arranjos de cenários apresentaram comportamento distintos. Dentre os estudados, o cenário torre foi o que apresentou menores temperaturas do ar no período noturno e diurno, devido ao sombreamento mútuo entre os edifícios, contribuindo para menor aquecimento das superfícies.

Middel et al (2014) desenvolveram um estudo para investigar o impacto da forma urbana e tipo de paisagismo no microclima do semi-árido de Phoenix, Arizona. O objetivo foi encontrar estratégias de desenho urbano para melhorar as condições microclimáticas locais. Foi utilizado como ferramenta de análise o modelo ENVI-met, sendo simuladas as temperaturas para um dia típico de verão em recintos de bairros residenciais, adotando-se também, estudos de cinco cenários alternativos caracterizados por morfologias urbanas diferenciadas. Os resultados mostraram que as temperaturas nos recintos investigados são fortemente influenciadas pelo padrão de exposição da radiação solar e de sombreamento locais. Por isso, no período vespertino, as formas urbanas densas/compactas contribuíram para criar ilhas frias de amenização climática local, sendo, portanto, adequadas ao clima semi-árido local. A pesquisa destaca a importância da utilização do conceito de Zona Climática Urbana-LCZ (OKE, 2006) para fins de planejamento e desenho urbano.

Figura 2.25: Cenários investigados por Middel et al (2014) para o clima semi-árido de Phoenix, Arizona.



Fonte: Middel et al (2014)

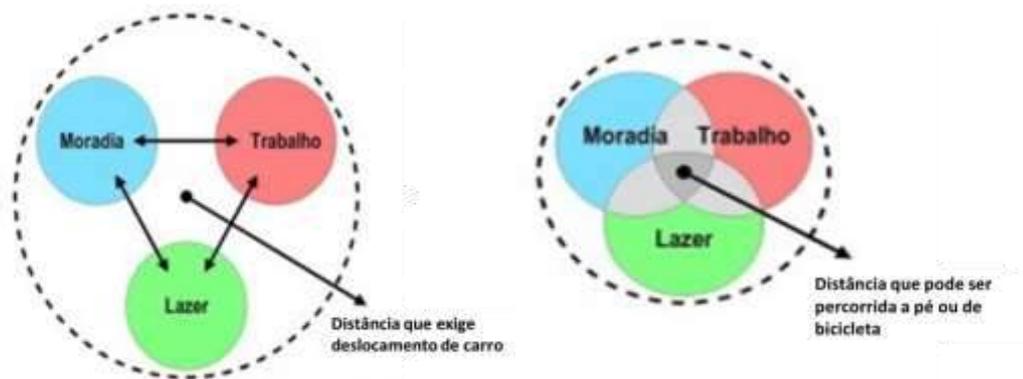
Wang, Berardi, Akbari (2015) investigaram, também através do modelo ENVI-met, os efeitos de três estratégias combinadas de mitigação de ilha de calor, em Toronto, no Canadá, realizando análise comparativa a partir de três tipologias morfológicas urbanas: As estratégias de mitigação foram: o efeito do telhado verde, da vegetação urbana e da geometria e densidade (fator de visão do céu). Dentre os conjuntos morfológicos, foram analisados: o arranjo disperso (com edificações de altura média igual a 9m), arranjo de densidade média (com edificações de 20m) e arranjo de arranha-céu (edificações com altura média equivalente a 54m). Foi demonstrado que a morfologia urbana e o sombreamento proporcionado pela vegetação urbana afetam significativamente o armazenamento de radiação solar, principalmente, durante o verão. Estas duas estratégias foram as mais destacadas para o efeito de mitigação da ilha de calor. O efeito do telhado verde na área de densidade média é maior do que na área de malha dispersa e no conjunto de arranha céu, devido à influência do dossel urbano no comportamento dos materiais da superfície do solo.

Em abordagens sobre a sustentabilidade urbana, a literatura especializada aponta que a malha urbana dispersa gera problemas ambientais, face ao espalhamento da estrutura urbana, eliminando florestas, aumentando a demanda por consumo de energia, exigindo o intenso uso de veículos para o transporte de mercadorias e pessoas (que acarretam a poluição do ar através

da emissão de gases provenientes de combustíveis fósseis nos diversos meios e redes de transportes), afetando, também a elevação da impermeabilização do solo natural decorrentes da pavimentação excessiva (exercendo sérios danos ao ciclo hidrológico, causando enchentes, impactando também no clima urbano). De acordo com Silva e Bustos Romero (2011), a cidade compacta permite a minimização do consumo de materiais, energia e água, bem como a otimização de infraestrutura e o aumento da coesão social, por isso, contribui para a promoção da sustentabilidade urbana.

Segundo Acsehrad (2009), além da compactação urbana, é necessária, também, a descentralização dos serviços e usos, distribuindo das áreas centrais para as periferias, para promover um espaço urbano menos segregado e mais igualitário. Desta forma, destaca-se a importância do controle demográfico paralelo às mudanças no processo de planejamento e gestão urbana. É importante, por isso, analisar a forma/ morfologia urbana apropriada para o cumprimento destas considerações. Isso porque a densidade populacional indica o grau de compacidade de uma área urbana e diferentes formas urbanas podem responder a um mesmo padrão de densidade, com diferentes configurações de espaços abertos, condições microclimáticas e distribuições de usos. A descentralização dos serviços poderia vir atrelada à multipolarização, de maneira que cada bairro ou zona da cidade tenha usos múltiplos, capazes tanto de abrigar a população, quanto oferecer oportunidades de emprego e lazer (figura 2.26).

Figura 2.26: Comparação de núcleos urbanos compactos e núcleos dispersos com zoneamento.



Fonte adaptado de Rogers (2001).

Porém, Irger (2014) afirma que a maioria das capitais australianas desenvolveram estratégias para absorver o crescimento significativo da população dentro dos limites existentes, promovendo uma forma de uso do solo mais compacto para limitar a expansão urbana e aumentar a eficiência da infraestrutura, reduzindo o uso de transportes relacionados com as emissões de gases de efeito estufa. No entanto, na ausência de considerações climáticas, a política de planejamento contemporânea tem desprezado o fato de que as densidades urbanas mais elevadas intensificam, potencialmente, a formação de ilhas de calor urbanas, evidente não apenas nos centros urbanos compactos, mas também no desenvolvimento de subúrbios recentes. Em sua tese de doutorado, intitulada: *The effect of urban form on urban microclimate (O efeito da forma urbana no microclima urbano)*, Irger (2014) comparara a morfologia dos recintos e ruas em relação à temperatura do ar e da

superfície, com o foco no efeito modificador de parâmetros da forma urbana, tais como a vegetação, geometria rua, densidade e volumetria da construção e características de superfície urbanas. Foi empregada a técnica de sensoriamento remoto de alta resolução para examinar a estrutura espacial de bairros e seus padrões térmicos diurnos em toda área metropolitana de Sydney. Foi constatado que, no período noturno, a intensidade da ilha de calor aumenta com a densidade de construção associada ao reduzido fator de visão do céu, enquanto as temperaturas de superfície durante o dia são mais elevadas em áreas com fator de visão do céu maior. A magnitude da ilha de calor aumenta proporcionalmente ao grau de impermeabilidade do solo e depende diretamente das propriedades térmicas dos revestimentos de solo da superfície, tal como albedo, inércia térmica e emissividade. Onde as coberturas metálicas são as superfícies impermeáveis dominantes, por exemplo, as temperaturas médias da superfície são geralmente abaixo da média durante a noite e acima da média durante o dia.

A partir destes estudos, evidencia-se a importância da investigação de parâmetros de forma e morfologia urbana para o alcance de diretrizes relacionadas com o controle do adensamento construtivo urbano. Para isso, torna-se imprescindível o conhecimento das especificidades climáticas de cada localidade, fundamentados na climatologia urbana.

O que se configura atualmente no cenário brasileiro, em termos de urbanização, é ainda o modelo determinado pelo espalhamento da malha urbana (não planejada ou planejada de forma incorreta), determinado pelos processos de exclusão social, representado tanto pela implantação de condomínios exclusivos (principalmente a partir da década de 1990), como também, pelos diversos conjuntos habitacionais de interesse social e, principalmente, pelos assentamentos irregulares (favelas, cortiços etc). Ou seja, por loteamentos e/ou assentamentos, para diferentes e extremadas classes socioeconômicas. Esta lógica, portanto, revela-se incoerente com as novas discussões urbanas sobre sustentabilidade, densidade e diversidade. Desta forma, é necessária a atualização do planejamento face à complexidade urbana e os requerimentos da sustentabilidade.

Assim, o *urbanismo bioclimático*, revela-se como disciplina com elevado potencial para o desenvolvimento de estratégias e diretrizes para ocupação urbana de menor impacto ambiental, favorecendo o alcance das diretrizes da sustentabilidade urbana, a partir do estabelecimento de padrões de adequação climática de assentamentos construtivos. Para isso, é fundamental o aprimoramento das análises preditivas (simulação de cenários futuros), principalmente quanto à investigação dos atuais padrões de ocupação urbana e de densidade construtiva e populacional.

De acordo com as contribuições teóricas desenvolvidas através dos estudos de climatologia urbana, as principais diretrizes de planejamento para construção da cidade bioclimática permeada pelos princípios da sustentabilidade urbana são as seguintes (HIGUERAS, 2006):

- promover linhas de ação baseadas nas considerações das particularidades dos sítios urbanos (clima, topografia, cultura); cada sítio deve apresentar medidas específicas dentro de sua própria integração territorial com outros assentamentos urbanos;

- promover o uso misto e diversidade de atividades concentradas em áreas urbanas centrais para reduzir as viagens e o consumo de energia para o transporte, incentivando rotas pedestres;
- integrar, ampliar e, convenientemente, projetar a rede de espaços urbanos abertos como um sistema capaz de corrigir e moderar extremas condições ambientais adversas e servir como espaço de relacionamento e uso social;
- efetivar o planejamento através do estímulo de densidades (construtivas) moderadas em comparação com a baixa densidade de casas dispersas, onde o custo da energia, da infraestrutura e do impacto sobre o meio ambiente são muito elevados;
- incentivar a utilização de técnicas arquitetônicas para condicionamento passivo, oferecendo soluções possíveis para as necessidades da economia de energia; considerar a cobertura como a quinta fachada, com grande potencial para o controle do conforto ambiental.

É importante que haja maior articulação entre as legislações urbanísticas responsáveis pelo ordenamento das cidades e as características climáticas de ambientes externos por meio da elaboração de diretrizes que incorporem o enfoque climático nos instrumentos de planejamento urbano (planos diretores), com vistas a um planejamento urbano-ambiental climaticamente adequado.

2.7. Morfologia urbana e parâmetros urbanísticos: desafios para o adensamento urbano

Diante dos resultados das recentes pesquisas sobre a influência da morfologia urbana na qualidade microclimática de espaços urbanos, verifica-se que o padrão tradicional de legislação para controle e ordenamento da ocupação do solo, que utiliza como unidade mínima o lote urbano, pode constituir uma barreira para implantação de soluções mais eficazes para o aproveitamento dos condicionantes ambientais (ventilação natural, iluminação natural e resfriamento evaporativo através da vegetação) no interior da estrutura urbana.

Brandão (2009) denominou como parâmetros avançados, aqueles que descrevem de forma precisa as trocas de calor no meio urbano. Estes parâmetros podem ser quantificados para expressar as condições de ocupação do solo e organizações espaciais que interferem nas condições climáticas locais. Em seu estudo sobre a ambiência térmica na região metropolitana de São Paulo, Brandão avaliou e quantificou os seguintes parâmetros avançados: a **rugosidade**, correspondente à medida do atrito que uma superfície oferece ao fluido que se desloca sobre ela, sendo fator fundamental no estudo da ventilação urbana; o **índice de compacidade (IC)** referente à razão entre o volume e a área superficial dos edifícios, que permite avaliar a capacidade de troca da massa edificada com a atmosfera, e a **variabilidade de alturas** (dado a partir do desvio padrão de altura em cada quadra).

Liang Chen, Edward Ng (2011) destacam a utilização do parâmetro DAF para a avaliação das condições de aproveitamento da ventilação no meio urbano. A **densidade de área frontal (DAF)** é uma medida da área frontal (exposta à diretamente às massas de ar) relacionada com a unidade de área horizontal e uma unidade de incremento de altura. Tem

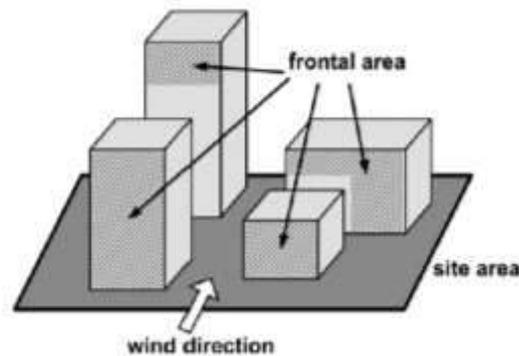
sendo amplamente utilizado por pesquisadores para ajudar a quantificar a força de dissipação de massas de ar em função da altura do edifício. A densidade de área frontal é definida da seguinte forma (figura 2.27):

$$a_f(z, \theta) = \frac{A(\theta)_{proj}(\Delta Z)}{A_T \Delta Z}$$

E7. [8]

A variável $A(\theta)_{proj}(\Delta Z)$ é a área de superfície de construção projetada em o plano normal à direção do vento que se aproxima de um especificado incremento em altura Δz ; θ é o ângulo de direção do vento; e A_T é a área total do plano do sítio de estudo. O maior valor de FAD indica a velocidade do vento baixa, ao passo que menor valor FAD indica menos bloqueio para o vento e, portanto, maior velocidade de vento.

Figura 2.27: Aspectos do volume edificado adotados para a identificação da *densidade de área frontal* (DAF)



Fonte: Liang Chen, Edward Ng (2011)

Martins, Bonhomme e Adolphe (2013) apresentaram um método simplificado de análise e mapeamento morfológico do tecido urbano para auxiliar no estudo da climatologia e do impacto da forma urbana na demanda de energia das edificações. Parâmetros tradicionais e avançados foram empregados na análise da geometria urbana, a fim realizar uma cartografia morfológica de áreas urbanas em cidade de clima quente e úmido. Dentre os parâmetros avançados quantificados destacam-se: a) a **compacidade da quadra**, que consiste na relação entre a área de envoltória exterior dos edifícios na malha e o volume destes, b) a **contiguidade** de um edifício, calculada como a área das paredes geminadas sobre a área total da envoltória; c) a **rugosidade absoluta** da quadra que consiste na razão da soma das alturas ponderadas pela sua superfície e pela superfície total do tecido urbano considerado (construído e não construído), d) a **porosidade da quadra** que constitui a relação dos volumes úteis abertos ao conjunto de volumes do tecido urbano considerado e e) o **prospecto médio** identificado a partir da relação da altura média ponderada pela largura da rua.

A abordagem referente aos *parâmetros urbanísticos avançados*, portanto, não corresponde à definição de novos instrumentos de planejamento urbano, refere-se apenas ao modo de caracterização do processo de ocupação de recintos urbanos. Na presente pesquisa, serão contemplados alguns destes parâmetros para o estudo da influencia da morfologia urbana na determinação das condições microclimáticas urbanas do objeto empírico selecionado. Serão descritos no próximo capítulo os procedimentos para a quantificação dos mesmos.

É importante destacar que, no cenário brasileiro, alguns pesquisadores têm questionado o modelo normativo de controle de ocupação urbana quanto a sua capacidade para guiar as dinâmicas cada vez mais complexas das cidades brasileiras (ASSIS, 2007; NETTO e SABOYA, 2010). Os instrumentos tradicionais do planejamento normativo visam restringir possibilidades de ocupação do espaço e definir a direção adequada para processos urbanos futuros incluindo, em princípio, uma ideia de “forma desejável” para a cidade. Porém, o zoneamento urbano, principal instrumento normativo do uso do solo com o objetivo de permitir o controle da densidade de ocupação urbana e evitar conflitos entre usos incompatíveis, tem sido utilizado para, indiretamente, segregar classes sociais e impedir a desvalorização de bairros nobres. A crítica apontada a este tipo de instrumento refere-se a sua abordagem fundamentada em indicadores estáticos, apresentando assim, diversas limitações. As críticas sistemáticas a este modelo de planejamento surgiram ainda na década de 1960, devido ao caráter homogeneizante das prescrições urbanísticas em contradição com as dinâmicas urbanas.

Segundo Netto e Saboya (2010), os parâmetros urbanísticos tradicionalmente definidos por regras atuais de ocupação urbana, são limitados em relação a: a) *composição dos espaços urbanos*; b) às relações de interação entre a forma construída e espaços abertos; c) noção de conjunto formal e leitura do espaço; além de uma série de outros aspectos importantes, sob o ponto de vista do desenho urbano.

Desta forma, a complexidade envolvida nos processos de ocupação urbana tem evidenciado as limitações do planejamento normativo. Por isso, alguns pesquisadores têm apontado a necessidade de estudar novas soluções e instrumentos para desenvolvimento dos processos de regulação do solo urbano. Estas perspectivas destacam a importância na análise sistêmica, baseada em análise e monitoramento dos espaços urbanos, numa tentativa de aproximar cada vez mais o planejamento urbano da esfera da pesquisa.

Começam a ser exploradas alternativas ao planejamento normativo, através do estímulo de metodologias de análise de desempenho urbano. Netto e Saboya (2010), por exemplo, reforçam que a análise e a decisão sobre a espacialidade urbana devem basear-se nas relações *acessibilidade-densidade-atividade* como critério para a definição das formas de ocupação e uso mais adaptáveis à evolução da estrutura e dinâmica urbanas.

Para evitar a homogeneização das prescrições próprias das determinações dos parâmetros urbanísticos, delineados no zoneamento urbano, os códigos de desempenho ou semi normativos, constituem uma alternativa aos códigos normativos. No Código de

Desempenho, são oferecidos parâmetros de qualidade a serem atingidos e ferramentas para avaliá-las, ficando a solução final a cargo do projetista. Segundo Assis et al (2007), os códigos semi normativos permitem ao projetista descobrir diversas soluções de ocupação desde que seja comprovado o bom desempenho da edificação.

Observa-se que a dinâmica socioeconômica brasileira tem sido permeada fortemente pelos interesses do mercado imobiliário, que atua em conjunto com um Estado que abre mão de seu papel regulatório no que se refere aos processos de planejamento urbano. Coloca-se em evidência o real papel destes parâmetros já que os mesmos, em muitos casos, são facilmente modificados através das alterações na legislação urbanística, principalmente, nos diversos exemplos de operações urbanas consorciadas, realizados em todo território nacional.

A análise dos atuais parâmetros urbanísticos (tradicionais) pode ser comparada em avaliações preditivas, com o desempenho de parâmetros avançados de ocupação urbana (novos parâmetros) a serem elaborados a partir de análises de desempenho urbano. A contribuição da climatologia urbana ao processo de planejamento urbano, portanto, pode favorecer o desenvolvimento de alternativas aos atuais instrumentos normativos, subsidiando o aprimoramento dos Métodos de Análise de Desempenho.

Desta forma, a presente pesquisa pretende testar a utilização da quadra como elemento mínimo para o controle de ocupação, através da legislação urbana, para subsidiar a identificação de novas respostas para o favorecimento do desempenho térmico e energético do ambiente urbano, no nível microclimático, devido à possibilidade de estímulo à conservação e configuração de espaços livres com potencial para incorporação das estratégias bioclimáticas (solo natural e eliminação das barreiras aos ventos predominantes locais).

3 ABORDAGEM METODOLÓGICA: Considerações sobre a pesquisa preditiva

Os estudos de fenômenos concretos, reais, como os estudos sobre o clima urbano, devem considerar que estes se desenvolvem sempre na linha do tempo, ou seja, apresentam caráter dinâmico. Desta forma, não sendo possível analisar todo o universo de possibilidades sobre esta realidade, a aplicação de **modelos** da situação investigada pode ser adotada como alternativa para o alcance das respostas ainda não encontradas a respeito do fenômeno estudado. Esta postura teórico-metodológica defendida por Echenique (1975) será adotada na presente pesquisa, considerando que a mesma objetiva relacionar os conhecimentos das disciplinas *climatologia urbana* e *urbanismo bioclimático* a partir da compressão da dinâmica espacial das cidades. A pesquisa será fundamentada em uma análise descritiva, qualitativa e quantitativa, baseada em estudo de caso, o sítio urbano da cidade de Arapiraca-AL.

O ponto de partida da pesquisa corresponde à elaboração de um diagnóstico para compreensão, tanto das particularidades do perfil climático do objeto empírico, como também, para identificação do grau de adequação de sua estrutura urbana. A partir da compreensão destes aspectos, será desenvolvida a avaliação do comportamento climático de diferentes padrões de ocupação urbana, representados por diferentes morfologias e densidades construtivas. Este enfoque objetiva identificar princípios e diretrizes para a análise de desempenho, subsidiando o processo de planejamento urbano.

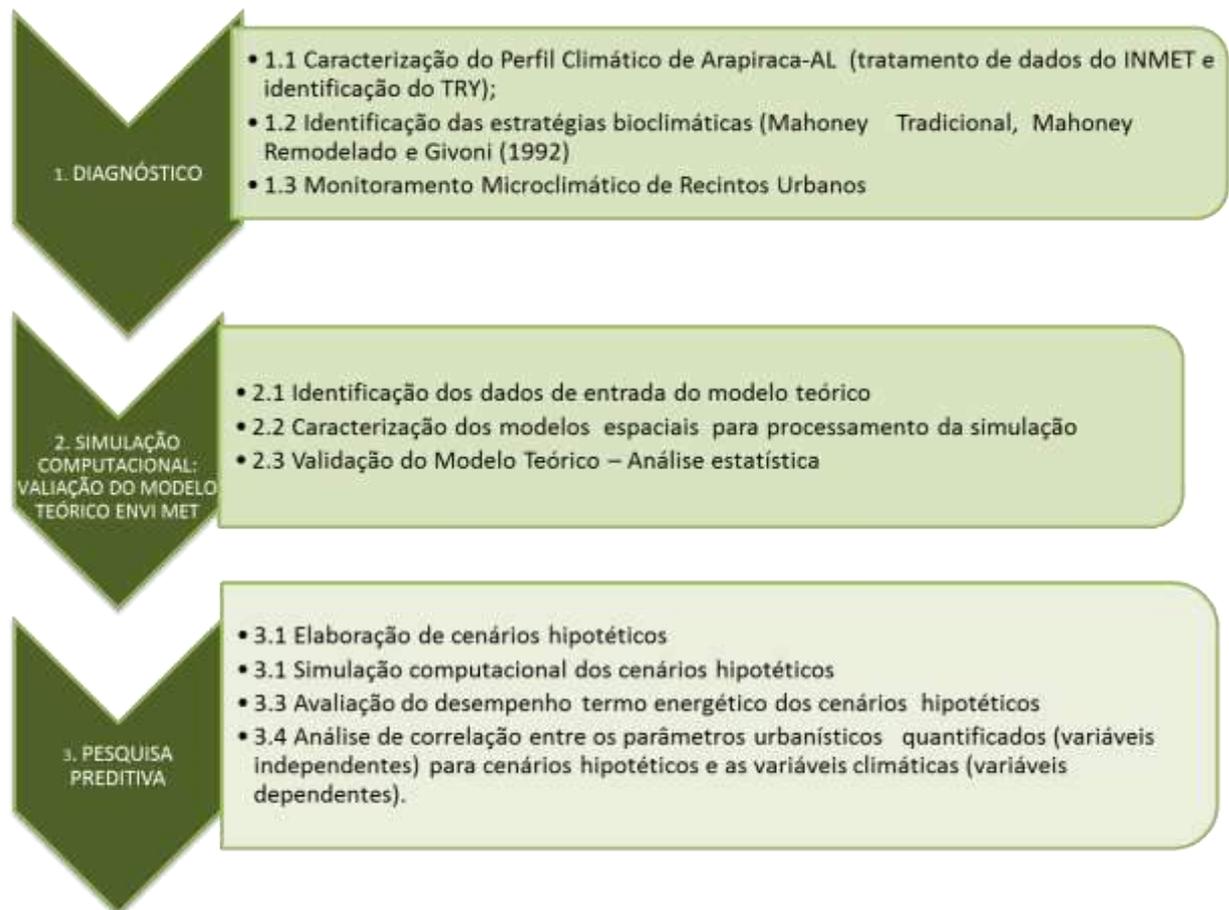
A pesquisa será baseada numa **abordagem preditiva**. A utilização de modelos¹¹ possibilita a análise de condições/ cenários futuros, diferenciando-se das abordagens essencialmente descritivas (definição e descrição do fenômeno ou objeto). O **método de abordagem** da pesquisa corresponde ao **hipotético dedutivo** partindo da teoria existente no campo da micrometeorologia para entender o comportamento climático de tipologias espaciais urbanas a partir da influência da densidade construtiva e padrões morfológicos fundamentados nos parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados. Esse método de abordagem é empregado para demonstrar as hipóteses do trabalho, através da abordagem do geral para o particular, para chegar a uma conclusão (LAKATOS; MARCONI, 1991). O método hipotético dedutivo também admite a experimentação, que caracteriza os métodos de procedimento que serão discutidos neste capítulo.

Foi realizada a revisão teórica sobre os conteúdos relacionados com as temáticas do

¹¹ Modelagem matemática: representação de um fenômeno a partir de um modelo conceitual, idealizado com base no levantamento e interpretação de dados e observações do sistema real, tendo como objetivo uma melhor compreensão do sistema atual, possibilitando prever situações futuras, algumas vezes passadas, porém sempre buscando direcionar ações de decisão (IRITANI, 1998).

estudo para a construção do atual estado da arte, abordando os temas: clima urbano e climatologia, bioclimatologia, métodos de caracterização climática, planejamento urbano e sustentabilidade urbana (apresentadas no capítulo 2). Após este procedimento, a pesquisa foi desenvolvida a partir de três etapas, representadas no diagrama abaixo (figura 3.1) e descritas a seguir:

Figura 3.1: Etapas e procedimentos metodológicos da pesquisa.



Fonte: Elaborado pela autora

3.1 Elaboração de Diagnóstico referente ao grau de adequação climática de assentamentos urbanos em Arapiraca-AL

Para elaboração deste diagnóstico é imprescindível para o entendimento do perfil climático do objeto empírico. Apesar das publicações referentes aos tipos climáticos do território brasileiro que fornecem uma visão panorâmica sobre os diferentes comportamentos das variáveis climáticas (IBGE, 2012; MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO, 2005), estas informações são insuficientes para identificar quais as estratégias bioclimáticas são mais apropriadas para adequação de assentamentos construtivos urbanos. É necessário, portanto, fazer uma análise bioclimática a partir de dados climáticos disponíveis, para o entendimento

das especificidades de um clima local. Serão adotados no presente trabalho dois procedimentos fundamentados em referências teóricas para identificação de estratégias bioclimáticas: A Carta Bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) (através do programa *Analysis Bio - LABEEE*) e Método de Mahoney -tradicional e remodelado (UNITED NATIOS, 1971). Para aplicação destes procedimentos, é necessário um conjunto de dados climáticos históricos tratados estatisticamente como as Normais Climatológicas, o *Test Reference Year* (TRY) ou *Typical Meteorological Year* (TMY). Estes dados são importantes não só para a compreensão das estratégias bioclimáticas locais, mas também, para a calibração do modelo teórico de análise microclimática, o programa Envi-Met que será adotado na pesquisa preditiva.

Segundo a Organização Meteorológica Mundial (OMM), as Normais Climatológicas correspondem a valores médios das variáveis climáticas calculados para um período relativamente longo e uniforme, compreendendo no mínimo três décadas consecutivas. Em casos onde a localidade não apresente uma estação com operação durante 30 anos, Normais Provisórias, podem ser calculadas, a partir de médias de curto período, baseadas em observações que se estendam sobre um período mínimo de 10 anos.

Diferente das Normais Climatológicas (Departamento Nacional de Meteorologia, 1992, Instituto Nacional de Meteorologia, 1979) que apresentam valores médios das variáveis climáticas de diversas localidades do Brasil, o *TRY* e *TMY* são baseados na identificação de um ano climático de referência, com dados horários, a partir da análise de uma série histórica de dados climáticos. Por isso, a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE)*, Sociedade Americana de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado, recomenda o ano climático de referência (*TRY*) e o ano meteorológico típico (*TMY*) para fins de avaliação do desempenho termo-energético em edificações.

Em Alagoas, existiam estações meteorológicas financiadas pela SUDENE a partir da década de 1970. Porém, após a extinção desta instituição, muitas estações foram desativadas e seus dados perdidos (PASSOS, 2009). Atualmente, os dados climáticos são registrados apenas pelos órgãos nacionais (Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE) ou por instituições ligadas à produção de pesquisa científica (Universidade Federal de Alagoas -UFAL e Universidade Estadual de Alagoas -UNEAL). Em Arapiraca-AL, só existe uma estação automática (monitoramento de dados climáticos a cada hora), que foi implantada pelo INMET, em abril de 2008. Portanto, a cidade não apresenta uma série histórica de dados climáticos.

Esta é uma realidade presente em várias outras cidades de médio e pequeno porte. A ausência das normais climatológicas para caracterização do perfil climático e de estratégias bioclimáticas para Arapiraca é um dos principais obstáculos para o alcance de diretrizes voltadas para o planejamento urbano local. A necessidade de disponibilidade de dados de um período mínimo para caracterização (dez anos) foi analisada no presente estudo, tendo sido adotado como alternativa para o desenvolvimento da pesquisa, o tratamento de dados para uma caracterização provisória, a partir do método TRY. Para isso, foram utilizados os dados

horários da estação automática do INMET (A353), referente ao período de maio de 2008 a dezembro de 2015 (dados horários de anos consecutivos).

3.1.1 Caracterização do Objeto Empírico e Identificação do Ano Climático de Referência

O *Test Reference Year (TRY)* descrito por Stamper (1977) é uma técnica desenvolvida para determinar um ano representativo, dentre uma série histórica de dados climáticos. Este ano climático de referência é utilizado em diversos programas de simulação computacional para cálculo de consumo de energia e condições de conforto térmico, como *EnergyPlus*, *Design Builder*. A partir de uma série histórica, os anos que apresentam temperaturas médias mensais extremas (altas e baixas) são descartados até que reste um ano considerado representativo do período. Os anos com médias mensais extremas vão sendo eliminados até que reste apenas um ano. Esse ano conterá os valores de temperatura e umidades das 8.760 horas que compõem o TRY.

A partir de uma planilha eletrônica manipulada no EXCEL, foram calculadas as médias mensais para o período de anos disponível (dados INMET). Os meses foram classificados em ordem de importância, registrando-se os que apresentavam temperaturas do ar mais elevadas e mais baixas. Após a análise dos doze meses, foi repetida a sequência, porém invertendo-se o sentido da análise. Ou seja, dos meses quentes passou-se aos frios e vice-versa, sucessivamente. O ano mais quente foi anotado e o mais frio também. O processo seguiu com anotações dos anos em que ocorreram os extremos, os quais foram eliminados. O procedimento foi continuado até que restasse somente um ano: o TRY.

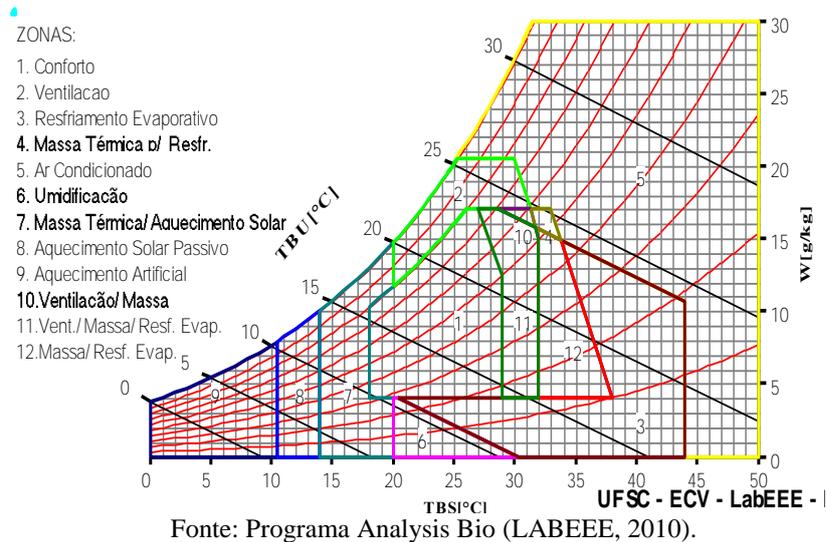
3.1.2 Identificação das estratégias bioclimáticas: Carta Bioclimática de Givoni (1992), o Método de Mahoney Tradicional e o Método de Mahoney Remodelado.

A partir da caracterização climática, foram aplicados dois procedimentos para a identificação das estratégias bioclimáticas, já citados anteriormente: a carta bioclimática de Givoni (1992) e método de Mahoney (tradicional e remodelado). Aplicação destes métodos possibilitou a verificação de convergência ou não de resultados, evitando os erros de interpretação.

Os dados climáticos horários da estação meteorológica local (INMET-A353), tratados a partir do TRY, foram avaliados através do índice de conforto proposto por GIVONI (1992), a Carta Bioclimática (figura 3.2), adaptada para o Brasil (Goulart et al, 1994). Este índice permite identificar as estratégias bioclimáticas, cujo emprego seria recomendável para enquadrar as condições climáticas (temperatura e umidade relativa do ar) aos limites de conforto. Os resultados permitem quantificar a porcentagem de horas situadas na zona de conforto ou fora dela (horas de desconforto). Para isso, foram plotados os dados horários

referentes à caracterização climática (identificação do TRY), na carta bioclimática a partir do programa *Analysis Bio 2.2* (LABEEE, 2010).

Figura 3.2: Carta Bioclimática proposta por Givoni (1992) adapta para o Brasil (Goulart et al, 1994)



Dentre as adaptações do índice de Givoni (1992), propostas por Goulart et al (1994), destacam-se como principais as seguintes: a) a zona de ventilação foi estendida até a linha de 100%, baseada na carta de Gonzalez et al (1986), desenvolvida para climas quentes e úmidos; b) como a carta de Givoni não apresentava limite da zona de resfriamento na área abaixo da zona de conforto (umidades relativas mais baixas), foi estabelecida a delimitação pela linha de TBU (temperatura de bulbo úmido) de 1,6° de acordo com Gonzalez et al (1986); c) na zona de ventilação foi adotado para o limite superior de umidade absoluta o valor 20,5g/Kg de ar seco, que corresponde a 25mmHg ao nível do mar. Foram complementados: a) como a zona de umificação não foi adotada por Givoni, a mesma foi acrescentada segundo a carta de Gonzalez et al, adotando-se o limite definido pela TBU de 10,6°C, comum à zona de Resfriamento Evaporativo, c) foram acrescentadas as Zonas de Aquecimento Artificial (até o limite de TBS igual a 10,5°C), Zona de Aquecimento Solar (delimitada entre os valores de TBS entre 10,5°C e 14°C), Zona de Massa Térmica (limite inferior de 14°C até 20°C, fora da zona de conforto; d) acrescentou-se a zona de ar condicionado: área não atendida por nenhuma estratégia.

A identificação destas estratégias bioclimáticas subsidiou a elaboração do diagnóstico sobre o grau de adequação dos assentamentos construtivos do sítio urbano de Arapiraca, possibilitando a verificação das possibilidades de aproveitamento destas estratégias a partir da caracterização de um entorno urbano que favoreça a aplicação das mesmas.

O método para recomendações de projeto desenvolvido por Carl Mahoney, em 1969 para elaborar diretrizes para o projeto de escolas secundárias na Nigéria (apresenta

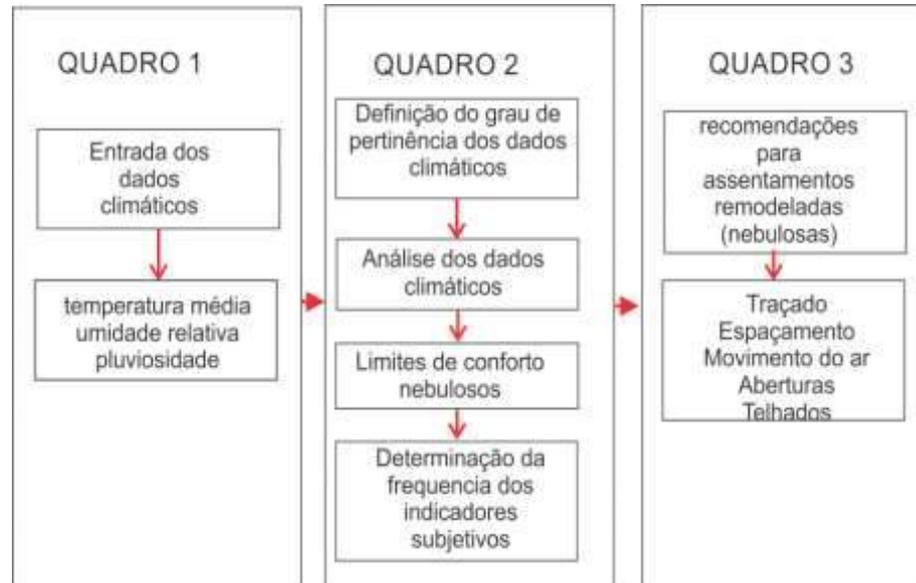
grande diversidade climática em seu território, variando de quente e úmido no litoral a quente-desértico na porção continental) tem sido usado em muitos países e contextos climáticos. O método foi publicado pela ONU em 1971 e incluído na obra “*Manual of Tropical Housing and Building – Climate Design*” (KOENIGSBERGER et al, 1977). Para a identificação das recomendações são utilizados dados das normais climatológicas locais para comparação com limites de conforto pré-estabelecidos. Esta comparação permite identificar grupos de problemas climáticos dominantes e para cada grupo, recomendações técnicas de projeto. As recomendações incluem aspectos gerais sobre: traçado do entorno construído, espaçamento entre edificações, configuração de aberturas, paredes e coberturas das edificações, indicando estágios onde os fatores climáticos devem ser considerados em conjunto com os demais fatores de projeto. Dentre as variáveis climáticas, o sistema deste método considera para o alcance da avaliação as seguintes: temperatura do ar mensal (máximas, mínima), umidade relativa média mensal e pluviosidade média mensal a partir das normais climatológicas locais. O recorte temporal para análise do perfil climático, através deste método, corresponderá ao período de 2009 a 2015 (dados registrados pela estação meteorológica do INMET)

Assim, foram analisadas as recomendações de projeto através do **método de Mahoney tradicional**, como também, através do **método Mahoney remodelado** (HARRIS, 1999; HARRIS; CHENG; LABAKI, 2000, SENA, CHENG, 2005), indicado para cidades de clima composto. Segundo algumas pesquisas, o método tradicional quando aplicado a cidades de climas de transição, apresenta recomendações de projeto contraditórias, pois para dois grupos de dados climáticos estatisticamente iguais de uma mesma cidade pode-se chegar a recomendações de projeto controversas, devido a uma pequena diferença entre a média dos dados climáticos dos dois grupos. Como a cidade de Arapiraca está localizada em área de transição entre a costa úmida e o interior semiárido do Nordeste brasileiro, foi estimada uma significativa diferenciação entre os períodos do ano quanto ao comportamento das variáveis climáticas. A remodelagem desse método, através da aplicação da Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy System Theory*), permitiu a obtenção das prioridades referentes às recomendações consistentes para essa realidade climática.

A Teoria dos Conjuntos Nebulosos (TCN) é a base da Teoria dos Sistemas Nebulosos (TSN) e é uma extensão da Teoria dos Conjuntos (*Crisp Set Theory*). A Lógica ou Inferência Nebulosa (*Fuzzy Logic or Fuzzy Reasoning*) é um processo de dedução lógica que leva em consideração a subjetividade e a ‘vagueza’ características dos processos de tomada de decisão da mente humana (CHENG, 2001). Tal como método de Mahoney Tradicional, o Método de Mahoney Nebuloso é fundamentado na análise de três quadros (figura: 3.3). No quadro 1, tem-se a entrada dos dados climáticos e a definição do grau de pertinência de cada dado climático (exemplo: grau de pertinência de Temperatura Média Mensal Alta; Grau de pertinência de Temperatura Média Mensal Baixa, grau de pertinência de Temperatura Média Mensal Média, grau de pertinência de amplitude térmica grande, grau de pertinência de amplitude térmica pequena etc). No quadro 2, deve-se modelar os conjuntos de rigor térmico bem estar para o dia e para noite, definidos por Mahoney (KOENIGSBERGER et al, 1977) . No quadro 3, são remodelados as regras de inferência do método tradicional, para determinar

os indicadores climáticos de cada mês, utilizando as operações de conjuntos nebulosos (Harris, 1999).

Figura 3.3: Representação Esquemática do Método de Mahoney Nebuloso



Fonte: Adaptado de Sena e Cheng (2005)

A identificação das diretrizes bioclimáticas para adequação das construções permitiu, através de observações e análises da forma urbana da localidade investigada, a realização de um pré-diagnóstico local sobre o padrão de adequação dos assentamentos urbanos, como também, fundamentou a caracterização e elaboração de cenários hipotéticos para o desenvolvimento da análise preditiva (última etapa da pesquisa).

3.1.3 Monitoramento microclimático de tecidos urbanos em Arapiraca-AL

A partir da caracterização do perfil climático local e da compreensão dos aspectos para adequação climática de assentamentos construtivos, foram identificados os principais padrões locais de ocupação urbana determinados por formas urbanas e densidades construtivas diferenciadas. Assim, para o cumprimento do objetivo da pesquisa, o **monitoramento microclimático** destes tecidos diferenciados correspondeu ao procedimento de suporte à pesquisa preditiva e calibração do modelo teórico adotado para avaliação de cenários hipotéticos (ENVI-met). O objetivo deste procedimento foi desenvolver a coleta de dados para subsidiar a análise da correlação entre parâmetros de ocupação e forma urbana com as respostas de desempenho climático de recintos urbanos.

3.1.3.1 Seleção dos tecidos urbanos para análise de desempenho climático e quantificação dos parâmetros urbanísticos

A cidade de Arapiraca-AL¹² apresenta-se localizada na região central do Estado de Alagoas, apresentando relativa continentalidade (sem influência marítima). Segundo Maitelli (1994), em cidades que apresentam estas condições já foi detectada a influência do uso do solo urbano na ocorrência de ilhas de calor. Desta forma, seu sítio urbano apresenta-se com características apropriadas para realização do monitoramento climático para a análise da influência de diferentes parâmetros urbanísticos no comportamento higrotérmico dos ambientes urbanos. Assim, os procedimentos para a realização do monitoramento microclimático foram os seguintes:

- Seleção de tecidos urbanos, a partir da análise da diversidade de formas, para colocar em evidência as relações entre as diferentes configurações urbanas e o comportamento microclimático, e identificação da uniformidade dos elementos morfológicos numa determinada fração urbana. Para subsidiar este procedimento, foi elaborado o mapa de densidades construtivas das quadras urbanas a partir dos dados do cadastro multifinalitário da prefeitura local, aplicados através do programa *Terra View* (figura 3.4);
- Avaliação das densidades construtivas em tecidos de formas diferenciadas para destacar que diferentes padrões morfológicos podem responder ao mesmo padrão de densidade. Para isso, o cálculo da densidade construtiva corresponde à soma das áreas úteis construídas dividida pela área total da malha urbana (Eq.1).

$$Dens\ Const = \frac{\sum i\ Stot\ i}{S} \quad Eq. 1$$

Onde:

$Stot$ = área útil total construída do edifício

S = área total na malha.

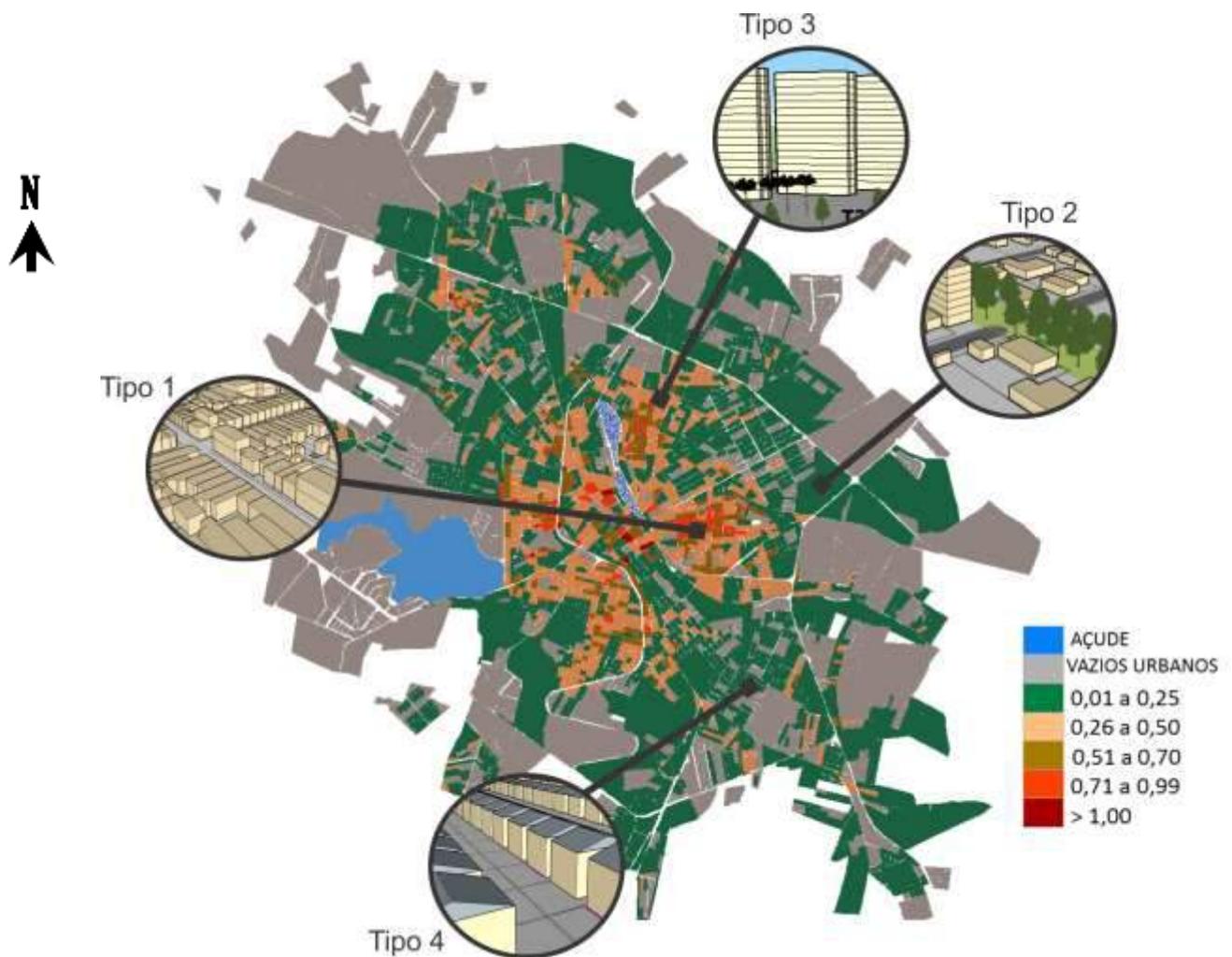
- Quantificação dos parâmetros urbanísticos (tradicional e avançados) dos tecidos selecionados. Foram quantificados os parâmetros de ocupação, através da utilização da base cartográfica do Cadastro Multifinalitário da Prefeitura Municipal de Arapiraca-AL (2012), disponível na base georeferenciada (*software Terra View*). Os parâmetros básicos tradicionais (derivados diretamente das legislações de parcelamento do solo e de uso e ocupação), embora ainda não sejam especificados na legislação urbanística de Arapiraca, foram calculados a partir das seguintes variáveis: área construída total (somatório de áreas úteis), área do recinto selecionado; área de solo construída (somatório das áreas de projeção das construções). Para subsidiar esta quantificação, foi utilizada a plataforma *Modelur Pré Beta*, vinculado ao Programa SktechUp (figura 3.5). *Modelur* é uma ferramenta que calcula

¹² A caracterização da cidade será apresentada no Capítulo 4.

indicadores de controle urbano em tempo real.

Desta forma, foram identificados quatro tipos morfológicos de tecidos urbanos¹³ em Arapiraca-AL, determinados por padrões de ocupação do solo urbano diferenciados sendo selecionado um tecido urbano para cada tipo, com altitudes próximas e determinados pela uniformidade dos padrões construtivos. No quadro 3.1 são descritas as informações de cada tipo morfológico identificado no sítio urbano de Arapiraca.

Figura 3.4: Mapa de densidade construída das quadras urbanas – Arapiraca-AL: destaque para os tipos de tecidos selecionados para a investigação climática.



Fonte: Elaborado a partir de dados do cadastro Multifinalitário da Prefeitura Municipal de Arapiraca (2013)

¹³ O tecido urbano é configurado pelo sistema viário, pelo padrão do parcelamento do solo, pela aglomeração e pelo isolamento das edificações, assim como, pelos espaços livres (MOUDON, 1997).

Quadro 3.1: Caracterização geral dos tipos de tecidos urbanos identificados na cidade de Arapiraca-AL.

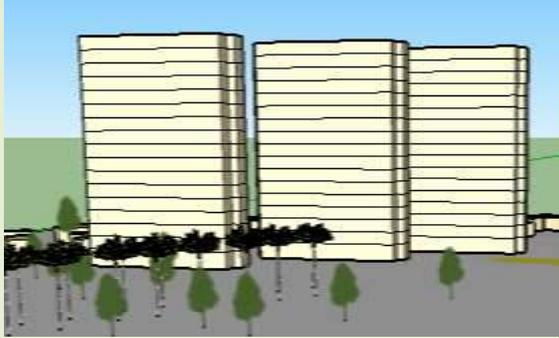
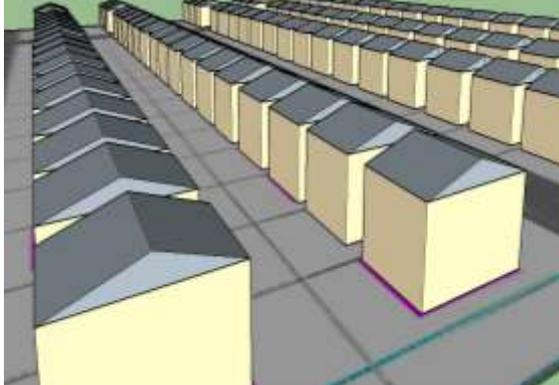
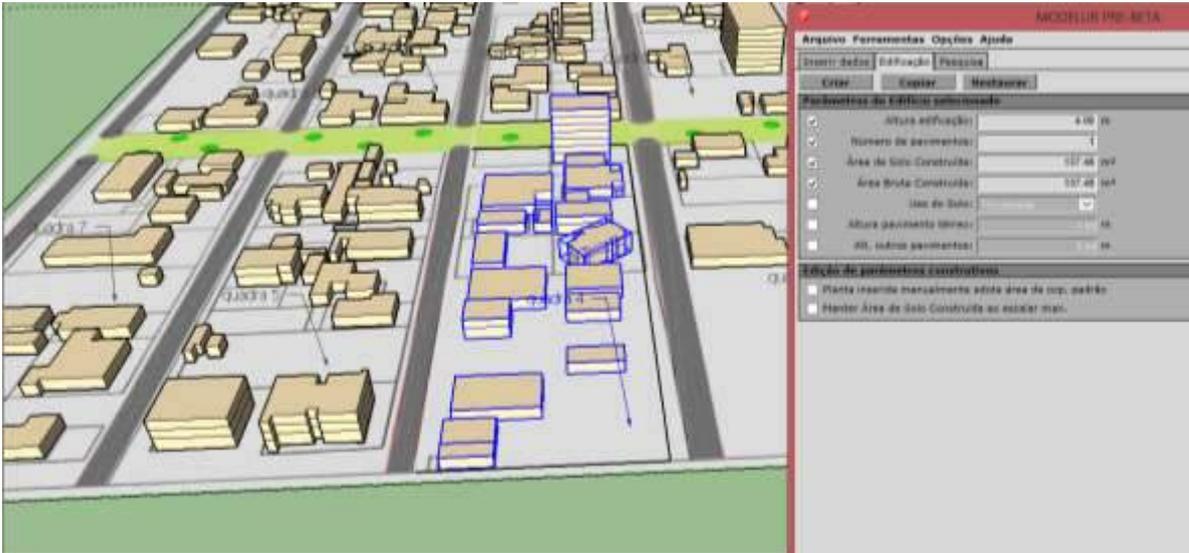
Classes tipológicas	Classificação Morfológica e Características de Ocupação
	<p>Tipo 1: Horizontal Denso</p> <p>Quadras com ocupação perimetral e taxa de ocupação do solo elevada. O tecido é caracterizado por com edificações térreas ou de dois pavimentos, residenciais ou de uso misto, localizadas em lotes estreitos. O conjunto edificado apresenta baixa porosidade devido à existência predominante de edificações geminadas e lotes com taxa de ocupação elevada. Este padrão morfológico está presente no Centro da cidade e nos bairros circunvizinhos como, bairro Brasília, Ouro Preto, Cacimbas, Primavera, Capiatã, Eldorado.</p>
	<p>Tipo 2: Horizontal Disperso</p> <p>O tecido é caracterizado predominantemente por ser horizontal com edificações residenciais individuais e isoladas. Apresenta quadras com ocupação perimetral, os lotes são maiores, a partir de 430m², com taxa de ocupação média ou baixa.. Este tipo morfológico pode ser encontrado em alguns poucos bairros de Arapiraca, mais afastados do Centro, como Nova Esperança, Alto do Cruzeiro, Novo Horizonte, em novos loteamentos do bairro Santa Esmeralda e em condomínios fechados como o Ouro Verde no bairro Arnon de Melo. Em alguns casos, devido à tendência de verticalização local, os lotes estão sendo ocupados pelas primeiras unidades de habitação vertical de até seis pavimentos.</p>
	<p>Tipo 3: Vertical Alto Disperso</p> <p>É o tipo de ocupação mais recente em Arapiraca. O tecido é constituído por edificações habitacionais verticais altas (acima de 10 pavimentos), dispostas em quadra de grande dimensão (30.000m²), com presença de arborização nos espaços imediatos exteriores. Atualmente esta tipologia espacial pode apenas ser encontrada no bairro Caititus, representada pelo Condomínio Residencial Space.</p>
	<p>Tipo 4: Horizontal Contínuo</p> <p>Constitui o tipo de tecido mais homogêneo, representado por conjuntos de habitação unifamiliar com quadras de ocupação perimetral. Corresponde ao padrão difundido pelo Programa <i>Minha Casa, Minha Vida</i>, encontrado nos bairros da periferia da cidade, como Planalto, Canafístula, Verdes Campos, Olho D'água dos Cazuzinhos. As edificações são térreas, com recuos laterais reduzidos e lotes de pequena dimensão (150m²). Apresenta alta tendência ao processo de ocupação total do lote em situações futuras.</p>

Figura 3.5: Procedimento de cálculo dos parâmetros urbanísticos através do *Modelur Pré Beta* – vinculado ao SktechUp.



Nos quadros 3.2, 3.3, 3.4 e 3.5, são informadas as principais características dos tecidos selecionados para representar cada área tipo identificada.

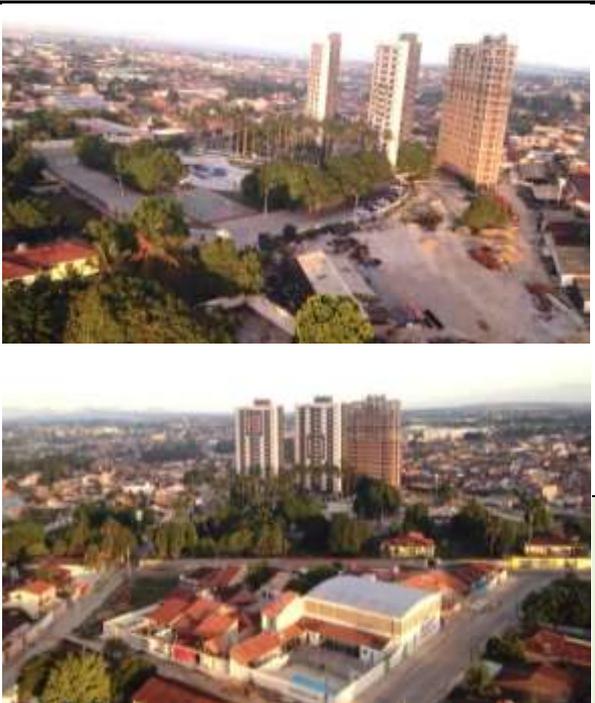
Quadro 3.2: Área selecionada representativa do tecido Tipo 1- Horizontal Denso

TIPOL 1	BAIRRO BRASÍLIA
	<p>Foi selecionado um conjunto de quadras no bairro com maior densidade populacional da cidade, o bairro Brasília, com 19.917 habitantes. Quanto à estratificação das edificações, o arranjo selecionado apresenta edificações predominantemente residenciais unifamiliares com apenas um pavimento e algumas edificações de uso misto com dois pavimentos. A orientação das vias são: leste-oeste (principais) e norte-sul (secundárias). As quadras apresentam dimensões de aproximadamente 141m x 60m e os lotes apresentam dimensões variadas: 5mx30m, 7mx30m e 10mx 30m.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Área bruta : 60.233,3m² 2. Área de solo construída: 26.230,51m² 3. Área total construída: 29.818,22m 4. Densidade populacional:158,84 hab/ha 5. Densidade construtiva: 4.950,72m²/ha

Quadro 3.3: Área selecionada representativa do tecido urbano Tipo 2- Horizontal Disperso

TIPO 1	BAIRRO NOVO HORIZONTE
	<p>Foi selecionado com conjunto de quadras no bairro Novo Horizonte, com população de 1.770 habitantes. As quadras apresentam dimensões de 193m x 60m, com lotes de dimensões variadas: 12m x 30m, 30m x 30m, 43m x 30m. O uso do solo é predominantemente residencial, com habitações unifamiliares de 1 e 2 pavimentos e com poucas edificações multifamiliares de até 6 pavimentos. A orientação das vias é sudoeste-nordeste e entre as quadras existe um corredor de arborização urbana delimitado pela presença de <i>cul-de sac</i>.</p> <p>Este tipo foi selecionado por apresentar um corredor de arborização urbana, constituindo importante potencial de amenização térmica local.</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Área bruta: 129.454,93m² 2. Área de solo construída: 25.624,48m² 3. Área total construída: 36.382,36m² 4. Densidade populacional: 27,28hab/ha 5. Densidade construtiva 1.978,68 m²/ha

Quadro 3.4: Área selecionada representativa do tecido urbano Tipo 3- Vertical Alto Disperso

TIPO 3	RESIDENCIAL ESPACE ARAPIRACA
	<p>O condomínio Residencial Espace Arapiraca foi selecionado para representar a classe tipológica <i>vertical alta dispersa</i>. O condomínio foi projetado com 06 torres de 16 pavimentos (cinco apartamentos cada). Atualmente ainda encontra-se em processo de construção apresentando três torres já construídas. Possui um entorno marcado pela presença de edificações térreas características do tipo 1: padrão horizontal contínuo geminado, como também, por vazios urbanos.</p> <p>Possui arborização urbana no interior da malha e alta taxa de permeabilidade do solo. Porém, as fachadas alongadas dos edifícios possuem orientação sudoeste, configurando uma barreira para o alcance dos ventos predominantes da orientação leste em relação ao entorno imediato situado a sotavento.</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Área bruta: 53.034,81m² 2. Área solo construída: 1.517,61 m² 3. Área total construída: 25.799, 42m² 4. Densidade populacional: 256,48hab/ha 5. Densidade construtiva: 4.865,06 m²/ha

Quadro 3.5:Área selecionada representativa do tecido urbano Tipo 4- Horizontal Contínuo

TIPO 4	BAIRRO CANAFÍSTULA
	<p>Devido à crescente implantação de conjuntos habitacionais de interesse social na cidade, foi selecionado para análise, um conjunto de habitações unifamiliares (60m² cada). O padrão construtivo tem sido amplamente difundido em todo o nordeste brasileiro, com ocupações em áreas periféricas urbanas. O conjunto selecionado está localizado no bairro Canafístula. O ambiente investigado apresenta quadras com dimensões variadas (256m x 40m, 140m x 40m, 450m x 25m). A orientação das vias pavimentadas é nordeste-sudoeste (principais). O bairro Canafístula foi escolhido por ser um dos mais populosos da cidade, porém, ainda apresenta grande área de vazios urbanos que constituem em espaços de amenização climática pela preservação de solo permeável e espaços vegetados.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Área bruta: 17.346,62 m² 2. Área solo construída: 4380,95 m² 3. Área total construída: 4380,95 m² 4. Densidade populacional: 350hab/ha 5. Densidade construtiva 2.525,7 m²/ha

Os parâmetros urbanísticos foram quantificados seguindo as equações especificadas nos quadros 3.6 e 3.7. A classificação morfológica foi realizada segundo Adolphe (2001) e Martins, Bonhomme e Adolphe (2013).

Quadro 3.6: Conceitos e procedimentos para a quantificação dos parâmetros urbanísticos tradicionais analisados no presente estudo

	Parâmetros urbanísticos	Definições / unidade	Cálculo
Tradicionais	Taxa de ocupação	Corresponde à soma das áreas construídas no solo, dividido pela área total da malha urbana. Unidade: adimensional ou %	$TO = \frac{\sum i Ssol i}{S}$ <i>Ssol i</i> = área construída no solo do edifício <i>i</i> (m ²) <i>S</i> = área total na malha urbana (m ²)
	Coeficiente de Aproveitamento	Definida pela razão da área útil total construída e a área total construída no solo Unidade: adimensional	$CA = \frac{Stot i}{Ssol i}$ <i>Stot i</i> = área útil total construída do edifício <i>i</i> (m ²); <i>Ssol i</i> = área construída no solo do edifício <i>i</i> (m ²)
	Taxa de Solo Natural	Percentual da área da malha urbana mantida em suas condições naturais (solo permeável e/ou vegetação). Unidade: adimensional ou %	$TSN = \frac{\sum Sol imp .100}{S}$ <i>S</i> = área total na malha urbana (m ²) <i>Sol imp</i> : área total de solo permeável (m ²)
	Altura média (verticalidade)	Altura média das edificações ponderada pela área ocupada no solo. Unidade: m (metros)	$Hmed = \frac{\sum i (h edf i x S sol i)}{S sol tot}$ <i>h edf i</i> = altura do edifício <i>i</i> (m) <i>Ssol i</i> = área construída no solo do edifício (m ²) <i>Ssol tot</i> = área total construída no solo do edifício (m ²)
	Recuos médios	Distância média entre as edificações. Unidade: m (metros)	$Rm = \frac{\sum recuos i}{Nr i}$ <i>Nr i</i> : número total de recuos <i>Recuos i</i> : somatório de recuos do edifício <i>i</i> (m)

Quadro 3.7: Conceitos e procedimentos para a quantificação dos parâmetros urbanísticos avançados analisados no presente estudo

	Parâmetros urbanísticos	Definições / unidade	Cálculo
Avançados	Porosidade da malha	É a relação dos volumes úteis abertos ao conjunto de volumes construído do tecido urbano considerado. Unidade: adimensional	$Po = \frac{V_{tot\ abe.}}{V_{tot\ const.}}$ $V_{tot\ aberto}$ = volume total aberto na camada limite urbana (m ³).; $V_{tot\ construído}$ = volume total construído na malha urbana (m ³). (considerando a altura média)
	Porosidade do volume edificado	Razão do volume edificado livre (permeável /poroso) pelo volume total edificado na malha urbana. Unidade: adimensional	$P_{v.edf.} = \frac{\sum V_{abe\ edi}}{V_{tot\ const.}}$ $V_{abe\ edif}$ = Volume aberto no edifício i (m ³). $V_{tot\ const}$ = Volume total edificado na malha urbana (m ³).
	Prospecto médio ^{14*}	Relação da altura média ponderada pela largura da rua. Unidade: adimensional	$Pm = \frac{Hmed}{l}$ Onde: $Hmed$ =altura média (m) ponderada dos edifícios na malha l =largura da rua (m)
	Rugosidade* Absoluta	Razão da soma das alturas ponderadas pela sua superfície pela superfície total do tecido urbano considerado. Unidade: m (metros)	$Rg = \frac{\sum_{const} Si + Hi}{\sum_{const} Si + \sum_{vazio} Sj}$ Si = área construída do edifício i H – altura do edifício i Sj – área no elemento não construído
	FAD – Densidade de Área Frontal ¹⁵	Denominado também como comprimento de rugosidade, é a razão da área frontal do volume construído (voltado a barlavento) pela unidade de área horizontal por unidade de incremento de altura. Unidade: adimensional	$FAD = \frac{A(\theta)proj(\Delta z)}{AT \Delta z}$ $(\theta)proj(\Delta z)$ = área de superfície de construção projetada em um plano normal à direção do vento que se aproxima de um especificado incremento de altura (Δz) (m ²). $AT \Delta z$ = área total do plano do sítio (m ²).
	Índice de densidade arbórea	É o número de árvores existentes em cada 100m ²	$IDA = \left(\frac{N\ \text{árvores}}{\text{Área\ tota\ do\ recinto}} \right) \times 100$

3.1.3.2 Coleta de dados microclimáticos nos tecidos selecionados

Nos tecidos selecionados, foram realizadas as medições microclimáticas de temperatura do ar e umidade relativa do ar, em período de 15 a 24 de abril de 2015, representativo da estação quente e úmida na localidade estudada. Para a caracterização da estação quente e seca, foram realizadas medições no período de 16 dezembro/2015 a 10 janeiro de 2016 (segundo caracterização climática apresentada no capítulo 4). Este procedimento de coleta de dados microclimáticos compõe um conjunto de dados em períodos diferenciados, segundo a metodologia proposta por Taesler (1986).

A coleta dos dados das variáveis ambientais foi realizada através de *data-loggers* da ONSET do tipo HOBO Pro v2 de Temperatura e Umidade Relativa do ar (referência U23-001) que é um coletor de dados para ambientes externos à prova d'água.

O procedimento de aferição dos aparelhos foi realizado no dia 10 de abril de 2015 em ambiente sem interferência humana e fechado, onde em conjunto, quatro aparelhos foram programados para registrar os dados com frequência de 15 em 15 minutos. Os dados coletados

¹⁴ Conforme Adolphe (2001) e Martins, Bonhomme e Adolphe (2013).

¹⁵ Conforme Yang, Zhao, Bruse, Meng (2012)

confirmaram a eficácia dos equipamentos e serviram para aferição dos mesmos.

Assim, os equipamentos foram programados para registro horário dos dados climáticos, sendo posicionados no interior de dispositivos de proteção contra radiação solar direta e refletida (referência RS1- ONSET) (figura 3.6). Foram fixados à sombra, em postes de iluminação, nos pontos de estudo e a 2,30m de altura (figura 3.7)¹⁶. Serão considerados para análise apenas os dias de céu claro. Desta forma, pode-se obter a tendência das magnitudes médias horárias das diferenças térmicas entre os diferentes pontos da área de estudo, na escala microclimática para a época das medições realizadas. Na tabela 3.3 são descritas as informações sobre o HOBO Pro v2.

Figura 3.6: Equipamento para monitoramento das variáveis climáticas, temperatura e umidade relativa do ar: HOBO Pro v2 da ONSET de Temperatura e Umidade Relativa do ar (referência U23-001). Programado para coletar dados horários, utilizado com proteção contra radiação solar.



Fotos: Simone Torres (2015)

Tabela 3.1: Especificações técnicas do HOBO Pro v2 (U23-001)

Sensor – Faixa de operação	Precisão
Sensor de temperatura Faixa de operação sensores internos: -40 ° a 70 ° C (-40 ° a 158 ° F)	$\pm 0,21$ ° C a partir de 0 ° C a 50 ° C ($\pm 0,38$ ° C a partir de 32 ° a 122 ° F)
Operação gama de 0-100% de HR, 40 ° a 70 ° C (-40 ° a 158 ° F) de exposição a condições de temperatura inferior a -20 ° C (4 ° F) ou acima de 95%	$\pm 2,5\%$ de 10% a 90% de HR (típica), até um máximo de $\pm 3,5\%$

Fonte: ONSET (2015)

¹⁶ A altura de posicionamento do instrumento de medição microclimática foi definida como 2,30 metros por questão segurança, evitando o acesso facilitado de curiosos ou vândalos.

Figura 3.7: Equipamentos de monitoramento microclimático fixados nos espaços selecionados: a) No Condomínio Vertical Espace (tipologia 3), b) No bairro Brasília (tipologia 1); c) Na área verde, bairro Novo Horizonte (tipologia 2) -vista externa ao lote com o hobo; d) vista interna do lote com o hobo no bairro Novo Horizonte (tipologia 2); e) vista interna do lote com o hobo no bairro Canafístula (tipologia 4); f) vista do conjunto edificado monitorado no bairro Canafístula (tipologia 4).



Os dados microclimáticos foram utilizados tanto para o reconhecimento das diferenciações climáticas dos tecidos urbanos de formas diferenciadas, como também, para a calibração do modelo teórico ENVI-met (BRUSE, 2010), que corresponde à segunda etapa da pesquisa (simulação computacional).

Para a análise higrotérmica serão calculados os valores das variáveis ambientais: temperatura máxima, mínima e média, umidade relativa máxima, mínima e média, e

amplitude térmica. Os resultados foram comparados com a temperatura de referência, medida na estação meteorológica (A353-INMET) para o período correspondente ao monitoramento microclimático. Assim, foram selecionados os dias representativos da amostra que correspondem aos dados obtidos a partir de condições de céu claro (nenhuma nebulosidade) (OKE, 2004).

3.2 Simulação Computacional – Validação do modelo teórico ENVI-MET

Uma avaliação comparativa entre os dados reais (obtidos a partir das medições microclimáticas) e simulados foi realizada para a validação e ajuste do modelo computacional ENVI-met, escolhido para a análise preditiva a partir de cenários hipotéticos. Além disso, a coleta dos dados microclimáticos fundamentou o desenvolvimento de um prognóstico para os tecidos urbanos selecionados como casos de estudo. A técnica de avaliação de cenários futuros, fundamentada nas simulações computacionais a partir de estudos de variações do caso de referência, só pôde ser aplicada a partir da calibração do modelo micrometeorológico.

3.2.1 Identificação dos dados de entrada do modelo ENVI-met

Nesta segunda etapa, as simulações computacionais foram realizadas objetivando apenas a comparação dos dados estimados pelo modelo ENVI-met e os dados reais obtidos através do monitoramento microclimático. Desta forma, foi possível verificar a capacidade do modelo quanto ao fornecimento das respostas higrótérmicas condizentes com o perfil climático local.

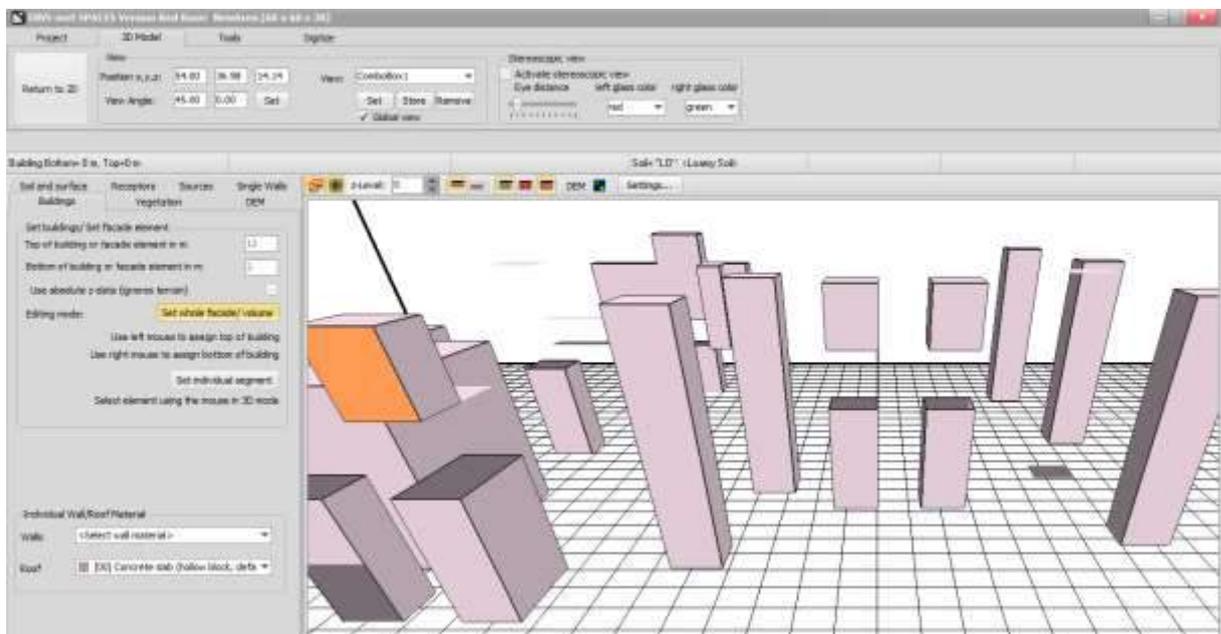
As simulações computacionais correspondentes às condições atuais de ocupação das *áreas tipo* selecionadas foram realizadas através do *freeware* ENVI-met versão 4.0 Beta. Esta ferramenta corresponde a um modelo tri-dimensional de clima urbano que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente, oferecendo várias possibilidades de aplicação e associações, permitindo a simulação do ambiente térmico urbano, baseando-se em um conjunto de modelos físicos que se encontram documentadas em Bruse (2007). O modelo combina o cálculo dos parâmetros da mecânica dos fluidos, como a forma de escoamento e a ocorrência de turbulências, com os processos termodinâmicos que ocorrem nas superfícies dos solos, das construções e das plantas para prever o fluxo de ar entre as edificações. Algumas das variáveis de entrada cadastradas no programa consistem nas características: das edificações (albedo para cálculo do balanço da radiação), do solo e subsolo (temperatura e umidade), da vegetação (espécies) e dados da biometeorologia, para estimar a resposta de conforto térmico exterior.

A versão do ENVI-met 4.0 lançada em 2014 para testes apresentou a possibilidade de incluir a caracterização do relevo nos modelos de simulação de tecidos urbanos, o que na versão anterior não era possível (versão ENVI-met 3.1). Este novo formato permitiu a identificação do Z inicial e final da edificação, referente à altura da base do edifício, podendo aplicar dados de uma altura a partir do relevo mínimo utilizado no programa. Desta forma, a topografia é incluída marcando células preenchidas como solo.

Para configuração do programa primeiramente é necessária a aquisição dos dados meteorológicos e dados do sítio modelo de simulação. O programa possui uma área de entrada que é configurada e desenhada a partir de uma imagem BMP. A imagem é originada a partir do Auto Cad, onde são estudados o dimensionamento da malha que deverá ser escolhida antes do processo de simulação. Essa imagem deve possuir informações necessárias sobre o terreno, tanto sobre o relevo do local, quanto sobre a vegetação, tipo de pavimentação e edificações locais (figura 3.8). É necessário saber informações georeferenciais, como latitude e longitude do local, meridiano-padrão, altimetria máxima e mínima da área ser simulada, país/cidade em que está situado o sítio estudado. Na versão mais atual do programa, é possível caracterizar as edificações a partir de modelos tridimensionais. No quadro 3.3 são apresentadas as informações referentes a caracterização da malha para a simulação de cada tecido selecionado.

Desta forma, os dados de entrada foram identificados a partir da escolha do dia representativo para a simulação, escolhido após o levantamento microclimático, de acordo com a metodologia de verificação das condições de baixa nebulosidade(OKE, 2006). As informações coletadas estão descritas no capítulo 4, referente à caracterização climática do objeto empírico, e no capítulo 5, referente à apresentação dos resultados das simulações computacionais.

Figura 3.8: Tela referente à modelagem 3D no ENVI- met: mostrando a possibilidade de escolha dos materiais das paredes dos edifícios e eliminação das mesmas quando necessário



Fonte: programa ENVI-met (BRUSE, 2016)

3.2.2. Validação do Modelo teórico ENVI-met

A calibração do modelo ENVI-met foi realizada por meio da comparação entre os valores horários estimados de temperatura do ar e umidade relativa do ar obtidos através das simulações computacionais dos recintos selecionados e os valores registrados *in loco* através do monitoramento microclimático. Foram utilizados os indicativos estatísticos MBE – *Mean Bias Error* (desvio médio de valores) e RMSE – *Root Mean Squared Error* (medida de dispersão dos valores estimados em relação aos valores medidos, que indica o erro quadrático médio relativo):

$$MBE = \frac{(\sum_n cx - dx)}{n} \quad \text{Eq. [02]}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum ex^2}{n}} \quad \text{Eq. [3]}$$

Onde:

cx = dado medido

dx = dado estimado

n = número da quantidade de variáveis

$ex = cx - dx$

O desvio médio MBE (*Mean Bias Error*) é um indicativo que fornece informação sobre o desempenho de um modelo quanto a sua subestimação ou superestimação de valores estimados. Um valor positivo indica uma superestimação, enquanto que um valor negativo subestimação. Quanto menor o seu valor absoluto, melhor é o desempenho do modelo avaliado. O valor do RMSE (*Root Mean Square Error*) fornece informação do desempenho do modelo quanto a seu espalhamento em torno do modelo. Quanto menor seu valor, menor a dispersão dos dados em torno do modelo. A desvantagem é que bastam alguns poucos valores discrepantes para que ocorra um aumento significativo em sua magnitude. O RMSE é um indicador que estima bem o erro sistemático de um modelo (STONE, 1993; BERTAGNOLIO, LEMORT, 2010).

Desta forma, os resultados referentes aos valores de MBE e o RMSE dos casos reais simulados possibilitarão a avaliação da confiabilidade dos dados simulados para efetivar a validação do modelo para a realização das simulações de cenários hipotéticos.

3.3 Pesquisa Preditiva

Nesta etapa, foram aplicadas as técnicas caracterizadas pela possibilidade de subsidiar análises prospectivas. As técnicas de cenários, conforme Makridakis et al. (1983), podem ser adotadas a partir de um método disciplinado para a simulação de possibilidades em um determinado tempo e local, tendo em vista o desenvolvimento de intervenções planejadas. Para o alcance dos objetivos da presente pesquisa, estas constituem um aporte indispensável nos processos que envolvem complexidade e avaliação de perspectivas futuras, capazes de

auxiliar o processo de planejamento e intervenções urbanas, os quais requerem contínua avaliação e ajustes no seu direcionamento, ao longo do tempo.

A presente pesquisa insere-se na perspectiva teórica defendida por Souza (2004), que afirma que construir cenários não significa tentar “prever” o futuro, como se a história fosse possível de determinação, mas sim apenas “simular” possíveis desdobramentos sem a preocupação de se restringir a identificar apenas um único desdobramento esperado. O objetivo da simulação de cenários é, portanto, o da realização de prognósticos, ou seja, de simular os desdobramentos de um processo, objetivando melhor precaver-se contra prováveis problemas.

A análise preditiva, a partir da técnica de cenários, objetiva subsidiar a investigação da relação dos padrões de ocupação urbana com as condições climáticas locais. Para o desenvolvimento desta abordagem, a pesquisa foi baseada em simulações computacionais de desempenho climático de cenários hipotéticos e na modelagem numérico-estatística. Dentre os principais procedimentos da análise preditiva, destacam-se os seguintes:

A) Elaboração de cenários hipotéticos para cada área selecionada:

Foram elaborados 3 cenários hipotéticos para cada tecido avaliado, representados pelos ajustes nos padrões de adensamento construtivo urbano, a partir da modificação dos valores dos parâmetros urbanísticos quantificados. Estes cenários serviram para identificar as respostas higro-térmicas decorrentes das modificações dos padrões de forma urbana diferenciadas pelos padrões de adensamento. Como a legislação urbanística do objeto de estudo ainda não especifica padrões máximos de ocupação urbana devido à ausência dos parâmetros urbanísticos nos instrumentos atuais de planejamento local, os cenários hipotéticos foram elaborados a partir da investigação de possíveis padrões de alto, médio e baixo adensamento construtivo, como também, pela consideração e inserção estratégias bioclimáticas identificadas na etapa 1 do presente estudo (caracterização climática- apresentada no capítulo 4). Assim, os cenários exploram possibilidades de ocupação e geometria urbana para favorecer a incorporação destas estratégias bioclimáticas, como também, exploram tendências de ocupação baseadas na dinâmica local. As condições atendidas para elaboração destes cenários, a partir de cada área tipo estudada, foram as seguintes:

- Aumentando a densidade construtiva da área tipo, sem alteração da forma do tecido;
- Considerando a densidade construtiva constante (similar a da situação atual), alterando a forma do tecido selecionado;
- Aumentando a densidade construtiva da área tipo, alterando a forma do tecido selecionado.

Os cenários elaborados para esta etapa da pesquisa preditiva estão descritos e caracterizados nos quadros 3.8, 3.9, 3.10 e 3.11. Cada cenário foi identificado com um código para descrever as condições para a investigação do desempenho climático.

Quadro 3.8: Cenários hipotéticos elaborados a partir do tecido Tipo 1 - Bairro Brasília.

TIPO 1: BAIRRO BRASÍLIA	
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 1: T1 CH1	
Aumentando a densidade construtiva, sem alteração da forma do tecido	
Os lotes maiores apresentam tendência à verticalização, como já identificado na situação atual do bairro, para usos institucionais, de comércio e/ou serviços. Desta forma, foram considerada a existência de edifícios de 4 pavimentos nos lotes maiores e de dois pavimentos nos de dimensão intermediária.	
	Área total construída: 54.790,72 m ²
	Área de solo construída: 26230,51 m ²
	Área total do tecido: 60.233,3 m ²
	Densidade Construtiva: 9.096 m ² /ha
	Classificação morfológica: RUGOSO GEMINADO T1.CH1
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 2: T1 CH2	
Densidade construtiva constante, alterando o padrão morfológico do tecido urbano	
Para manter a densidade, a forma foi alterada a partir de um cenário delimitado pela existência de edificações verticais baixas (quatro pavimentos). O objetivo é caracterizar um tecido com menor taxa de ocupação do solo urbano e maior percentual de solo natural para incorporação de arborização urbana. Desta forma, pretende-se verificar a possibilidade de favorecimento da estratégia de resfriamento evaporativo no nível microclimático, como também, maior permeabilidade aos ventos predominantes. Neste cenário a porosidade da malha torna-se maior, mas não há o incremento da rugosidade do tecido.	
	Área total construída: 31.728,26 m ²
	Área de solo construída: 7.932,07 m ²
	Área bruta do tecido: 60.233,3 m ²
	Densidade Construtiva: 5.267,8 m ² /ha
	Classificação morfológica: VERTICAL BAIXO DISPERSO T1.CH2
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 3: T1 CH3	
Aumentando a densidade construtiva das quadras e alterando a forma do tecido	
Neste cenário, o arranjo edificado do tecido foi modificado para ampliar a rugosidade e a porosidade da malha urbana. Assim, a forma foi caracterizada pela composição de quadras abertas para a inserção de maior área de solo natural com vegetação. Os edifícios possuem alturas variadas (entre vinte, nove, quatro e dois pavimentos).	
	Área total construída: 83.763,29 m ²
	Área de solo construída: 7.787,52 m ²
	Área total do tecido: 60.233,3 m ²
	Densidade Construtiva: 13.907,18 m ² /ha
	Classificação morfológica: VERTICAL ALTO RUGOSO T1.CH3

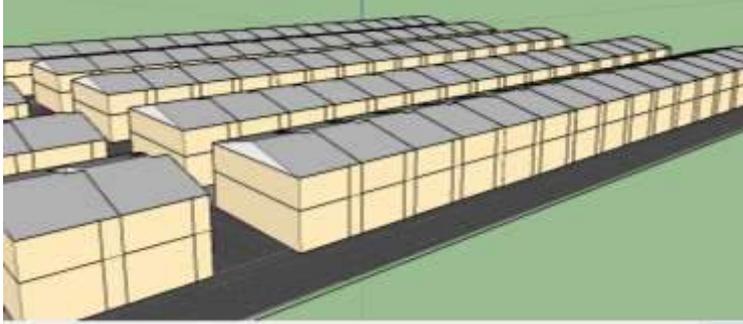
Quadro 3.9: Cenários hipotéticos elaborados a partir do tecido urbano Tipo 2 - Bairro Novo Horizonte

TIPO 2: BAIRRO NOVO HORIZONTE	
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 1: T2 CH1	
Aumentando a densidade construtiva, sem alteração da forma do tecido urbano	
<p>Como o recinto está localizado na margem de uma das principais avenidas da cidade e de acesso ao centro de comércio e serviços do município, já apresentando hoje alguns edifícios verticais baixos para uso residencial, neste cenário foi explorada a tendência a verticalização. Os lotes apresentam dimensões favoráveis ao padrão vertical de edifícios (450 m² a 1000m²) e o bairro é valorizado pelo mercado imobiliário local. Por isso, foram considerados nos lotes de maior dimensão, edificações de 9 pavimentos e nos lotes intermediários, edificações de 4 pavimentos.</p>	
	Área total construída: 105.284,24 m ²
	Área de solo construída: 31670,42m ²
	Área total do recinto: 129.454,93 m ²
	Densidade Construtiva: 8.133,17m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido: VERTICAL RUGOSO T2. CH1
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 2: T2 CH2	
Densidade construtiva constante, alterando o padrão morfológico do tecido urbano	
<p>O objetivo deste cenário foi potencializar o uso de espaços arborizados, como elemento de amenização térmica. Foi aproveitada a estratégia já existente no tecido atual (corredor verde), a partir de um desenho que contemplou a ampliação do mesmo, como corredores secundários conectados ao corredor central. Como ocorre na atualidade uma tendência à ocupação dos lotes, foi priorizada a valorização de uma maior taxa de solo natural a partir da implantação edificações verticais baixas (4 pavimentos). Para promover a porosidade do arranjo edificado, todos os edifícios apresentam pilotis.</p>	
	Área total construída: 32.131,45 m ²
	Área de solo construída: 7.804,6m ²
	Área bruta do recinto: 129.454,93m ²
	Densidade Construtiva: 2.483,00 m ² /ha
	Classificação morfológica: VERTICAL BAIXO DISPERSO ARBORIZADO T2.CH2
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 3: T2 CH3	
Aumentando a densidade construtiva das quadras e alterando a forma do tecido	
<p>A forma estudada na condição 2 foi mantida, porém, para o aumento da densidade, o recinto foi caracterizado por aumento da rugosidade e verticalidade da malha (incorporação de edificações de 20 pavimentos, 9 pavimentos, 4 pavimentos).</p>	
	Área total construída: 105.425,18m ²
	Área de solo construída: 11.949,85 6m ²
	Área total do recinto: 129.454,93 m ²
	Densidade Construtiva: 8.147,21m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido: VERTICAL ALTO DISPERSO E RUGOSO T2.CH3

Quadro 3.10: Cenários hipotéticos elaborados a partir do tecido urbano Tipo 3 - Residencial Espace

TIPO 3: RESIDENCIAL ESPACE	
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 1: T3CH1	
Aumentando a densidade construtiva, sem alteração da morfologia das quadras	
Neste cenário foi considerada a existência das seis torres previstas no projeto original do condomínio residencial. Todas com dezesseis pavimentos e pilotis.	
	Área total construída: 25.799,42 m ²
	Área de solo construída: 3541,1 m ²
	Área total do recinto: 53.034,81m ²
	Densidade Construtiva: 9.730,12m ² /há
	Classificação morfológica do tecido: VERTICAL ALTO HOMOGÊNEO T3.CH1
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 2: T3CH2	
Densidade construtiva constante, alterando o padrão morfológico	
Priorizando a redução da área de obstáculo à ventilação predominante, foram modificadas as posições das torres do condomínio residencial. Pretende-se, neste cenário, verificar o desempenho referente a velocidade e distribuição das massas de ar na quadra e no entorno imediato, reduzindo a densidade de área frontal do recinto (DAF). Para modificar o padrão de rugosidade, nesta condição 2, o arranjo construtivo foi caracterizado por torres (17 pavimentos) com pavimentos vazados e blocos de 6 pavimentos com pilotis.	
	Área total construída: 42.840m ²
	Área de solo construída: 6.120 m ²
	Área total do recinto: 53.034,81 m ²
	Densidade Construtiva: 8.083m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido: VERTICAL HETEROGÊNEO DISPERSO T3.CH2
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 3: T3CH3	
Aumentando a densidade construtiva da quadra e alterando a forma do tecido urbano	
Para manutenção da baixa taxa de ocupação do solo e do alto percentual de solo natural, neste cenário o aumento da densidade construtiva foi caracterizado pelo aumento da porosidade da estrutura edificada. Foram adotadas seis torres com 29 pavimentos (24 pavimentos úteis e 5 pavimentos vazados) e pilotis.	
	Área total construída: 73.440,93m ²
	Área de solo construída: 3060,1m ²
	Área total do recinto: 53.034,81m ²
	Densidade Construtiva: 13.847,72m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido: VERTICAL ALTO POROSO T3.CH3

Quadro 3.11: Cenários hipotéticos elaborados a partir do tecido urbano Tipo 4 – Bairro Canafístula.

TIPO 4: CANAFÍSTULA	
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 1: T4CH1	
Aumentando a densidade construtiva, sem alteração da forma do tecido urbano	
Para o aumento da densidade, foi considerado o aumento da taxa de ocupação do lote em conjunto com o aumento de coeficiente de aproveitamento. Por isso, as edificações foram consideradas neste cenário apresentando 2 pavimentos (térreo + 1 andar).	
	Área total construída: 19742,12m ²
	Área de solo construída: 9.871,06m ²
	Área total do recinto: 17.346,62 m ²
	Densidade construtiva: 11.381,36m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido: HORIZONTAL COMPACTO T4.CH1
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 2: T4CH2	
Densidade construtiva constante, alterando padrão morfológico	
Neste cenário a forma é caracterizada pela diversidade na altura das edificações. A quadra é aberta e a taxa de solo natural é ampliada. O conjunto edificado possui implantação dispersa para otimizar a distribuição das massas de ar. O tecido apresenta blocos com unidades térreas e blocos com dois pavimentos. Foi priorizada também, a porosidade da malha, o aumento na taxa de solo natural e a incorporação de massa vegetativa na cobertura das edificações.	
	Área total construída: 5142,85 m ²
	Área solo construída: 3.100,00m ²
	Área total do recinto: 17.346,62 m ²
	Densidade construtiva: 2.960 m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido HORIZONTAL DISPERSO HETEROGÊNICO T4. CH2
CENÁRIO HIPOTÉTICO CONDIÇÃO 3: T4CH3	
Aumentando a densidade construtiva da quadra e alterando a forma do tecido urbano	
Neste cenário, para o aumento da densidade, foi adotada a implantação dispersa a partir do aumento da verticalidade do recinto. As edificações são caracterizadas por quatro pavimentos. Não foi considerada a variação de alturas no tecido urbano.	
	Área total construída: 9.223,80m ²
	Área de solo construída: 2.380,95m ²
	Área total do recinto: 17.346,62 m ²
	Densidade Construtiva: 5.318,00m ² /ha
	Classificação morfológica do tecido: VERTICAL BAIXO DISPERSO HOMOGÊNICO T4.CH3

B) Simulação Computacional dos cenários hipotéticos

Realizou-se a simulação computacional dos cenários hipotéticos para análise dos ambientes térmicos microclimáticos resultantes a partir do modelo ENVI-met 4.0. Foram analisados os dados de temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos.

C) Análise de correlação entre os parâmetros urbanísticos quantificados para cenários hipotéticos e as variáveis climáticas.

Nesta etapa foi realizada a análise de correlação entre os parâmetros climáticos obtidos através das simulações de cenários hipotéticos e das simulações das condições atuais das áreas tipos estudadas e os parâmetros urbanísticos característicos de cada morfologia avaliada. A avaliação de correlação entre diferentes parâmetros (climáticos e urbanísticos) foi efetuada a partir de tratamento estatístico através de regressão linear múltipla. A análise de regressão tem por objetivo investigar a relação entre variáveis e descrevê-la com uma equação que possa ser usada para predições (WONNACOTT, 1985). A regressão múltipla é utilizada quando se deseja pesquisar o efeito simultâneo de vários fatores X e Z sobre Y, mesmo quando os dados provêm de um estudo observacional. Para que seja possível averiguar a correlação entre a variável resposta e as demais variáveis disponíveis no banco de dados, são feitas suposições através dos diagramas de dispersão. As suposições, então, são confirmadas calculando-se um coeficiente de correlação.

Para averiguar se o parâmetro estimado é significativo, o *p-valor* deve ser menor que o nível de significância estabelecido, em geral, 5%. Foram adotadas como variáveis dependentes ou variáveis resposta, as variáveis climáticas e como variáveis independentes ou covariáveis, as variáveis urbanas (quadro 3.12). Os valores referentes às variáveis dependentes especificados no quadro abaixo foram obtidos para cada área tipo estudada (incluindo os cenários hipotéticos) a partir dos dados gerados nas simulações computacionais. O total de casos (tipos de cenários) para composição da amostra corresponde a 16 (dezesseis) casos experimentais, incluindo os estudos das situações reais e os cenários hipotéticos.

Quadro 3.12: Variáveis analisadas na pesquisa preditiva exploratória

Variáveis Dependentes	Variáveis Independentes (Parâmetros urbanísticos tradicionais)	Variáveis Independentes (Parâmetros urbanísticos avançados)
Temperatura Máxima	Taxa de ocupação Coeficiente de aproveitamento	Porosidade da Malha (quadra) Porosidade do Volume edificado
Velocidade do Ar	Taxa de Solo Natural Verticalidade	Rugosidade Absoluta Prospecto médio
Umidade relativa do ar mínima	Recuos Médios	FAD- Densidade de Área Frontal Índice de densidade arbórea - IDA

Para o desenvolvimento da equação preditiva de melhor ajuste estatístico, foi realizada uma análise progressiva, iniciando-se em uma variável independente base (de maior correlação com a variável dependente), adicionando outras variáveis, progressivamente (independentes), verificando-se alterações na qualidade estatística da regressão. Esta qualidade é determinada através do coeficiente de correlação (r), do coeficiente de determinação (r^2), do erro padrão da estimativa (ep) e do p-valor, todos estes comentados no capítulo 5.

Os resultados obtidos a partir da análise da correlação entre as variáveis urbanas (padrões de ocupação urbana) e as variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa e velocidade dos ventos) foram analisados para testar as hipóteses do presente estudo e para a elaboração de um modelo preditivo para estimativa da temperatura máxima do ar e umidade relativa mínima de recintos urbanos. Desta forma, espera-se contribuir para o emprego dos condicionantes bioclimáticos no processo de intervenção e planejamento urbano, considerando a possibilidades de aplicação da sistematização das informações coletadas em outras realidades similares à investigada.

4 ARAPIRACA E SUA CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

A cidade de Arapiraca está localizada na região central do estado de Alagoas, na mesorregião¹⁷ do agreste, que corresponde, segundo IBGE (2010), à região de transição entre a costa úmida e o interior semiárido do Nordeste brasileiro, constituindo-se no município de maior importância econômica e demográfica do interior do Estado de Alagoas. Pode-se dizer que o clima da região é tropical quente subúmido seco (Ministério da Integração Nacional, 2005)¹⁸. A cidade de Arapiraca encontra-se a 280m acima do nível do mar e a maior porção de seu território está situada em um planalto.

Estudos para a caracterização do perfil climático de Arapiraca estão sendo desenvolvidos desde 2009, devido à ausência de pesquisas locais, como também, devido à indisponibilidade de registros históricos das variáveis climáticas locais. Em abril de 2008 foi implantada a estação Arapiraca A353 do Instituto Nacional de Meteorologia, a qual tem subsidiado pesquisas para compreensão do clima local.

O município apresenta 214.006 habitantes e densidade demográfica de 600,84hab/km². A população urbana corresponde a 181.481 habitantes e a população rural corresponde a 32.525 (IBGE, 2010). Segundo o Plano Diretor de Arapiraca (2005), a área territorial do município é de 410Km², sendo 34,63 Km² (aproximadamente 8%) pertencente à zona urbana e 375,37 Km² (91%) pertencente à zona rural (figura 4.2). Desta forma, a densidade populacional urbana de Arapiraca configura-se em aproximadamente 52,4hab/ha (5244,57hab/Km²).

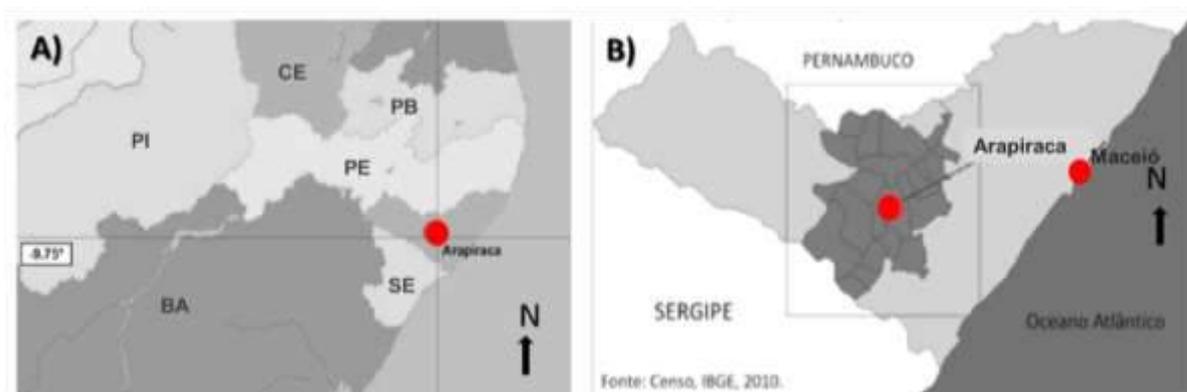
¹⁷ Segundo IBGE (2010) define-se como Microrregião Geográfica um conjunto de municípios, contíguos e contidos na mesma Unidade da Federação, definidos com base em características do quadro natural, da organização da produção e de sua integração; e, Mesorregião Geográfica, como um conjunto de Microrregiões, contíguas e contidas na mesma Unidade da Federação, definidas com base no quadro natural, no processo social e na rede de comunicações e lugares.

¹⁸ A Região do Semiárido Brasileiro (SAB) é uma delimitação geográfica do território nacional, oficialmente definida em 2005 pelo Ministério da Integração Nacional (MIN), através da Portaria nº 89, para fins administrativos. Neste documento, o Semiárido corresponde a um conjunto de municípios que atende a, pelo menos, um dos critérios: 1. Precipitação pluviométrica média anual inferior a 800 milímetros; 2. Índice de aridez de até 0,5 calculado pelo balanço hídrico que relaciona as precipitações e a evapotranspiração potencial, no período entre 1961 e 1990; 3. Risco de seca ou prolongamento da estação seca, de um ano para outro, maior que 60%, tomando-se por base o período entre 1970 e 1990. Assim, o termo “clima semiárido” é utilizado para delimitar áreas onde a quantidade de chuva que cai é menor que a quantidade de água que se evapora. Os parâmetros para a determinação do índice de aridez foram calculados pelo Profº José Ivaldo Barbosa Brito da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, que em sua tese de doutorado (BRITO, 2000) determinou equações empíricas para estimá-los para o Nordeste. Para a classe climática de Arapiraca, subúmido seco, o índice de aridez pode estar entre o intervalo de 0,51 a 0,65 (de acordo com os critérios estabelecidos por Thornthwaite (1941), ajustado por Penman (1953) e proposto pela UNESCO (1979)).

Quanto à localização, Arapiraca está inserida nas coordenadas geográficas 9°75'25" de latitude Sul e 36°60'11" de longitude Oeste, distante 132 km da capital Maceió (figura 4.1). A Zona Urbana atualmente está subdividida territorialmente em 38 bairros (de acordo com a Lei 2.470/2006 que definiu alterações no perímetro da Zona Urbana e de seus bairros).

Segundo os dados do Censo IBGE (2010), os bairros Brasília, Primavera, Canafístula, Planalto, Manoel Teles, Boa Vista e Alto do Cruzeiro abrigam aproximadamente 40% dos residentes na cidade. Com exceção dos bairros Canafístula e Planalto, os demais localizam-se no entorno do bairro do Centro, indicando que grande parte da população residente ainda está concentrada nas imediações da área central, onde são predominantes os usos comerciais e de serviços. Os bairros Canafístula e Planalto estão localizados em áreas periféricas, próximas ao limite do perímetro urbano, onde o processo de ocupação por loteamentos e conjuntos habitacionais populares foi mais intenso nos últimos anos.

Figura 4.1: Localização do município no nordeste brasileiro (A), situação geográfica no Estado de Alagoas - região do agreste alagoano (B).



Fonte: adaptado Censo IBGE (2010)

A presença de um número maior ou menor de residentes em determinado bairro nem sempre está relacionada à sua densidade construtiva, na medida em que suas delimitações e áreas são diferenciadas. Alguns bairros, como o Planalto e Canafístula por exemplo, possuem um número elevado de habitantes, porém, distribuídos de forma rarefeita, com algumas áreas de concentração (figura 4.4) e significativas áreas livres desocupadas (vazios urbanos).

A cidade de Arapiraca-AL constitui um importante exemplo de cidade de médio porte determinada pela concentração de problemas relacionados ao seu processo de ocupação territorial. A ausência de parâmetros urbanísticos na legislação local é recorrente em outras realidades urbanas brasileiras, quando não, a legislação configura-se como verdadeira cópia de outros modelos elaborados para realidades totalmente diferenciadas. Neste sentido, ressalta-se a importância dos estudos sobre os impactos das densidades construtivas para subsidiar futuras diretrizes para revisão da legislação urbanística locais.

É possível observar, na figura 4.2, os três tipos diferentes de forma urbana: *horizontal disperso* (representado pelo condomínio fechado), *vertical alto* (residencial Espace, atualmente com três torres construídas) e *horizontal compacto* (área central da cidade e seu entorno imediato).

Figura 4.2: Localização das zonas urbana e rural do município de Arapiraca-AL e foto panorâmica da área urbana.



Fonte (mapa): SEDUMA –Prefeitura de Arapiraca (2006)

Foto: Toni Cavalcante (2015). Disponível em: <http://alagoasbytonicavalcante.blogspot.com.br> Acesso em: 01/02/2016

Figura 4.3: Padrão de ocupação *horizontal denso* e predominância de lotes geminados e alta taxa de ocupação do solo presente na área central da cidade e nos bairros circunvizinhos.



Foto: Milton Torres (2015)

Figura 4.4: Padrão de ocupação de novos loteamentos nos bairros periféricos - predomínio de edificações sem recuos laterais, pequenos recuos frontais



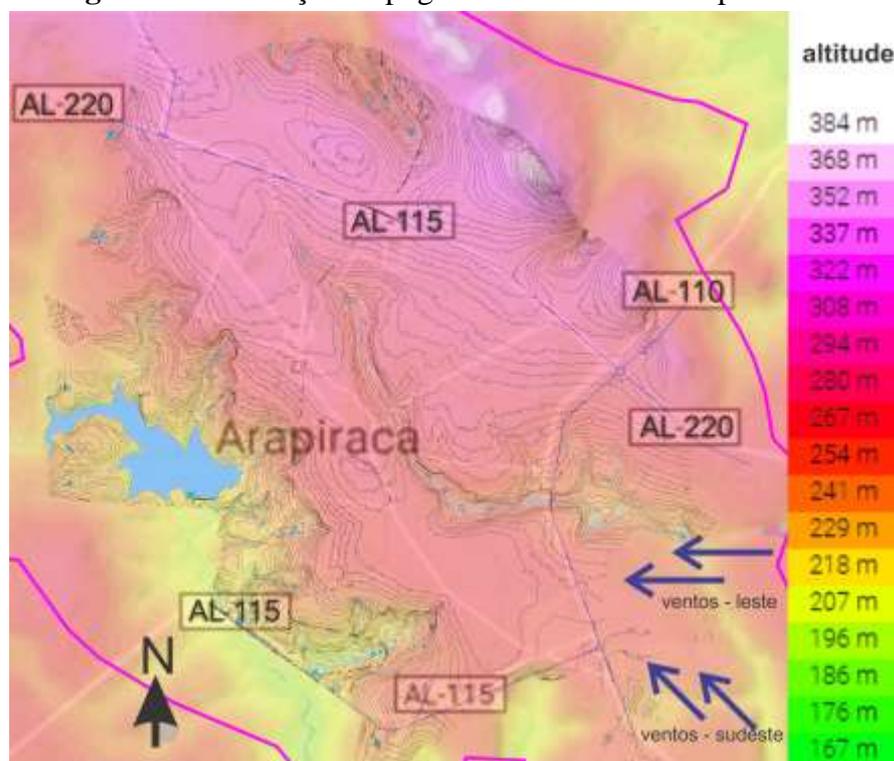
Foto: Simone Torres (2015)

O relevo de Alagoas compreende a porção sul do Planalto da Borborema, área localmente conhecida como Planalto de Garanhuns. A partir deste patamar o relevo se rebaixa em níveis escalonados em direção ao Rio São Francisco e o Oceano Atlântico (XAVIER, DORNELLAS, 2012). Segundo a classificação do relevo de Alagoas proposta por Lima (1965) apud Xavier, Dornellas (2012), Arapiraca encontra-se na zona do pediplano sertanejo com serras residuais. O pediplano sertanejo é o conjunto de terras pouco onduladas do oeste alagoano. Possui serras isoladas e em conjunto. Ao norte destaca-se, uma cadeia de serrotes: a serra do Corcunda, com altitude máxima de 400 metros em relação ao nível do mar; o morro da Massaranduba, com altitude de 376 metros; a serra da Mangabeira, com altitude máxima de 299 metros.

Segundo a Prefeitura Municipal de Arapiraca (2006), destaca-se no seu relevo local um conjunto de serrotes aflorantes em vasta área plana onde se situa a cidade. Por isso, as condições topográficas do município de Arapiraca é favorável ao desenvolvimento urbano e rural, uma vez que não apresenta grandes elevações, diminuindo, assim, os problemas relacionados a deslizamentos de encostas e erosão em sulcos.

Além disso, verifica-se que o sítio urbano apresenta configuração topográfica favorável à recepção dos ventos predominantes locais (direção leste e sudeste), pois possui cota superior aos sítios circunvinhos (ver mapa – figura 4.5).

Figura 4.5: Condições topográficas do sítio de Arapiraca-AL



Fonte: curvas de nível identificadas no mapa digital da prefeitura municipal de Arapiraca (2010), sobrepostas à imagem gerada pelo topographic-map.com

A cidade de Arapiraca é constituída por uma massa edificada de baixa rugosidade, pois, na maioria dos bairros, as edificações possuem altura uniforme, variando apenas entre

edificações térreas e de dois pavimentos. O processo de verticalização é bastante recente, sendo, ainda, pouco presente na estrutura urbana. Porém, novos empreendimentos imobiliários têm sido implantados destacando-se a tipologia de condomínio vertical com conjuntos de edifícios com mais de 10 pavimentos.

Para a realização da presente pesquisa, foi verificada a necessidade de uma investigação quanto ao entendimento das particularidades climáticas locais, para subsidiar o delineamento de um perfil climático que subsidie o processo de identificação de estratégias bioclimáticas e a quantificação quanto aos valores médios referentes ao comportamento das principais variáveis climáticas (importantes para fundamentar a pesquisa preditiva). Os resultados apresentados a seguir correspondem aos procedimentos, especificamente à etapa 1 deste estudo, descritos no capítulo anterior e fundamentam um diagnóstico sobre o grau de adequação climática da estrutura urbana do objeto empírico selecionado: a cidade de Arapiraca-AL.

4.1 Tratamento dos dados da estação meteorológica INMET e identificação do TRY

Para a caracterização do perfil climático de Arapiraca-AL, foi realizado um levantamento e tabulação dos dados climáticos da cidade de Arapiraca-AL no período de maio de 2008 a dezembro de 2015. Estas informações foram obtidas por meio da estação meteorológica automática do Instituto Nacional Meteorologia - INMET (implantada em maio de 2008, Latitude: - 9.80417°, Longitude: -36.6189°, Altitude: 241.00m) com o objetivo de consolidar banco de dados climático para o município de Arapiraca. Os dados correspondem aos valores horários das seguintes variáveis: temperatura do ar (máxima, mínima e instantânea), umidade do ar (máxima, mínima e instantânea) e precipitação.

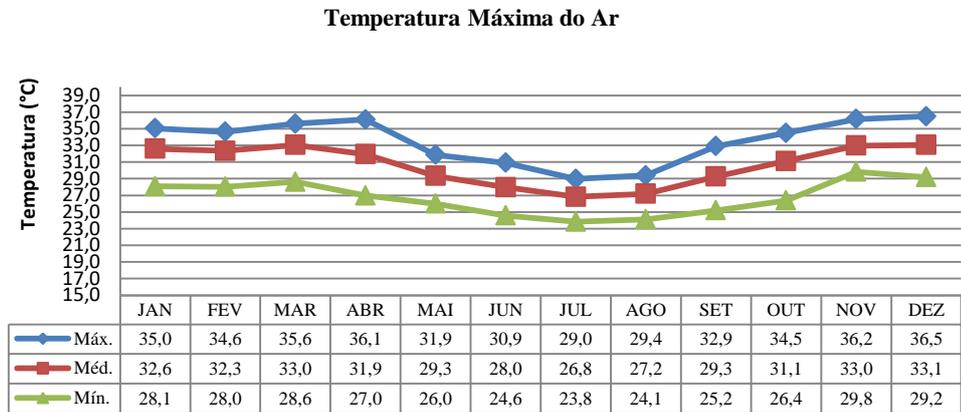
O tratamento dos dados¹⁹ consistiu na obtenção das máximas, mínimas e médias diárias e mensais dos valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar, totais pluviométricos diários e mensais. A partir dos dados mensais obtidos, foram geradas as médias de cada variável climática para cada mês do ano do período coletado.

A partir do tratamento dos dados da estação INMET foi possível observar que o comportamento do clima em Arapiraca apresenta-se definido por dois períodos distintos. Estes períodos correspondem ao período tipicamente quente e seco, nas estações primavera e verão, e o período tipicamente quente e úmido, nas estações outono e inverno. No período de outono e inverno, observou-se, através da análise dos valores médios horários das principais variáveis climáticas, que os dias são caracterizados por temperatura do ar elevada e moderada umidade relativa do ar (umidade acima de 60%). Porém, foi verificada, nos horários noturnos, uma redução dos valores de temperatura do ar, ocasionando a amenização térmica. Neste período quente e úmido, também, são observados os maiores índices de precipitação, com dias tipicamente chuvosos. Foi detectada, ainda neste período, amplitude térmica inferior a 10°C (entre 6°C e 10°C).

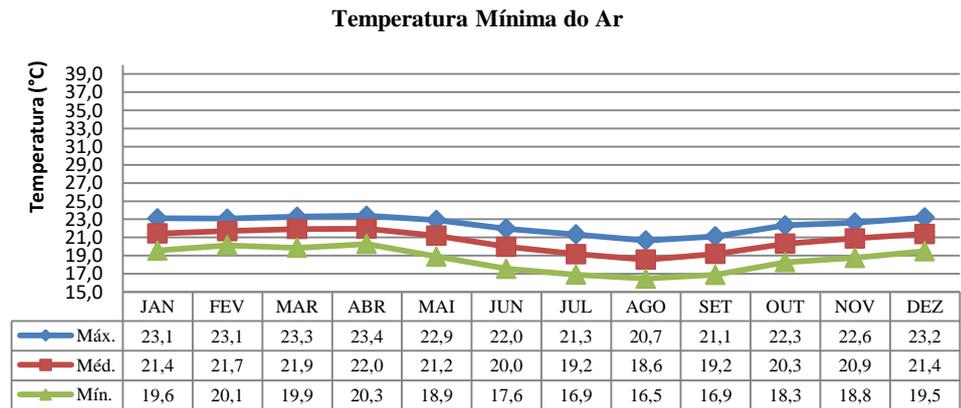
¹⁹ Este tratamento foi iniciado em 2008 e realizado em conjunto com pesquisadores do Grupo de Estudos da Atmosfera Climática – GATU da Universidade Federal de Alagoas, Campus Arapiraca (NETA, TORRES, 2009; NUNES, BARBOSA, 2015; SILVA, BARBOSA, 2015).

No período, quente e seco (primavera e verão), os dias apresentam temperatura do ar elevada e baixa umidade relativa do ar (umidade inferior a 50%). A amplitude térmica é elevada, correspondendo a valores acima de 10°C, sendo o índice de pluviosidade baixo, com poucos dias de chuva. Neste período foi detectado um fenômeno relacionado à elevação dos índices de umidade relativa do ar nos horários noturnos. Observando as figuras 4.6, 4.7 e 4.8, estes fenômenos podem ser identificados e quantificados. Os valores médios das temperaturas máximas estão relacionados com o comportamento diurno desta variável e os valores médios das mínimas estão relacionados com o comportamento no período noturno da mesma. Para a análise da umidade relativa do ar, o comportamento é indiretamente proporcional: os valores médios das máximas correspondem ao período noturno e os valores médios das mínimas correspondem aos registros no período diurno.

Figura 4.6: Comportamento da temperatura do ar ao longo do ano: a) valores médios de temperatura máxima; b) valores médios de temperatura mínima e c) média dos valores de temperatura média.

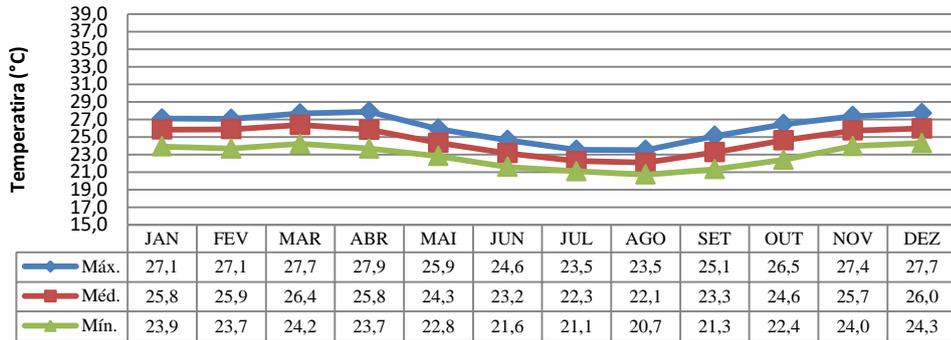


a.



b.

Temperatura Média do Ar

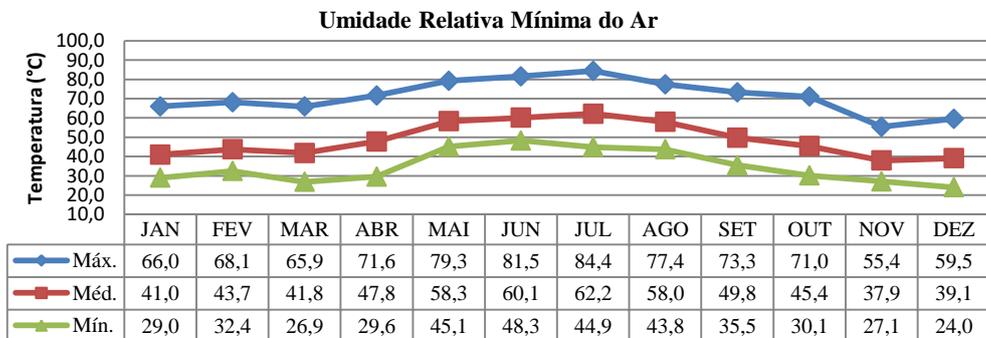


c.

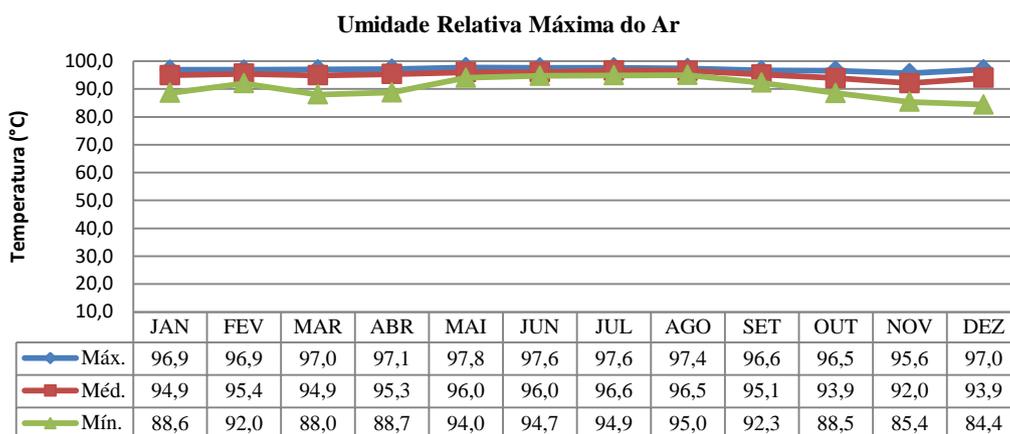
Avaliando os dados obtidos, foi possível constatar que a temperatura do ar apresenta grande variação diurna. As maiores amplitudes térmicas foram registradas nos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro. Foram identificados valores médios mínimos extremos de 16,5°C durante no mês de agosto (inverno) e temperaturas que alcançam valores médios máximos de 36,5°C no mês de dezembro (verão).

A umidade relativa do ar também apresenta uma taxa de variação alta, podendo assumir valores que vão de 30% a 90% em um único dia. Os valores médios referentes às máximas e mínimas mensais atingiram oscilações entre 38,7% (média mínima) e 92,1% (média máxima) no mês de novembro, correspondendo a uma variação média mensal de 53,4%, enquanto no mês de Julho, período mais úmido, a variação média corresponde a 34,5% (62% mínima mensal e 96,8% máxima mensal). Esta situação ocasiona, em algumas épocas do ano, dias muito quentes e noites muito frias, mostrando, assim, a necessidade da utilização de estratégias que possam amenizar as diferenças bruscas em relação ao comportamento das variáveis climáticas e proporcionar conforto aos usuários das edificações nos distintos períodos climáticos.

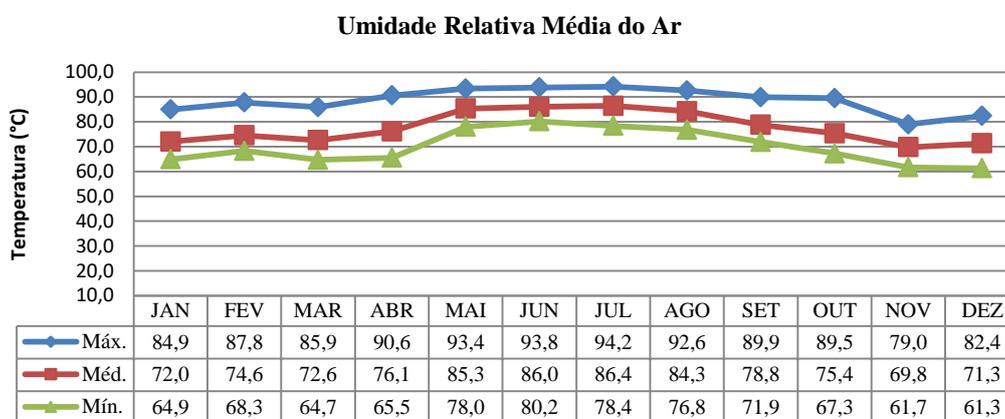
Figura 4.7: Comportamento da umidade relativa do ar ao longo do ano: a) valores médios de umidade relativa máxima; b) valores médios de umidade relativa mínima e c) média dos valores de umidade relativa.



a.



b.

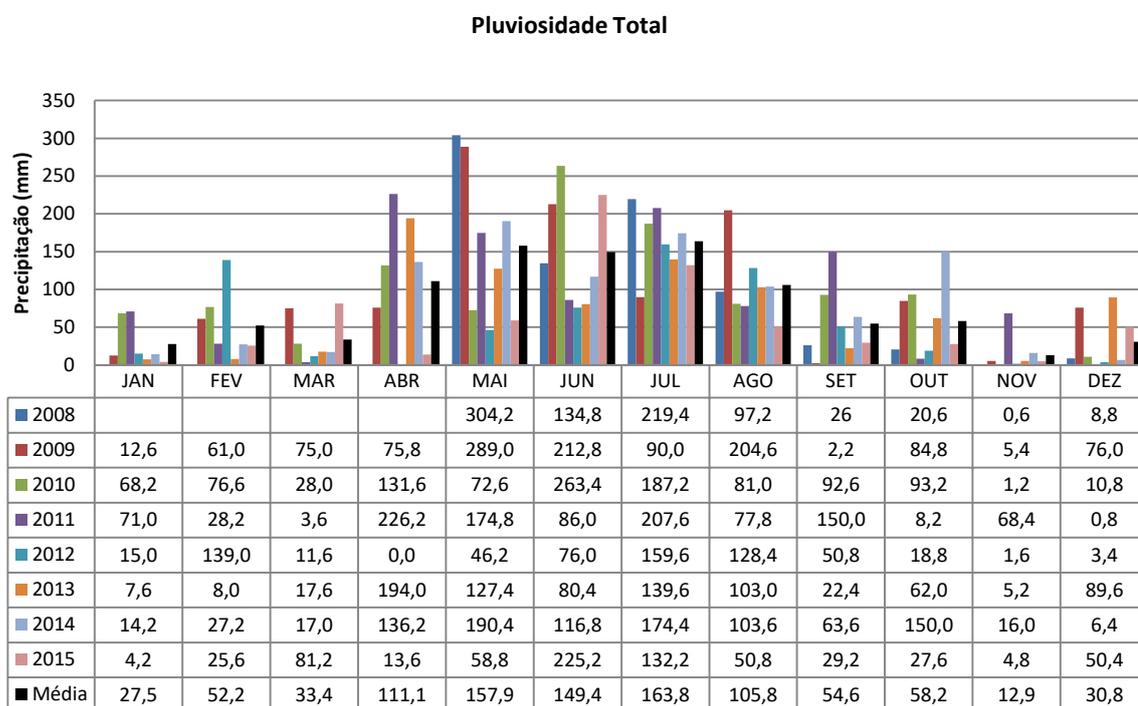


c.

Em relação à avaliação dos índices de pluviosidade, os dados demonstram que Arapiraca apresenta um padrão de pluviosidade irregular, pois os totais pluviométricos anuais variaram através dos anos investigados (figura 4.8). Observou-se que a distribuição das chuvas no município é marcada por um regime de chuvas concentradas, principalmente, nos meses de maio, junho e julho, apresentando valores que chegaram a ultrapassar 300 mm (maio de 2008). Os meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro apresentaram os menores índices de precipitação.

Os dados médios mensais apontam que o mês de julho corresponde ao mais chuvoso em Arapiraca (média de 163,8mm), seguido do mês de maio (157,9mm) e junho (149,4mm), confirmando a dinâmica regional. Novembro, dezembro, janeiro e março foram os meses que não apresentaram registros de chuvas acima de 50 mm, sendo que novembro foi o mês que apresentou os menores índices de pluviosidade (média de 12,9mm).

Foram também analisados dados sobre os ventos predominantes locais, coletados a partir da estação do INMET. A direção predominante do vento foi caracterizada por meio de uma análise de frequência das observações diárias, para cada um dos doze meses dos anos investigados. Constatou-se que os ventos locais apresentam direções predominantes Leste (E), com 41,36% de ocorrências, e Sudeste (SE), secundária, com 29,04%. A direção Leste (E), é mais frequente no período de outubro a abril, e Sudeste (SE), no período de maio a setembro (tabela 4.1).

Figura 4.8: Comportamento pluviométrico avaliado ao longo dos anos de 2008 a 2015**Tabela 4.1:** Frequência média mensal da direção do vento (%) a 3 m do solo no município de Arapiraca-AL no período de 2008 a 2015.

	N	NE	L	SE	S	SO	O	NO	C	*
Jan	0,46	8,90	58,76	22,44	1,20	0,40	0,17	0,06	6,11	1,50
Fev	0,38	7,31	53,88	26,53	1,47	0,38	0,40	0,08	7,92	1,65
Mar	1,20	10,75	53,72	21,82	1,23	0,66	0,59	0,51	8,02	1,50
Abr	1,21	7,33	36,68	26,20	8,19	3,63	1,00	0,47	13,75	1,54
Mai	0,76	3,22	19,79	31,56	17,20	6,74	2,69	0,62	15,93	1,49
Jun	0,88	2,56	16,03	35,02	19,03	5,14	2,31	0,72	16,76	1,55
Jul	0,49	1,36	15,68	40,57	16,89	4,2	1,99	0,78	16,55	1,49
Ago	0,47	4,28	20,53	39,83	14,00	2,65	1,23	0,34	15,18	1,49
Set	0,25	5,38	29,12	43,03	7,76	1,02	0,29	0,12	10,69	1,54
Out	0,62	7,79	46,05	31,95	4,37	0,89	0,51	1,14	5,18	1,50
Nov	0,45	13,94	58,09	20,88	1,64	0,63	0,37	0,41	2,05	1,54
Dez	1,08	15,73	62,62	15,39	0,57	0,17	0,19	0,34	2,41	1,5
MÉDIA	0,55	7,32	41,36	29,04	6,06	0,95	0,55	0,44	9,35	1,5

N- Norte, NE- Nordeste, L- Leste, SE- Sudeste, S- Sul, SO- Sudoeste, O- Oeste, NO- Noroeste, C- Calmaria, *dados incompletos/inexistentes

Fonte: NUNES, BARBOSA (2015)

O levantamento dos dados da estação meteorológica do INMET em Arapiraca possibilitou a identificação provisória do Ano Climático de Referência –TRY para a localidade. O TRY é obtido a partir de um procedimento que utiliza somente as temperaturas médias mensais de uma série de anos proposta, no caso do presente estudo, de 2009 a 2015 (anos de coleta -12 meses de registro de dados). O procedimento é determinado pela

eliminação de anos de dados que contenham temperaturas médias mensais extremas (altas ou baixas).

Para a formatação do arquivo climático, foram adotadas as médias mensais estudadas a partir dos dados horários da estação automática do INMET- Arapiraca-AL, conforme apresentado anteriormente. Assim, a partir do TRY é possível realizar uma avaliação bioclimática com dados horários, através da inserção dos mesmos na Carta Bioclimática de Givoni (1992), através do software Analysis BIO (LABEEE, 2010). Na tabela 4.1 são apresentados os valores médios mensais de temperatura do ar em Arapiraca para o período analisado.

Tabela 4.2: Valores médios mensais de temperatura do ar em Arapiraca-AL correspondentes ao período de 2009 a 2015*.

ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média Anual
2009	26,41	25,77	26,38	26,12	24,19	23,27	22,71	22,49	25,50	27,36	27,84	26,56	25,38
2010	25,66	26,03	26,71	25,79	24,75	23,43	22,33	21,76	22,43	24,61	25,25	26,06	24,57
2011	25,55	25,79	27,01	25,17	23,73	22,91	21,82	22,11	22,17	24,31	24,49	25,66	24,23
2012	25,41	25,22	25,28	24,98	24,47	23,17	22,02	21,64	22,61	23,66	25,84	26,02	24,19
2013	26,61	26,58	26,85	26,00	24,36	23,46	22,47	22,22	23,33	24,64	25,52	25,87	24,83
2014	25,30	25,73	26,16	25,89	24,03	23,15	22,34	22,10	23,02	23,62	25,07	25,43	24,32
2015	25,97	26,11	26,26	26,88	25,44	23,43	22,82	22,51	23,88	24,74	26,27	26,00	25,03
MÉDIA	25,85	25,89	26,38	25,83	24,33	23,15	22,26	22,09	23,25	24,63	25,74	25,98	24,52

*cores destacadas correspondentes aos meses especificados no quadro 4.1

Os seguintes procedimentos foram adotados para a obtenção do TRY – Arapiraca-AL:

- Foi identificado o mês de temperatura média mais alta entre todos os anos e meses disponíveis, como também, o mês de temperatura média mais baixa. Novembro de 2009 foi observado como mês mais quente (média de 27,84°C) e agosto de 2012 como mês mais frio (média de 21,64 °C). Estes meses foram eliminados da análise, restando 10 meses. O mesmo procedimento foi realizado restando apenas 8 meses e assim por diante. Estas informações foram anotadas nas duas primeiras colunas da tabela 4.2 e, então, estes dois meses foram então eliminados da análise restando apenas 10 meses. O procedimento foi repetido restando apenas 8 meses e, assim sucessivamente, até que todos os meses do ano fossem selecionados, como pode ser visto na tabela 4.2.
- Repetiu-se, então, os meses da primeira coluna com as condições alteradas, ou seja, onde era frio passou a ser quente e vice-versa. Por exemplo, novembro que era o mês mais quente, passou a ser o mais frio na terceira coluna, e então se verificou em qual ano novembro apresentava a temperatura mais baixa e este ano foi anotado na quarta coluna.
- A partir da sequência dos 12 pares de meses, se um ano específico foi apontado como mais quente ou mais frio, tornou-se eliminado. Por exemplo, o ano de 2009 teve novembro como mês mais quente, assim, este ano foi desconsiderado como o TRY. A seguir, no ano de 2012, o mês de agosto foi identificado como mês mais frio, assim

2012 foi eliminado. O mesmo procedimento foi realizado até que restasse apenas um ano. O último ano que apareceu foi então determinado como o *Test Reference Year – TRY* e correspondeu ao ano de 2010.

Quadro 4.1: Seleção dos meses para determinar o Ano Climático de Referência- TRY (provisório) para Arapiraca-AL.

Condição	Ano	Condição	Ano
Nov mais quente	2009	Nov mais frio	2011
Ago mais frio	2012	Ago mais quente	2015
Out mais quente	2009	Out mais frio	2014
Jul mais frio	2011	Jul mais quente	2015
Mar mais quente	2011	Mar mais frio	2012
Set mais frio	2011	Set mais quente	2009
Abril mais quente	2015	Abril mais frio	2011
Jun mais frio	2011	Jun mais quente	2013
Jan mais quente	2013	Jan mais frio	2014
Mai mais frio	2011	Mai mais quente	2015
Fev mais quente	2013	Fev mais frio	2012
Dez mais frio	2014	Dez mais quente	2009

Fonte: elaborado pela autora

Para explicitar as diferenciações quanto ao comportamento das variáveis climáticas no período noturno e diurno, são apresentados, a seguir, alguns gráficos sobre o comportamento nos meses da estação quente e seca (dezembro e janeiro) e quente e úmida (maio e junho), utilizando-se dos dados horários da estação automática do INMET para o ano climático de referência TRY – Ano de 2010 (figura 4.9 a 4.15).

Figura 4.9: Comportamento da temperatura do ar e umidade relativa nos dias do mês de janeiro do ano de 2010.

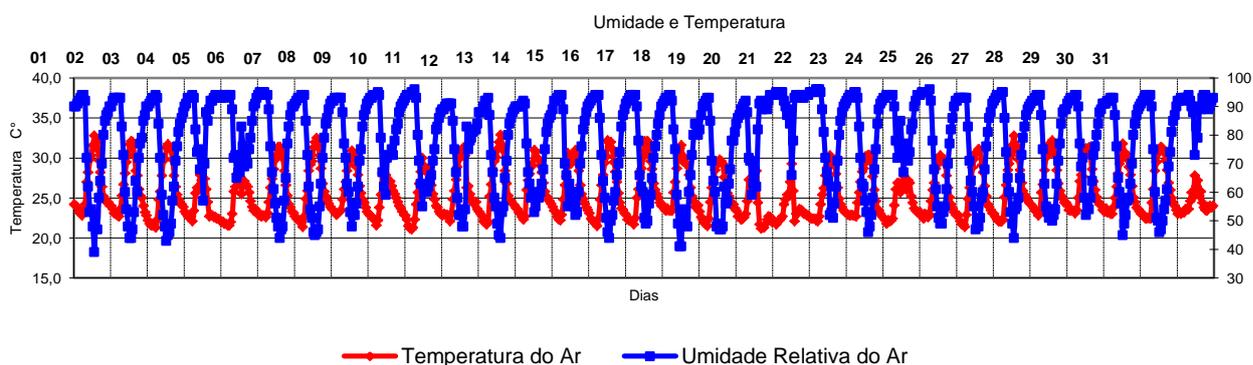


Figura 4.10: Índices de precipitação nos dias do mês de janeiro do ano de 2010.

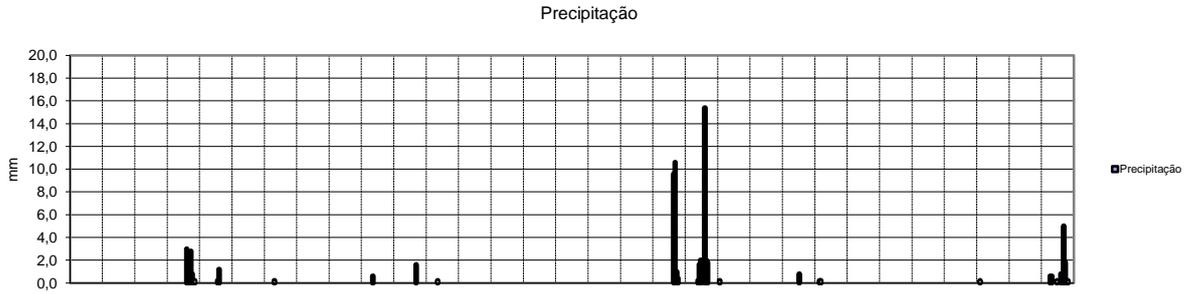


Figura 4.11: Comportamento da temperatura do ar e umidade relativa nos dias do mês de dezembro, do ano de 2010.

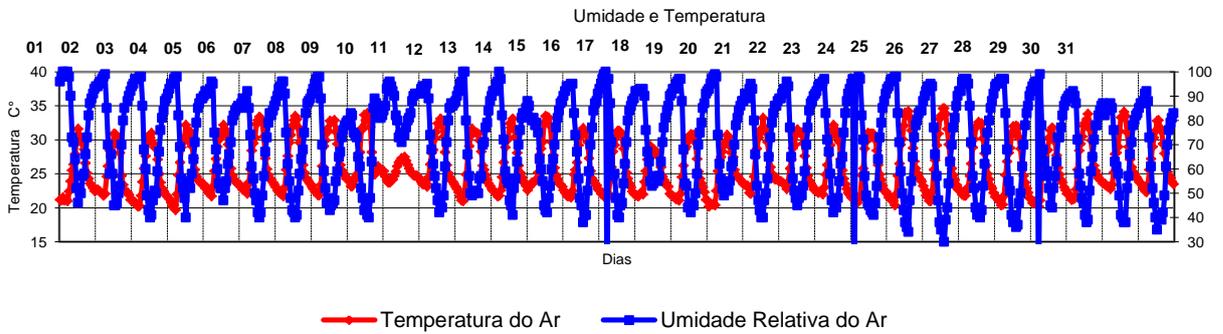


Figura 4.12: Índices de precipitação nos dias do mês de dezembro do ano de 2010.



Figura 4.13: Comportamento da temperatura do ar e umidade relativa nos dias do mês de maio, do ano de 2010.

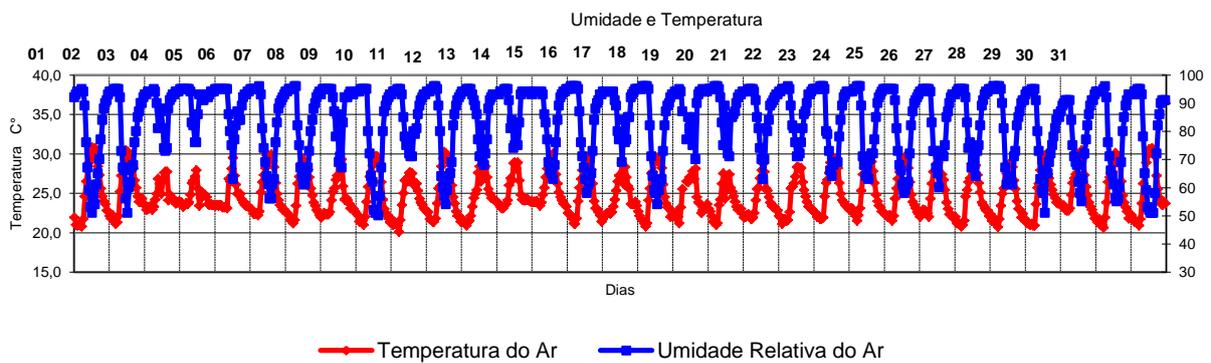


Figura 4.14: Índices de precipitação nos dias do mês de maio, do ano de 2010.

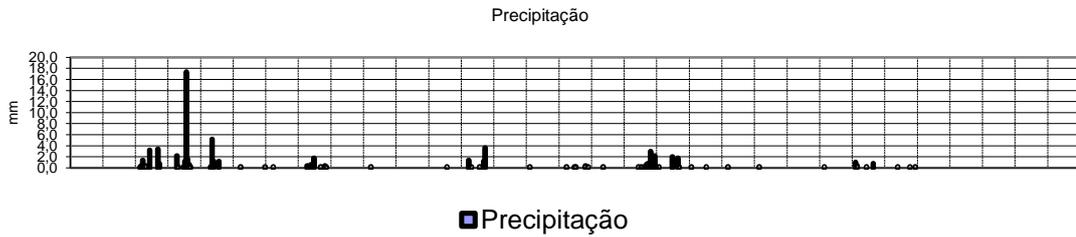


Figura 4.14: Comportamento da temperatura do ar e umidade relativa nos dias do mês de junho, do ano de 2010.

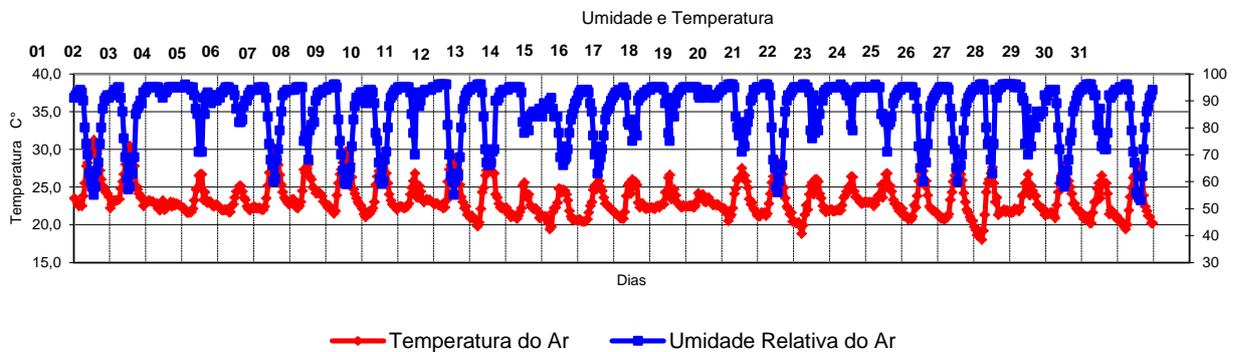
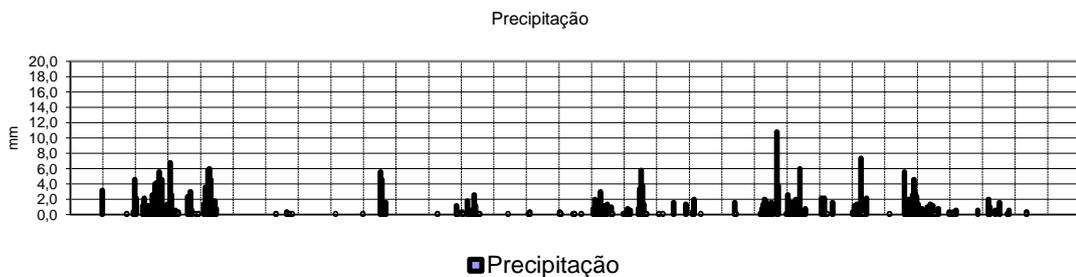


Figura 4.15: Índices de precipitação nos dias do mês de junho, do ano de 2010.



Observando os dados horários destacam-se as variações significativas nos valores de temperatura do ar e umidade relativa no período quente e seco, com amplitude térmica no mês de janeiro e dezembro de 10°C a 15°C e de variações diurnas de umidade relativa entre 50% e 70% (comprando-se valores máximos e mínimos diários). Nestes meses, o índice de pluviosidade também é reduzido, principalmente, no mês de dezembro. Já no período quente e úmido (ver gráficos de maio e junho), as amplitudes térmicas diárias não ultrapassam os 10°C e a variação de umidade relativa do ar é de, aproximadamente, 20% a 40%. Na maioria dos dias do mês de maio e junho foi registrada a ocorrência de precipitação.

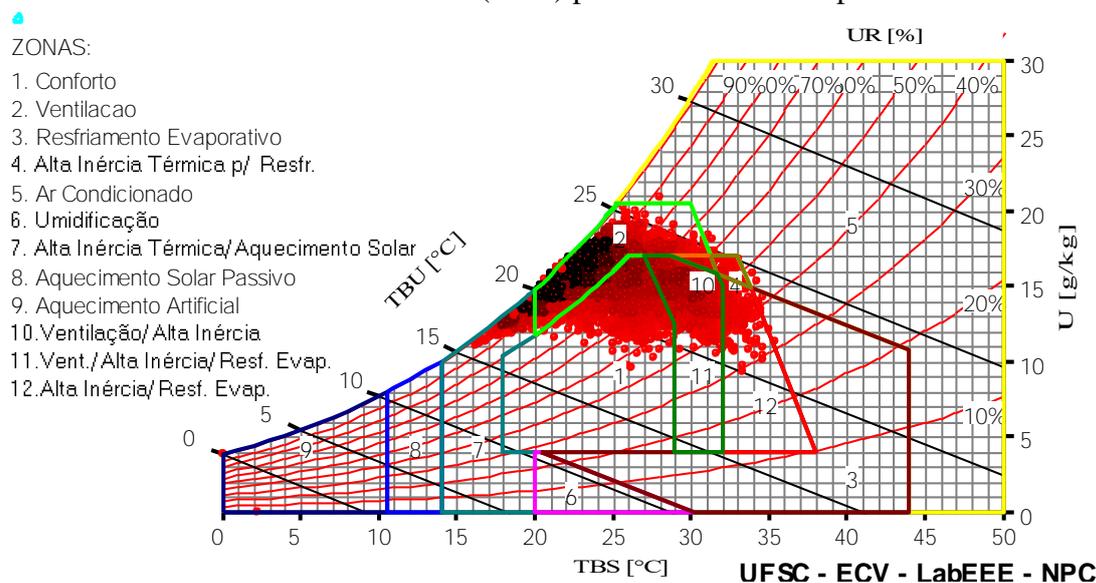
4.2 Identificação de estratégias bioclimáticas para adequação de arranjos edificados em Arapiraca-AL

A partir do entendimento do perfil climático local foi iniciada a realização de procedimentos para a identificação de estratégias bioclimáticas de adaptação da edificação ao clima local. Para isso, optou-se pela análise através de três métodos: a) a Carta Bioclimática proposta por Givoni (1992), pois, de acordo com Goulart *et al* (1994), foi indicada como apropriada para investigações no Brasil; b) o Método de recomendações de projeto publicado por Mahoney (KOENIGSBERGER *et al.*, 1977) e c) o Método de Mahoney Remodelado (HARRIS, 1999; HARRIS; CHENG; LABAKI, 2000, SENA, CHENG, 2005).

A Carta de Givoni (1992) foi combinada ao método de Watson e Labs (1983), que usa os dados climáticos das 8760 horas de um ano típico TRY. Através do *software* Analysis BIO (desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações -LabEEE da Universidade Federal de Santa Catarina), é possível inserir na carta psicrométrica os dados de temperatura do ar e umidade relativa de um determinado monitoramento (ANALYSIS BIO, 2010). Para a presente pesquisa, foram plotadas na carta bioclimática todos os dados horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar correspondentes ao ano climático selecionado, o TRY 2010, identificado a partir do levantamento dos dados climáticos da estação do INMET Arapiraca. Esta carta associa informações sobre a zona de conforto térmico, o comportamento climático do local e as estratégias de projeto indicadas para cada período do ano. As estratégias indicadas pela carta podem ser naturais (sistemas passivos) ou artificiais (sistemas ativos). O programa permite plotar os dados de temperatura e umidade sobre a carta com a finalidade de visualizar a distribuição dos dados climáticos ao longo do ano (utilizando-se o ano TRY), além de calcular a porcentagem de horas do ano em que cada estratégia bioclimática é mais apropriada. Embora as estratégias apontadas pela Carta estejam relacionadas com recomendações exclusivas para o edifício, devem ser interpretadas para que o meio urbano favoreça o aproveitamento das mesmas para otimizar, então, a incorporação na escala do edifício.

Assim, todos os dados horários de temperatura e umidade relativa do ar do ano de 2010 foram convertidos na extensão .TRY adotando-se o software Analysis BIO (LABEEE, 2010), para aplicação na Carta Bioclimática de Givoni (1992). Este procedimento permitiu a identificação do percentual das horas de conforto (considerando-se as temperaturas na faixa de conforto ($18^{\circ}\text{C} \leq T \leq 29^{\circ}\text{C}$)) e desconforto do ano climático estudado, como também, apontou estratégias bioclimáticas para a redução das horas de desconforto (figura 4.16, tabela 4.3 e 4.4).

Figura 4.16: Carta Bioclimática gerada pelo programa Analysis BIO (LABEEE, 2010) com dados do TRY (2010) para a cidade de Arapiraca.



Fonte: Analysis Bio (LABEEE, 2010)

Tabela 4.3: Percentual referente a aplicação das estratégias bioclimáticas apontadas a partir do TRY 2010 –Arapiraca-AL

GERAL	Estratégias para resolver as horas de desconforto por calor	Estratégias para resolver as horas de desconforto por frio
Conforto: 17.8%	Ventilação: 73.2%	Alta Inércia Térmica/Aquecimento Solar: 6.18%
Desconforto: 82.2%	Alta Inércia p/ Resfr.: 17.4%	Aquecimento Solar Passivo: 0%
Por Frio:6.19%	Resfr. Evap.: 16.1%	Aquecimento Artificial: 0.0114%
Por Calor:76%	Ar Condicionado:0.103%	

Tabela 4.4: Estratégias bioclimáticas indicadas pelo programa Analysis BIO para a cidade de Arapiraca-AL.

ESTAÇÕES	ESTRATÉGIAS PARA SOLUCIONAR DESCONFORTO TÉRMICO POR CALOR				POR FRIO
	ventilação	alta inércia para resfriamento	resfr. evaporativo	ar condicionado	alta inercia térmica / aquec. solar
PRIMAVERA	71,50%	24,50%	24,40%	0,05%	3,61%
VERÃO	81,10%	29,40%	28,60%	0,32%	0,0%
OUTONO	91,10%	14,80%	13,90%	0,36%	0,27%
INVERNO	49,10%	0,23%	0,23%	0,00%	20,7%

O percentual de horas de desconforto a partir dos dados climáticos horários do TRY (2010) foi representado por um valor significativamente alto (82,2%), indicando a necessidade de tratamento da envoltória edificada para amenização térmica de espaços arquitetônicos para fins de obtenção de condição de conforto térmico. Pode-se observar que as estratégias mais indicadas para adequação climática de estruturas edificadas em Arapiraca são *ventilação* (para resolver 73,2% das horas de desconforto por calor), *resfriamento evaporativo* (para resolver 16,1% das horas de desconforto por calor) e *alta inércia térmica para*

resfriamento (para resolver 17,4% das horas de desconforto por calor). Todas estas estratégias são indicadas para praticamente todo o ano com um percentual relativamente alto.

Para o aproveitamento da *ventilação natural* no nível do edifício é necessário que a estrutura urbana minimize as perdas de energia cinética das massas de ar devido aos obstáculos próprios do meio urbanizado (edificações e mobiliário urbano). Ou seja, os espaços livres devem ser amplos para uma boa distribuição do movimento do ar, principalmente em relação aos ventos predominantes locais.

O uso da *alta inércia térmica para resfriamento*, em uma edificação, pode diminuir a oscilação da temperatura do ar no interior de edificações, em relação à exterior, evitando os picos térmicos na área interna do edifício. O calor armazenado na estrutura térmica da edificação durante o dia será reemitido ao ambiente somente à noite, quando as temperaturas externas diminuam. A estrutura térmica resfriada durante à noite mantém-se fria durante a maior parte do dia, reduzindo as temperaturas interiores nestes períodos. Para o alcance da inércia térmica nas construções, pode-se utilizar a massa térmica da terra ou o emprego de materiais isolantes nas construções.

O *resfriamento evaporativo* refere-se ao incremento da umidade relativa do ar através da evaporação da água ou através da evapotranspiração de superfícies vegetadas, para fins de redução de temperatura do ar. Para o alcance do resfriamento evaporativo no meio urbano é necessária a incorporação de vegetação urbana, fontes d'água ou outros recursos que propiciem a evaporação da água no meio edificado.

A adequação climática de assentamentos urbanos corresponde a um dos principais imperativos para o alcance da qualidade ambiental urbana, influenciando os aspectos relacionados ao conforto ambiental e à eficiência energética do ambiente construído (SANTAMOURIS, 2006). Assim, a interpretação de dados climáticos torna-se primordial no processo de definição de soluções quanto ao projeto arquitetônico e urbano.

Nesta perspectiva, destaca-se a importância do Método de Mahoney, publicado pela ONU em 1971, elaborado com a finalidade de subsidiar a caracterização climática de diversas localidades para identificação de recomendações de conjuntos edificados climaticamente adequados. As recomendações incluem aspectos gerais como o traçado do entorno, espaçamento entre edificações e configuração de aberturas e coberturas (UNITED NATIONS, 1971). Este método foi adotado para subsidiar o processo de elaboração da norma técnica brasileira de desempenho térmico em habitações (NBR15220/2005)²⁰, em conjunto com o método proposto por Givoni (1992).

Por isso, para complementar a identificação das estratégias bioclimáticas para a cidade de Arapiraca-AL, serão comentados a seguir os resultados a partir da aplicação do Método Tradicional de Mahoney, para recomendações de projeto e o método remodelado, a partir da lógica fuzzy.

²⁰ Atualmente a respectiva norma encontra-se em processo de revisão.

As Planilhas de Mahoney foram preenchidas com os dados de Arapiraca (médias mensais do período de 2008 a 2015) quanto à temperatura média máxima, temperatura média mínima, amplitude média, umidade relativa média máxima, umidade relativa média mínima, umidade relativa média, grupo higrométrico, precipitação pluviométrica média, limites de conforto diurno mínimos e máximos, estresse térmico diurno, limites de conforto noturno mínimos e máximos e estresse térmico noturno, além da maior e da menor temperaturas médias, a temperatura média anual a amplitude térmica média anual e a precipitação pluviométrica anual, conforme roteiro do método, a fim de se obter as recomendações construtivas.

A partir da aplicação do método de Mahoney Tradicional (quadro 4.5), a análise climática reforçou o entendimento do perfil climático local, apontando para uma caracterização de clima composto definido por duas estações de comportamento térmico diferenciado.

Os meses de novembro a fevereiro correspondem ao período de ocorrência de menores índices de umidade relativa, coincidindo com altas amplitudes térmicas diárias (valores superiores a 10°C) e baixa pluviosidade. Este período pode ser denominado como uma estação quente e seca (período correspondente ao final da primavera e aos meses de verão – classificação Grupo de Umidade 3, umidade média entre 50% a 70%, segundo Mahoney).

Nos demais meses do ano a umidade relativa do ar apresentou valores elevados (superiores a 70% - Grupo de Umidade 4), caracterizando período que pode ser denominado quente e úmido (março a outubro), com variações da amplitude térmica diária entre 7°C a 10°C.

A avaliação do rigor térmico a partir do diagnóstico das condições e dos limites de conforto aponta para situações de desconforto térmico durante o período diurno (sensação térmica de calor), exceto no meses de julho e agosto; e situações de conforto térmico no período noturno em todos os meses do ano.

Este resultado indicou que a amplitude térmica diária é um fator relevante na definição de estratégias arquitetônicas bioclimáticas, pois a situação de conforto noturno decorrente do comportamento térmico ameno das variáveis climáticas locais pode ser prolongada durante o dia com a utilização de componentes arquitetônicos e urbanos baseados nos princípios de adequação bioclimática, como a inércia térmica, também apontada através da Carta Bioclimática de Givoni (1992).

Para compreensão da classificação do rigor térmico diurno e noturno, do grupo de umidade e do indicador climático, é necessário observar as informações das tabelas 4.5, 4.6 e quadro 4.2.

Tabela 4.5: Síntese da aplicação dos quadros do Método de Mahoney Tradicional para avaliação climática de Arapiraca-AL.

VARIÁVEIS CLIMÁTICAS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura Média Máx. (Tx)	32,6	32,3	33	31,9	29	28	26,8	27	29,1	31,1	32,8	33,1
Limites de conforto diurno	min	23	23	23	22	22	22	22	22	23	23	23
	max	29	29	29	27	27	27	27	27	29	29	29
Rigor térmico diurno	Q	Q	Q	Q	Q	Q	C	C	Q	Q	Q	Q
Temperatura Média Mín (Tn)	21,4	21,7	21,9	22	21,1	19,9	19,1	18,6	19,1	20,3	20,9	21,4
Limites de conforto noturno	min	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
	max	23	23	23	22	22	22	22	22	23	23	23
Rigor térmico noturno	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
Amplitude Média Mensal = Tmax – Tmin	11,1	10,6	11,1	10	7,9	8,1	7,7	8,4	10	10,8	11,9	11,7
Umidade Relativa Média (UR)	67,9	69,5	68,3	72,5	78	77,9	79,5	77,6	72,6	69,8	65,4	66,5
Grupo Higrotérmico (GH)	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3
Precipitação Pluviométrica Média	27,5	52,2	33,4	111,1	172,1	138,6	168,3	113,7	58,2	62,5	14,1	28
INDICADOR	A1	A1	A1	H1	H1	H1	H2	H2	H1	A1	A1	A1

Tabela 4.6: Limites definidos para avaliação do rigor térmico diurno e noturno²¹.

MÉDIA DE UMIDADE (%)	GRUPO DE UMIDADE	TMA SUPERIOR a 20°C		TMA DE 15°C a 20°C		TMA INFERIOR a 15°C	
		DIA	NOITE	DIA	NOITE	DIA	NOITE
0-30	1	26-34	17-25	23-32	14-23	21-30	12-21
30-50	2	25-31	17-24	22-30	14-22	20-27	12-20
50-70	3	23-29	17-23	21-28	14-21	19-26	12-19
70-100	4	22-27	17-21	20-25	14-20	18-24	12-18

Tabela 4.7 : Grupos Umidade adaptados por Alucci (1993)

Grupo de Umidade	Umidade Relativa (%)
Seco	< 70%
Úmido	>70%

Quadro 4.2: Caracterização dos indicadores climáticos segundo o Método de Mahoney Tradicional. Fonte: adaptados de KOENIGSBERGER et al (1977)

Indicadores de Umidade (H)	
H1	Movimento do ar é indispensável; Ocorre quando a temperatura é elevada durante o dia (rigor térmico diurno = Q) e umidade é alta (G-4), ou; Quando a temperatura elevada (rigor térmico diurno = Q) se combina com umidade moderada (G-3 e G-2), e pequena amplitude média mensal (inferior a 10°C).
H2	Movimento do ar é recomendável; Ocorre quando a temperatura está nos limites de bem estar (rigor térmico diurno = C) combinada com uma umidade elevada (G-4)
H3	Proteção contra a chuva Mesmo para taxas mais baixas de precipitação esse cuidado pode ser necessário, mas ele será indispensável quando a pluviosidade ultrapassa 200 mm por mês.

²¹ A Temperatura Média Anual –TMA é calculada como média aritmética entre a mais elevada temperatura média máxima mensal e a mais baixa temperatura média mínima mensal. Ou seja, a TMA = (MAX+MIN)/2. No caso estudado, a cidade de Arapiraca, corresponde a 25,85°C.

Indicadores de Aridez (A)	
A1	Necessidade de armazenamento térmico (inércia térmica) Ocorre quando coincide uma amplitude térmica (mais de 10°C) com umidade moderada ou baixa (G-1, G-2 ou G-3)
A2	Conveniência de dormir ao ar livre Ocorre quando a temperatura noturna é elevada (rigor térmico noturno (Q) e a umidade é baixa (G-1 ou G-2). Pode ser necessário quando as noites são confortáveis ao ar livre, mas no interior das habitações faz muito calor como consequência de grande armazenamento térmico (ou seja, dia Q, noite C, Grupo de umidade G-1 ou G-2) e quando a amplitude térmica é superior a 10°C.
A3	Problemas de inverno ou estação fria Ocorre quando a temperatura de dia cai por baixo dos limites de bem estar (rigor térmico de dia F).

A partir das frequências dos indicadores climáticos, as principais estratégias de adequação climática de conjuntos edificados apontadas pelo Método de Mahoney Tradicional, a partir do perfil climático de Arapiraca-AL, são as seguintes (conforme quadro de recomendações publicado por KOENIGSBERGER et al., 1977) :

- **Traçado ou implantação:** Os edifícios devem ser orientados segundo eixo longitudinal Leste-Oeste, com as fachadas principais na orientação Norte-Sul, a fim de reduzir a exposição ao Sol.
- **Espaçamento entre construções:** Os edifícios devem prever grandes espaçamentos entre si, mas com proteção contra vento quente ou frio.
- **Circulação de ar:** Edifícios com orientação simples, com aberturas que permitam circulação de ar permanente favorecendo a ventilação cruzada.
- **Dimensão das aberturas:** As aberturas devem ser intermediárias, com área equivalente entre 20% a 35% da área da fachada, nas fachadas voltadas à direção predominante do vento.
- **Posição das aberturas:** Abertura nas paredes norte e sul, à altura do corpo humano, do lado exposto ao vento.
- **Proteção das aberturas:** As aberturas devem ser protegidas da insolação direta.
- **Paredes e Pisos:** As construções devem ser maciças, com tempo de transmissão térmica superior a 8 horas.
- **Cobertura:** a cobertura da edificação deve ser leve, bem isolada e proporcionar sombreamento.

Verifica-se que o método tradicional de Mahoney é fundamentado na classificação de grupos climáticos de modo determinístico, por isso, quando aplicado a cidades de climas de transição apresenta recomendações de projeto contraditórias. A remodelagem do método através da Teoria dos Sistemas Nebulosos (*Fuzzy System Theory*) já foi objeto de estudo de algumas pesquisas iniciadas no final da década de 1990, porém, recentemente, poucos estudos têm aprofundado a adaptação do método para subsidiar o entendimento em regiões de clima

composto. A presente pesquisa, portanto, adotou a remodelagem para fins de verificação das prioridades quanto às recomendações de projeto.

Os procedimentos metodológicos foram fundamentados a partir de estudos realizados por (HARRIS, 1999; HARRIS; CHENG; LABAKI, 2000, SENA, CHENG, 2005). A Teoria dos Conjuntos Nebulosos (TCN) é a base da Teoria dos Sistemas Nebulosos (TSN) e é uma extensão da Teoria dos Conjuntos (*Crisp Set Theory*). A Lógica ou Inferência Nebulosa (*Fuzzy Logic or Fuzzy Reasoning*) é um processo de dedução lógica que leva em consideração a subjetividade e a ‘vagueza’ característica dos processos de tomada de decisão da mente humana (CHENG, 2001). Assim como método de Mahoney Tradicional, o Método de Mahoney Nebuloso é fundamentado na análise de três quadros/etapas.

A problemática relacionada ao método tradicional refere-se à ocorrência da mudança brusca na determinação das categorias de análise do clima a partir do delineamento tradicional (*crisp*) dos parâmetros climáticos. Dentre estas categorias, destacam-se o rigor térmico mensal (baseado nos limites do bem estar pelo dia e à noite, definidos através da temperatura média máxima mensal e temperatura média mínima mensal), os grupos de umidade (definidos a partir da temperatura média anual e da classificação da umidade relativa do ar mensal) e os indicadores climáticos (correspondente ao diagnóstico climático baseado no rigor térmico e na duração destes fenômenos na região analisada). Como os indicadores apontam ações que devem ser tomadas pelo projetista para solucionar eventuais problemas diagnosticados, a remodelagem do método a partir da Teoria dos Sistemas Nebulosos possibilita considerar uma transição gradual dos parâmetros, de modo a permitir uma análise mais realista dos dados climáticos.

Harris (1999) analisou o método de Mahoney e concluiu que o problema estava em duas etapas dessa metodologia: na forma como são analisados os dados climáticos, na definição dos intervalos que classificam suas características climáticas, e na subjetividade intrínseca à delimitação das faixas de temperatura de bem-estar, que classificam o rigor térmico de forma qualitativa.

No presente trabalho, são comparados os resultados de uma avaliação climática a partir dos dados avaliados através do Método de Mahoney Tradicional (Tabela 4.5) com os resultados obtidos através do Método de Mahoney Nebuloso. No método tradicional, são avaliados o rigor térmico diurno e noturno, a partir dos dados de temperatura do ar máxima mensal e temperatura do ar mínima mensal e dos grupos de umidade (Tabela 4.6- limites de conforto - rigor térmico avaliado a partir da TMA- Temperatura Média Mensal). A partir do diagnóstico mensal do rigor térmico, que deve ser classificado como Q (QUENTE), C (CONFORTÁVEL) e F(FRIO), é possível classificar cada mês a partir de um indicador de aridez (A1, A2 ou A3) ou umidade (H1, H2 ou H3), conforme o quadro 4.3.

No Método de Mahoney Tradicional, os dados climáticos são analisados através de operações da Teoria dos Conjuntos e de regras de inferência baseada na lógica binária. Porém, o conceito de ‘rigor térmico’ é caracterizado pelo carácter subjetivo (‘frio’, ‘quente’ ou ‘confortável’) e, na prática, existe uma região de transição gradual entre ‘frio’ e ‘confortável’.

Uma diferença de $0,1^{\circ}\text{C}$, por exemplo, no método tradicional, pode enquadrar uma avaliação de desconforto por calor ou por frio, quando na realidade, não corresponderá, efetivamente, a esta classificação. Neste sentido, a melhor alternativa para avaliação do rigor térmico seria modelá-lo como um conjunto nebuloso e aplicar as operações da inferência nebulosa. A partir desta problemática a Teoria dos Conjuntos Nebulosos (TCN) foi aplicada por Harris (1999), para modelar as informações e conceitos de natureza nebulosa que estão presentes no Método de Mahoney Tradicional, aplicando as operações próprias desses conjuntos e inferência para obter os resultados de caracterização climática. No presente estudo, foram analisados os procedimentos metodológicos realizados por Harris (1999); Harris; Cheng; Labaki (2000) e Sena; Cheng (2005) para aprofundamento do método, sendo realizados ajustes, descritos a seguir:

- a) **Dados de entrada:** Temperatura média mensal, umidade relativa média mensal, amplitude térmica mensal, pluviosidade média mensal;

- b) **Identificação do grau de pertinência** para classificação de cada variável climática:
 - Grau de Pertinência de Temperatura Média Alta ($\mu_{TMA\text{Alta}}$)
 - Grau de Pertinência de Temperatura Média Baixa ($\mu_{TMA\text{Baixa}}$)
 - Grau de Pertinência de Temperatura Média Média ($\mu_{TMM\text{Média}}$)
 - Grau de Pertinência Amplitude Térmica Grande ($\mu_{AMP\text{Grande}}$)
 - Grau de Pertinência Amplitude Térmica Pequena ($\mu_{AT\text{-Pequena}}$)
 - Grau de Pertinência Grupo de Umidade Seco ($\mu_{URM\text{-Seco}}$)
 - Grau de Pertinência Grupo de Umidade Úmido ($\mu_{URM\text{-Úmido}}$)
 - Grau de Pertinência Pluviosidade Alta (μ_{PL})

Conforme proposto por Harris (1999), os conjuntos nebulosos para cada variável de entrada foram definidos a partir dos valores existentes na literatura e conhecimento especialista. Como exemplo, é apresentado na figura 4.19 a construção dos conjuntos nebulosos para Temperatura Média, construídos a partir dos conjuntos tradicionais (figuras 4.17 e 4.18) tomando-se os pontos limites, como pontos de transição com grau de pertinência 0,5 e o ponto central da Temperatura Média Média com grau de pertinência 1,0. A partir dessa definição, as Temperaturas Média Alta e Baixa foram determinadas por complementação dos conjuntos.

Figura 4.17: - Modelagem Crisp para temperatura do ar

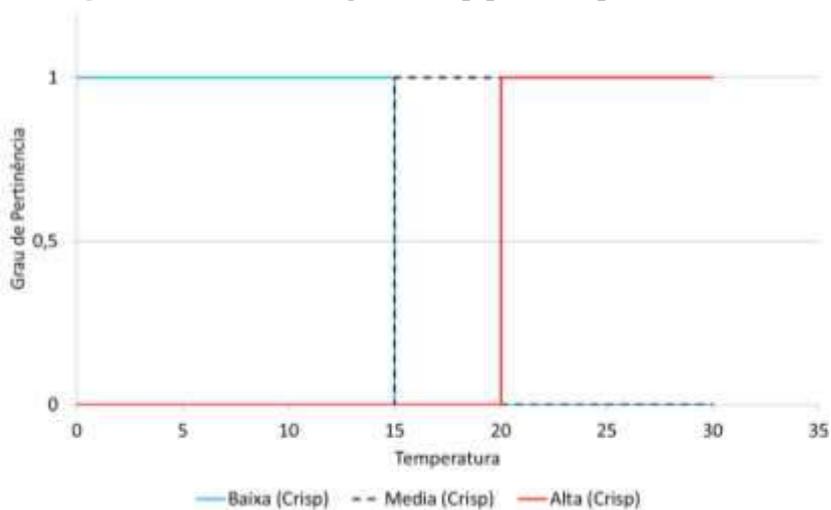


Figura 4.18: Modelagem Crisp e Nebulosa

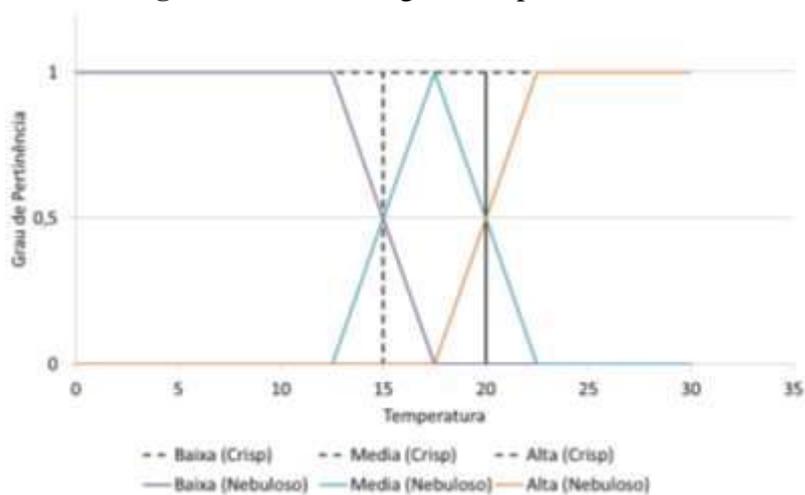
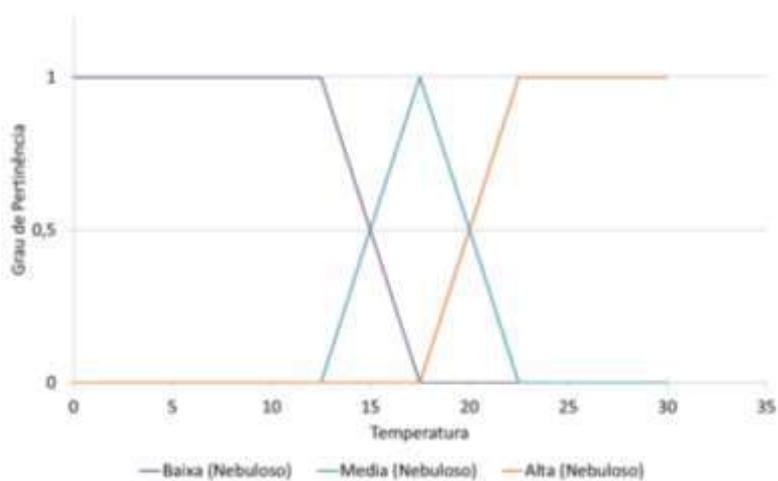


Figura 4.19- Modelagem Nebulosa da temperatura do ar



c) **Identificação dos grupos de bem-estar para identificação dos graus de pertinência do rigor térmico diurno e noturno:**

- Grau de Pertinência Rigor Térmico Dia Frio – $\mu_{RTDiaFrio}$
- Grau de Pertinência Rigor Térmico Dia Confortável – $\mu_{RTDiaConfortavel}$
- Grau de Pertinência Rigor Térmico Dia Quente – $\mu_{RTDiaQuente}$
- Grau de Pertinência Rigor Térmico Noite Frio – $\mu_{RTNoiteFrio}$
- Grau de Pertinência Rigor Térmico Noite Confortável – $\mu_{PRTNoiteConfortavel}$
- Grau de Pertinência Rigor Térmico Noite Quente - $\mu_{RTNoiteQuente}$

Nesta etapa foram modelados os conjuntos nebulosos de Bem-Estar propostos por Harris (1999) e a contribuição de cada conjunto para contribuição dos conjuntos de Rigor Térmico Dia Confortável e Rigor Térmico Noite Confortável, utilizando o método de Mamdani. A partir da definição dos conjuntos de Rigor Térmico Confortável Dia e Noite, foram definidos os conjuntos de Rigor Térmico Frio e Quente para o Dia e Noite, para cada mês. Optou-se por determinar estes conjuntos utilizando a regra de complementos da Lógica Nebulosa, ou seja, a soma das pertinências de cada temperatura para os conjuntos de rigores térmicos sempre será igual a 1,0.

d) **Identificação do grau de pertinência dos indicadores de aridez (A1, A2 e A3) e umidade (H1, H2 e H3), segundo as inferências apresentadas no quadro 2:**

Nesta etapa, as regras de inferência propostas no Método Tradicional foram tratadas como regras nebulosas e os conectivos lógicos “e” e “ou” foram convertidos em operações de mínimo (\wedge) e máximo (\vee), respectivamente (quadro 4.3). Dessa forma, foram obtidos os graus de pertinência em cada mês aos conjuntos de indicadores.

Quadro 4.3: Regras de inferência para os indicadores nebulosos

Indicador	Regras
Grau de Pertinência H1 (mês)	$\{\mu_{RTdia-Quente} [TM_{max} (mês)] \wedge \mu_{URM-Úmido} (mês)\} \vee \{\mu_{RTdia-Quente} [TM_{max} (mês)] \wedge \mu_{URM-Seco} (mês) \wedge \mu_{AT-Pequena}(mês)\}$
Grau de Pertinência H2 (mês)	$\mu_{RTdia-Confortável} [TM_{max} (mês)] \wedge \mu_{URM-Úmido} (mês)$
Grau de Pertinência H3 (mês)	$\mu_{PL-Alta} (mês)$
Grau de Pertinência A1 (mês)	$\mu_{AT-Grande} (mês) \wedge \mu_{URM-Seco} (mês)$
Grau de Pertinência A2 (mês)	$\{\mu_{RTnoite-Quente} [TM_{min} (mês)] \wedge \mu_{URM-Úmido} (mês)\} \vee \{\mu_{RTdia-Quente} [TM_{max} (mês)] \wedge \mu_{RTnoite-Confortável} [TM_{min} (mês)] \wedge \mu_{URM-Seco} (mês) \wedge \mu_{AT-Grande} (mês)\}$
Grau de Pertinência A3 (mês)	$\mu_{RTdia-Frio} [TM_{max} (mês)]$

A somatória dos graus de pertinência mensais corresponderá à frequência anual de cada um dos indicadores, sendo equivalente à quantidade de vezes que o indicador ocorreu durante o ano. Do mesmo modo que o método tradicional, no Método de Mahoney Nebuloso,

as recomendações de projeto são definidas pela frequência anual de um ou vários indicadores diferentes. Porém, para identificação das recomendações de projeto, no método nebuloso, estas são modeladas como conjuntos nebulosos. Para se obter o grau de pertinência da recomendação, é necessário entrar com os valores da frequência anual dos indicadores envolvidos. Na presente pesquisa, serão destacados os resultados referentes aos indicadores climáticos que correspondem às principais categorias para identificação das recomendações gerais de projeto e diferenciação de períodos climáticos: armazenamento térmico (indicadores de aridez A1, A2 e A3) e movimento do ar (indicadores de umidade, H1, H2 e H3).

A partir da análise dos graus de pertinência de cada parâmetro especificado no método nebuloso, os indicadores de aridez e umidade podem auxiliar os projetistas na interpretação das prioridades de recomendações em situações mal definidas, próximas às regiões de transição. No caso da cidade de Arapiraca-AL, a aplicação do Método Nebuloso permitiu confirmar e avaliar a consistência das frequências dos indicadores climáticos. Nas tabelas 4.8, 4.9 e 4.10 são apresentados os principais dados obtidos a partir do Método de Mahoney Nebuloso.

Tabela 4.8: Resultados referentes aos graus de pertinência de temperatura do ar, para a classificação alta, média e baixa, amplitude grande e pequena, grupo de umidade seco e úmido.

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Temperatura média	25,8	25,90	26,40	25,80	24,20	23,10	22,20	22,00	25,8	25,90	26,40	25,80
Grau de Pertinência Temperatura média Alta - TMA_{Alta}	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,94	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00
Grau de Pertinência Temperatura média Média - TMM_{Média}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
Grau de Pertinência Temperatura média Baixa - TMB_{Baixa}	0,89	0,49	0,47	0,51	0,61	0,60	0,62	0,58	0,89	0,49	0,47	0,51
Amplitude Média Mensal = T_{max} – T_{min}	11,10	10,60	11,10	10,00	7,90	8,10	7,70	8,40	11,10	10,60	11,10	10,00
Grau de Pertinência Amplitude Térmica Grande - PTAMP_{Grande}	0,11	0,52	0,53	0,50	0,40	0,41	0,39	0,42	0,11	0,52	0,53	0,50
Grau de Pertinência Amplitude Térmica Pequena - PTAMP_{Pequena}	0,89	0,49	0,47	0,51	0,61	0,60	0,62	0,58	0,89	0,49	0,47	0,51
Umidade Relativa Média (UR)	67,90	69,50	68,30	72,50	78,00	77,90	79,50	77,60	67,90	69,50	68,30	72,50
Grau de Pertinência Grupo de Umidade Seco -PTUM_{Seco}	0,52	0,51	0,52	0,40	0,18	0,18	0,12	0,20	0,52	0,51	0,52	0,40
Grau de Pertinência Grupo de Umidade úmido- PTUM_{Umido}	0,48	0,50	0,48	0,60	0,82	0,82	0,88	0,80	0,48	0,50	0,48	0,60
Pluviosidade Média	27,50	52,20	33,40	111,1	172,10	138,6	168,3	113,7	27,50	52,20	33,40	111,10
Grau de Pertinência Pluviosidade Alta -PTPL	0,07	0,13	0,08	0,28	0,43	0,35	0,42	0,28	0,07	0,13	0,08	0,28

Tabela 4.9: Resultados obtidos para as classificações de rigor térmico através do Método de Mahoney Nebuloso

RIGOR TÉRMICO POR TEMP. MÉDIA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Grau de Pertinência Rigor Térmico Dia Frio - PTRTDiaFrio	0,453	0,057	0,025	0,072	0,195	0,241	0,276	0,264	0,199	0,111	0,035	0,021
Grau de Pertinência Rigor Térmico Dia Confortável - PTRTDiaConfortavel	0,838	0,000	0,000	0,000	0,000	0,149	0,308	0,278	0,000	0,000	0,000	0,000
Grau de Pertinência Rigor Térmico Dia Quente - PTRTDiaQuente	0,547	0,943	0,975	0,928	0,805	0,759	0,724	0,736	0,801	0,889	0,965	0,979
Grau de Pertinência Rigor Térmico Noite Frio - PTRTNoiteFrio	0,553	0,539	0,530	0,522	0,554	0,609	0,626	0,646	0,653	0,602	0,576	0,553
Grau de Pertinência Rigor Térmico Noite Confortável - PTRTNoiteConfortavel	0,791	0,847	0,882	0,913	0,775	0,548	0,649	0,589	0,384	0,595	0,699	0,790
Grau de Pertinência Rigor Térmico Noite Quente - PTRTNoiteQuente	0,447	0,461	0,470	0,478	0,446	0,391	0,374	0,354	0,347	0,398	0,424	0,447

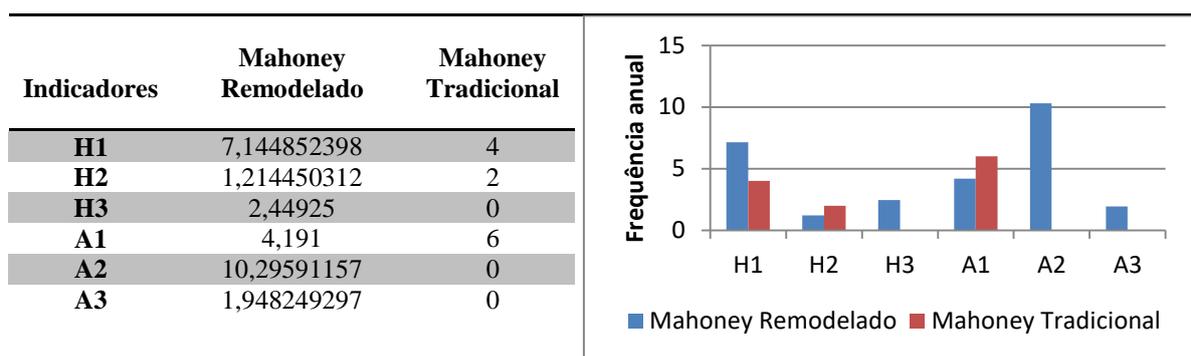
Tabela 4.10: Resultado de inferências para o grau de pertinência dos indicadores climáticos – Método Mahoney Remodelado.

INDICADORES	JAN	FEV	MAR	ABR	MAIO	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Grau de Pertinência H1 (mês)	0,52	0,50	0,48	0,60	0,81	0,76	0,72	0,74	0,60	0,50	0,45	0,47
Grau de Pertinência H2 (mês)	0,48	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,31	0,28	0,00	0,00	0,00	0,00
Grau de Pertinência H3 (mês)	0,07	0,13	0,08	0,28	0,43	0,35	0,42	0,28	0,15	0,16	0,04	0,07
Grau de Pertinência A1 (mês)	0,11	0,50	0,52	0,40	0,18	0,18	0,12	0,20	0,40	0,50	0,55	0,53
Grau de Pertinência A2 (mês)	0,79	0,94	0,97	0,93	0,81	0,76	0,72	0,74	0,80	0,89	0,96	0,98
Grau de Pertinência A3 (mês)	0,45	0,06	0,03	0,07	0,19	0,24	0,28	0,26	0,20	0,11	0,04	0,02

Quanto à avaliação do grau de pertinência de temperatura média, houve predominância de valores superiores para a categoria *Temperatura Alta*, em todos os meses avaliados (valores acima de 0,9). Os valores referentes à avaliação do grau de pertinência da amplitude térmica estão equilibrados para as categorias nebulosas *Alta* e *Baixa* (entre 0,5 e 0,4). As pertinências para categoria *Amplitude Alta* são superiores nos meses: outubro, novembro, dezembro, fevereiro e março, onde coincidem também os valores superiores para a categoria nebulosa de *Grupo de Umidade Seco* (graus de pertinência acima de 0,5). Este fato confirma a existência de um período climático quente e seco, representado pela ocorrência de valores de umidade relativa do ar abaixo de 70% coincidindo com valores de temperatura de ar elevados (graus de pertinência para *rigor térmico quente diurno* acima de 0,7).

A análise dos valores de frequência anual, na tabela 4.11, aponta que os indicadores de umidade e aridez apresentam valores expressivos, reforçando a manifestação de um clima composto. Comparando os resultados obtidos através da aplicação do Método de Mahoney Tradicional e o Método Nebuloso (tradicional remodelado), verifica-se que o indicador de aridez (A1) e o indicador de umidade (H1) são identificados através dos dois métodos, representados por frequência anual significativa, com valores correspondentes superiores a quatro meses. Estes dados confirmam a existência de dois períodos climáticos caracterizados pelo comportamento diferenciado das variáveis climáticas, revelando a necessidade de aplicação de estratégias bioclimáticas distintas para a adequação climática de conjuntos edificados para o alcance das condições de conforto nestes períodos. Porém, os procedimentos adotados no método remodelado resultou na identificação de um outro indicador, não apontado no método tradicional, o indicador de aridez (A2), com frequência expressiva equivalente a 10 meses (ver tabela 4.11 e figura 4.20).

Tabela 4.11 e Figura 4.20: Comparação da frequência anual dos indicadores de aridez e umidade identificados através do Método de Mahoney Tradicional e o Método Remodelado.



É possível observar que a avaliação da frequência anual não é suficiente para compreender o perfil climático de uma localidade. É necessário observar a distribuição de cada indicador ao longo do ano, comparando-a com a variação dos dados climáticos mês a mês, para analisar as convergências e detalhes no comportamento referentes às recomendações gerais delimitadas pelo Método Tradicional e pelo Método Nebuloso. Além disso, a avaliação comparativa por indicador apresenta um potencial para identificação dos períodos de transição de climas compostos.

Neste sentido, a aplicação do Método de Mahoney Nebuloso permitiu identificar as prioridades quanto à interpretação das recomendações de projeto para adequação climática de assentamentos construtivos. No método tradicional, as recomendações geradas através da análise dos indicadores apontam estratégias de projeto conflituosas, como pode ser visto na figura 4.20 (dados colunas vermelhas). Os indicadores H1, H2 e A1, correspondem respectivamente às seguintes necessidades e recomendações:

- **H1** (classificado em 4 meses: abril, maio, junho e setembro): aproveitamento da **ventilação natural** em espaços internos e externos, sendo classificado como

indispensável para o alcance das condições de conforto térmico nos espaços edificados. Quando este indicador é identificado entre 3 a 12 meses é recomendada a implantação de edificações em fileira única com dispositivos **permanentes** para o movimento do ar. Quando é identificado entre 0 a 9 meses no ano, recomenda-se que a cobertura do edifício seja leve e isolada com transmitância térmica menor ou igual a $0,85\text{W/m}^2\text{C}$, atraso térmico superior a 3 horas.

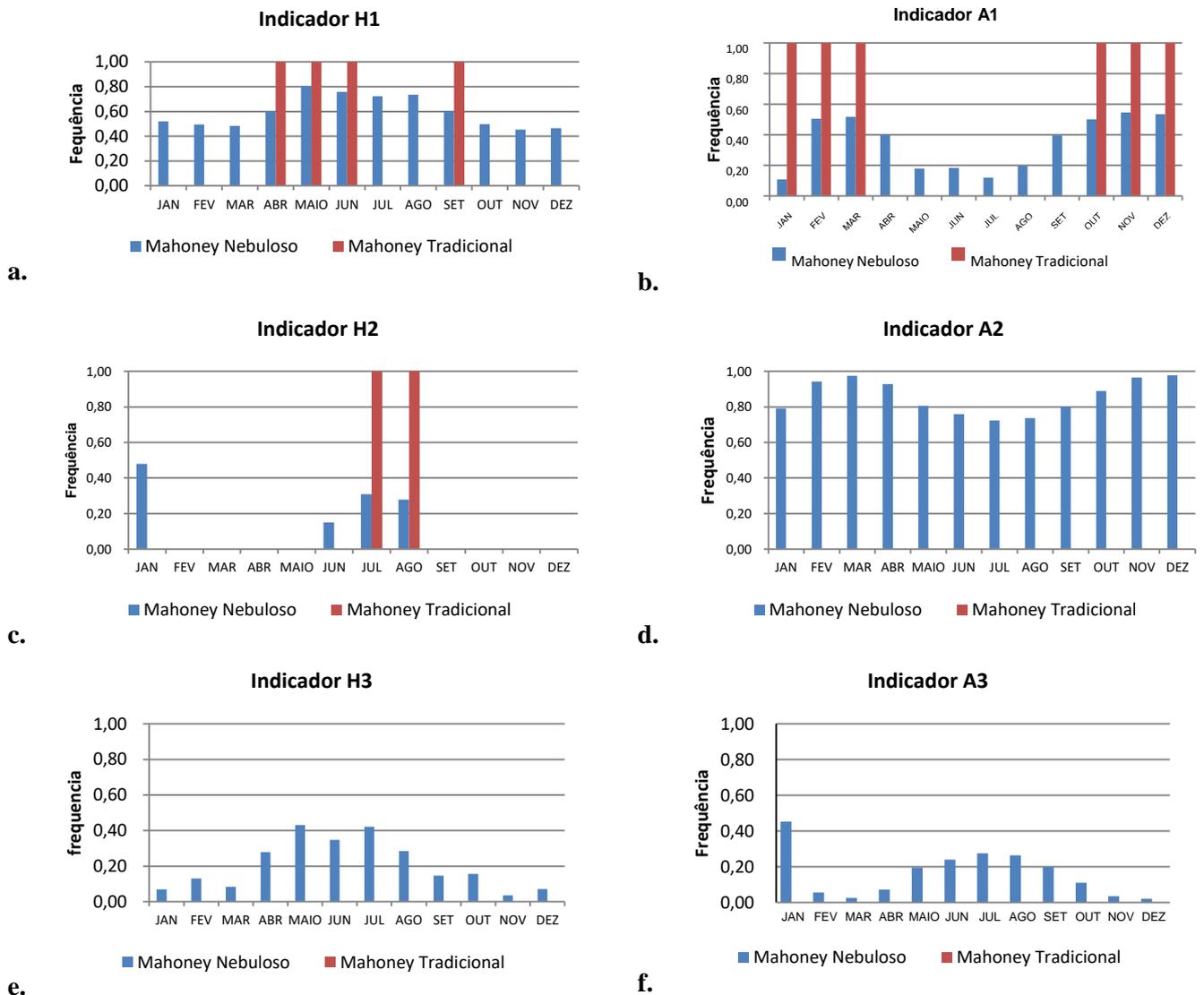
- **H2** (classificado em 2 meses: julho e agosto): Indica que o aproveitamento da **ventilação** não é indispensável, é apenas **recomendável**. Quando este indicador é classificado de 2 a 12 meses no ano, indica a necessidade de dispositivos para **controle da ventilação**, pois o vento pode apresentar temperatura elevada.
- **A1** (classificado em 6 meses: outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março): Refere-se à necessidade de **armazenamento térmico** nas edificações. Quando este indicador é apontado na classificação mensal do método tradicional, entre 6 a 10 meses, é recomendado aumentar a **inércia térmica** (isolamento térmico) das paredes sendo proposta a adoção de aberturas pequenas nos edifícios (entre 15% a 25% das fachadas). As paredes devem ser pesadas com transmitância térmica menor ou igual a $0,85\text{W/m}^2\text{C}$, atraso térmico superior a 8 horas e fator solar menor ou igual a 3%. A cobertura do edifício deve ser pesada com transmitância térmica menor ou igual a $0,85\text{W/m}^2\text{C}$, atraso térmico superior a 8 horas e fator solar menor ou igual a 3%.

Desta forma, algumas das estratégias apontadas pelo método de mahoney tradicional são conflituosas, como por exemplo: a ventilação natural é realmente indispensável ou é uma estratégia secundária? Se o armazenamento térmico é necessário e as aberturas devem ser intermediárias (15% a 25% das fachadas), as soluções referentes ao isolamento térmico devem ser priorizadas em detrimento da ventilação? A pioridade quanto à aplicação destas estratégias que são apontadas fica a critério do projetista. Não há dúvidas quanto à necessidade de aplicação de estratégias híbridas para a adequação climática de assentamentos construtivos. Porém, os procedimentos adotados no Método de Mahoney Remodelado (Nebuloso) possibilitam uma avaliação mais precisa quanto à quantificação destas prioridades. Além disso, no caso de climas compostos como o de Arapiraca-AL, é possível identificar os períodos de transição entre as diferentes solicitações climáticas ao longo do ano.

A avaliação comparativa por indicador (figura 4.21 e tabela 4.10) demonstrou que o indicador H1 apresenta os maiores valores mensais de pertinência em relação ao indicador A1. Desta forma, pode-se concluir que o aproveitamento da ventilação natural constitui uma estratégia importante para o alcance das condições de conforto térmico, podendo ser adotada para atender solicitações térmicas em todos os meses do ano, pois os valores de pertinência para este indicador foram superiores a 0,45 em todos os meses avaliados, alcançando valores elevados nos meses de maio a agosto (acima de 0,75). O indicador A1 apresentou menores valores de pertinência para os meses investigados, sendo o valor máximo detectado no mês de novembro e igual a 0,55. Este resultado está relacionado com os valores calculados para pertinência de *amplitude grande* e *grupo de umidade seco*, ambos inferiores a 0,5 na maioria

dos meses investigados. Desta forma, o isolamento térmico pode ser adotado como estratégia bioclimática nas edificações, porém a ventilação natural se configura como recomendação predominante. Observando a figura 4.21a e 4.21b, é possível identificar claramente o período de transição entre o período denominado quente e úmido (pertinência elevada para o indicador H1 – acima de 0,6: meses de abril a setembro) e o período denominado como quente e seco (período caracterizado por valores similares de pertinência entre os indicadores H1 e A1: entre 0,4 e 0,55, correspondendo aos meses de outubro, novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março).

Figura 4.21: a) Graus de possibilidade do indicador H1; b) Graus de possibilidade do indicador A1; c) Graus de possibilidade do indicador H2; d) Graus de possibilidade do indicador A2; e) Graus de possibilidade do indicador H3; f) Graus de possibilidade do indicador A3.



O resultado mais expressivo detectado a partir da aplicação do Método de Mahoney Nebuloso foi a identificação do indicador A2 em frequências elevadas ao longo de todos os meses, pois esse indicador não foi registrado através do método tradicional. Isso ocorreu devido

aos valores elevados dos graus de pertinência para o *rigor térmico noturno confortável* e *rigor térmico diurno quente* (acima de 0,65, ver tabela 4.9).

É importante esclarecer que, embora o indicador A2 indique uma estratégia pouco abordada nos espaços arquitetônicos urbanos, denominada por Mahoney como “*conveniência para dormir ao ar livre*”, esta recomendação está relacionada com uma solução típica adotada em alguns assentamentos na África, onde as construções apresentam alta inércia térmica. Assim, esta medida poderia ser necessária quando dormitórios estão aquecidos no período noturno devido à envoltória com alta capacidade de armazenamento térmico (envoltória pesada), que contribui satisfatoriamente no período diurno (retardo térmico quando o meio externo apresenta elevada temperatura), mas desfavorece no período noturno devido aquecimento tardio dos ambientes.

Assim, a recomendação referente ao indicador A2 representa o potencial de uso da ventilação noturna para o alcance do conforto térmico já que são detectados níveis de rigor térmico confortáveis para este período. Ou seja, o indicador A2 pode ser interpretado, neste caso, como recomendação para o aproveitamento da ventilação natural no período noturno quando a temperatura do ar enquadra-se em situação de conforto, com potencial de resfriamento do interior do edifício, principalmente se a estratégia de inércia térmica for adotada. Para isso, é necessário a incorporação de dispositivos para o controle de entrada das massas de ar nas edificações.

A partir desta interpretação, verifica-se que no caso estudado a identificação das pertinências para os indicadores climáticos possibilitou a compreensão das recomendações prioritárias, sendo destacadas portanto as seguintes:

- A. Aproveitamento indispensável da ventilação natural em todos os meses do ano, com destaque para a ventilação no período noturno devido à ocorrência de *rigor térmico diurno* classificado como *quente*, na maioria dos meses avaliados. Assim, nos períodos de maior amplitude térmica, correspondente ao período denominado quente e seco, a ventilação no período diurno deve ser controlada para evitar o aquecimento interno das edificações. Ou seja, a ventilação natural deve ser indispensável, mas a ventilação noturna deve ser priorizada. Neste sentido, é importante que o espaço urbano seja planejado para favorecer o aproveitamento da ventilação em escala maior para favorecer a incorporação na escala do edifício.
- B. Inércia térmica da construção para reduzir a entrada de energia térmica no interior do edifício no período diurno já que o padrão de temperatura do ar é elevado, sendo necessário a incorporação de dispositivos para controle e aproveitamento da ventilação no período úmido (aproveitamento diurno e noturno), no período quente e seco (aproveitamento noturno). Quanto aos padrões de implantação do edifício, podem ser incrementadas estratégias microclimáticas para diminuir a temperatura do ar no período diurno através da adoção da vegetação urbana para o alcance do resfriamento evaporativo (importante no período quente e seco).

Segundo Givoni (1992), em regiões onde a temperatura diurna é maior que 32°C e a umidade relativa é inferior a 60%, o resfriamento convectivo noturno é mais adequado. A ventilação diurna é indesejável nesta situação, pois implica calor adicional a ser armazenado na edificação. Neste caso, através da análise dos dois métodos de identificação das estratégias bioclimáticas do presente estudo, quanto ao uso da ventilação natural e da inércia térmica, deve ser destacada a utilização da ventilação noturna para a determinação de condições de conforto térmico interno de edifícios.

Os resultados apontados no presente estudo revelam a necessidade de aplicação de estratégias híbridas para adequação de conjuntos edificados urbanos na localidade de clima composto investigada, a cidade de Arapiraca-AL. O método permitiu a identificação das prioridades relacionadas aos indicadores climáticos que configuram em recomendações gerais de projeto, como também, possibilitaram a interpretação dos períodos de transição climática determinados pela mudança nos padrões de comportamento das variáveis climáticas: temperatura e umidade relativa do ar.

Cabe destacar que o Método Remodelado apesar de operar com conceitos de fácil compreensão, requer um volume de cálculos que dificulta a sua execução manual, necessitando do uso de ferramentas computacionais para a sua execução. Neste sentido, para este trabalho, o método proposto por Harris (1999) foi implementado em uma linguagem de programação, *Java*, possibilitando a execução das análises para diferentes conjuntos de dados.

As recomendações de projeto identificadas a partir da análise dos indicadores climáticos representam um importante subsídio para o processo de revisão dos parâmetros urbanísticos e índices relacionados ao processo de uso e ocupação do solo urbano delimitados pelos instrumentos de planejamento e gestão urbana.

Ou seja, é necessário, *a priori*, estimular padrões de ocupação urbana que favoreçam o aproveitamento das estratégias bioclimáticas no meio urbano para que as mesmas sejam efetivamente incrementadas no nível do edifício. Neste sentido, os benefícios sobre esta abordagem favorecerão assim, tanto a qualidade do ambiente urbano, como também, a otimização do desempenho térmico dos espaços internos arquitetônicos.

Por conseguinte, a estrutura edificada urbana de Arapiraca-AL pode ser avaliada quanto ao seu grau de adequação climática. Para isso, foram verificados os atributos bioclimatizantes relacionados aos aspectos da forma e do sítio urbano capazes de influenciar nas condições térmicas dos ambientes externos e, conseqüentemente, nos ambientes internos das estruturas edificadas. Estes atributos são apresentados a seguir, a partir de uma análise geral da configuração urbana da cidade de Arapiraca-AL.

- **Rugosidade:**

O conceito de rugosidade está relacionado com a diversidade de altura e a fragmentação das áreas construídas. Desta forma, pode-se afirmar que a cidade de Arapiraca é constituída por uma massa edificada de baixa rugosidade, pois na maioria dos bairros as edificações possuem altura uniforme, variando apenas entre edificações

téreas e de dois pavimentos. O processo de verticalização ainda é recente, porém tem se verificado de maneira acelerada. A baixa rugosidade não se configura em fator positivo para a determinação da qualidade climática local, pois a uniformidade da estrutura edificada não permite uma satisfatória distribuição das massas de ar entre os elementos construídos, podendo ocasionar barreiras para o aproveitamento da ventilação natural nos espaços internos e externos. Deve-se verificar também, quais os impactos da verticalização para evitar a ocorrência de grandes modificações no padrão de distribuição das massas de ar devido ao aumento da densidade construtiva. Segundo a classificação de Oke (2006) para zonas climáticas urbanas, a rugosidade média do sítio de Arapiraca-AL corresponde a classe 7 (*Skimming*) representada por área densamente construída sem muita variação da altura do edifício.

- **Porosidade:**

A porosidade é determinada pela taxa de penetração de ventos na composição urbana e está relacionada diretamente com a capacidade das edificações e arranjos construtivos para permitir a dissipação dos ventos através de sua própria estrutura. Em Arapiraca, verifica-se uma configuração urbana de baixa porosidade, definida por edificações em sua maioria geminadas e com poucas aberturas para a recepção e dissipação dos ventos predominantes (figura 4.22). Apenas nos bairros mais periféricos pode-se encontrar uma malha urbana mais dispersa representada por edificações constituídas por aberturas em todas as fachadas. Não são identificados dispositivos arquitetônicos que facilitam o aproveitamento das massas de ar, como por exemplo, as paredes de cobogós e os pilotis.

Figuras 4.22: Edificações do centro de Arapiraca: edificações geminadas e com poucas aberturas para o aproveitamento dos ventos (padrão de ocupação predominante nos bairros circunvizinhos).



Foto: Simone Torres (2016)

- **Densidade da construção:**

Segundo Oke (1981) e Givoni (1998), uma área onde a proporção da distância entre edificações e altura das mesmas (H/W) for próxima de 1, denomina-se de área de densidade média. De maneira geral, a estrutura urbana dos principais bairros de

Arapiraca-AL apresenta densidade média de aproximadamente 0,7 (proporção H/W – análise de logradouros). Este fato indica que a maior parte da radiação solar refletida incide nos edifícios, sendo absorvida a radiação próxima ao nível do solo. A densidade construtiva das quadras (relação entre a área total construída e área total da quadra) apresenta valores entre 0,4 a 0,9 na área central urbana (bairro centro). Porém, nos bairros circunvizinhos ainda há predominância de vazios urbanos e quadras com baixa densidade construtiva (até 0,25. Ver figura 3.4, capítulo 3).

- **Ocupação do solo:**

Este atributo é representado pelas diferentes atividades desenvolvidas no espaço urbano capazes de gerar padrões diversificados de ocupação do solo, como concentração de massa construída, concentração de poluentes, ou tipos com alto potencial de aquecimento e modificações climáticas locais.

A cidade de Arapiraca apresenta área urbanizada caracterizada pela presença de um bairro central, que concentra atividades mistas, como comércio e serviços, como também, a atividade residencial, além de alguns núcleos centralizados, bairros circunvizinhos caracterizados também pela diversidade de usos, como o bairro Brasília. A concentração de pessoas, veículos e construções no Centro da cidade vem desencadeando na concentração de atividades geradoras de calor antropogênico. Desta forma, é perceptível a alta impermeabilização do solo através do uso do asfalto (material de alta condutividade térmica) e pouca presença de vegetação urbana (encontrada apenas em poucos espaços livres públicos). Estas características são determinantes na formação de ambientes termicamente desfavoráveis devido à alta capacidade de absorção e transmissão de calor dos elementos constituídos na estrutura urbana. Estas condições podem ser ainda agravadas devido à baixa porosidade e baixa rugosidade da massa edificada, dificultando a entrada de ventos para dissipação do calor gerado.

Nos demais bairros, a ocupação é predominantemente residencial com poucos unidades mistas, comerciais e residenciais ou de serviço e residenciais. Os logradouros são, em sua maioria, impermeabilizados com paralelepípedo, sendo apenas nos bairros mais periféricos constituídos ainda por ruas de solo permeável (solo argiloso). A vegetação urbana também é pouco presente nestas áreas. Ou seja, a estratégia relacionada com a doação do resfriamento evaporativo no meio urbano ainda não tem sido aplicada no processo de planejamento urbano local.

- **Permeabilidade do solo:**

Avaliando as taxas de impermeabilização da estrutura urbana, nota-se que há uma forte tendência de aumento da impermeabilização do solo urbano, tanto através do calçamento dos logradouros (asfalto ou paralelepípedo), como também, pela alta ocupação dos lotes urbanos, através da construção de edificações geminadas ou pouco recuadas em relação aos limites do lote. A ausência de áreas verdes constituída por

solo permeável (com grama ou solo argiloso) também contribui para esse aumento da taxa de impermeabilização. São poucos os recintos constituídos por vegetação e, quando se identifica a presença destes, verifica-se a impermeabilização da área através de longos passeios de concreto e pouca área de solo livre.

Figura 4.23: Logradouros e espaços públicos de Arapiraca: alta impermeabilização do solo e pouca arborização urbana.



Fotos: Simone Torres (2014)

- **Propriedades termodinâmicas dos materiais constituintes:**

Como foi descrito nos itens anteriores, os materiais constituintes da estrutura urbana de Arapiraca apresentam alta capacidade calorífica, como o asfalto e o concreto presente nas edificações e pavimentações. A problemática em relação aos efeitos negativos às condições climáticas locais reside na constituição dos demais atributos da forma urbana avaliada, que contribuem negativamente para o conforto térmico dos usuários do espaço urbano. Desta forma, é notável a necessidade de mudanças no padrão de uso do solo, a partir da definição de diretrizes novas de desenho e planejamento urbano local.

4.3 Resultado das medições microclimáticas dos tecidos urbanos selecionados

A finalização da etapa 1, referente ao desenvolvimento do diagnóstico, foi fundamentada na execução das medições microclimáticas para a verificação das diferenciações quanto ao desempenho higrotérmico as áreas tipo selecionadas, como também, para a definição de um dia representativo para análise climática e simulação no modelo ENVI-met 4.0.

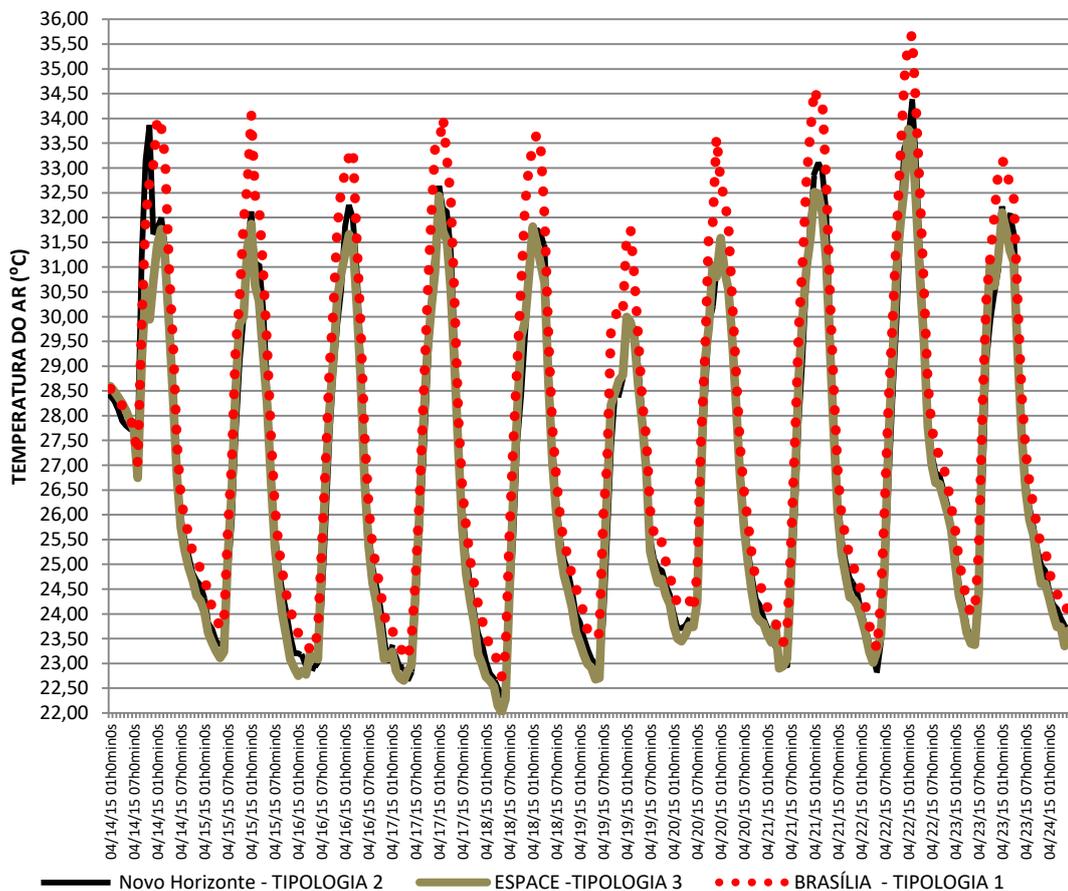
Os registradores HOBO Pro v2 (U23-001) da ONSET foram implantados nos tecidos urbanos selecionados para a coleta de dados horários das variáveis climáticas temperatura do ar e umidade relativa.

No período quente e úmido (medições em abril/2015), apenas três tecidos foram monitorados: Tipo 1 (Bairro Brasília), Tipo 2 (Bairro Novo Horizonte) e Tipo 3 (Residencial Espace). Nos tipos 2 e 3, os equipamentos foram instalados em postes localizados em unidades habitacionais a partir do consentimento dos moradores. Esta estratégia foi adotada por questão

de segurança para evitar o roubo do equipamento. Na tipologia 3, condomínio vertical fechado, o equipamento foi instalado no espaço externo no condomínio. Infelizmente, não houve monitoramento no tecido tipo 4 (bairro Canafístula), devido a dificuldade relacionada à disponibilidade de local seguro para a instalação do equipamento. No período quente e seco (medições realizadas em dez/2015 a 3 jan/2016), esta dificuldade foi solucionada e, então, os quatro tecidos selecionados foram monitorados.

Para os dois conjuntos de dados coletados, 14/04/2015 a 24/04/2015- estação quente e úmida (figura 4.24) e 15/12/2015 a 10/01/2016 -estação quente e seca (figura 4.26), foram excluídos os dias com ocorrência de precipitação e selecionados os dias com maior índice de radiação global, determinados por uma distribuição uniforme desta variável. Para isso foram elaborados gráficos para análise das curvas de radiação a partir dos dados horários fornecidos pelo INMET para avaliação dos dias específicos do monitoramento microclimático (figuras 1 a 5 – APENDICE A). Para elaboração dos gráficos a hora em UTC do dado INMET foi convertida em hora legal. Foram excluídos os dias cujo padrão de distribuição da radiação solar foi irregular. Este procedimento foi adotado para possibilitar a comparação dos dados medidos com os dados simulados/ estimados pelo modelo ENVImet em etapa posterior (ver capítulo 5).

Figura 4.24: Resultado do monitoramento microclimático realizado nos tecidos urbanos selecionados- período 14/04/2015 a 24/04/2015 (período quente e úmido).

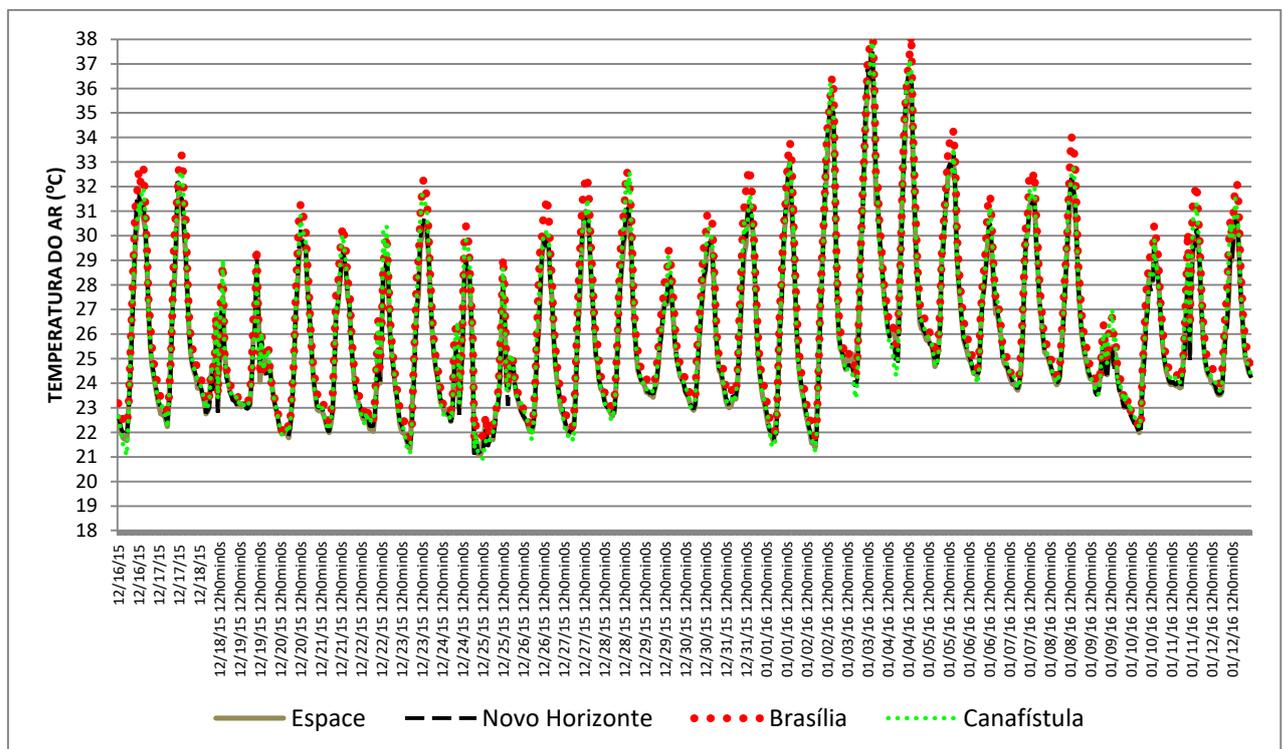


Para o período quente e úmido foram pré-selecionados os dias 14, 18, 21 e 23 de Abril/ 2015 para análise das diferenciações quanto ao desempenho higrotérmico, de acordo com as condições de influência da radiação solar (figura 1 e 2 – apêndice A, tabelas 1 a 8 – apêndice A)

Para o período quente e seco foram pré-selecionados os dias 01, 02 e 03 de janeiro (figuras 3 a 5, tabelas 9 a 14 – apêndice A). A partir desta pré-seleção, baseada nas avaliações das curvas de radiação, foram analisados os dados coletados nas medições microclimáticas. Para a escolha do dia representativo, foram observados o comportamento microclimático dos recintos estudados. Os dias que apresentaram maior diferenciação térmica entre as áreas tipo monitoradas, como também, os de maior uniformidade quanto a padrão de aquecimento e resfriamento (curva térmica), foram selecionados como representativo da estação avaliada.

Desta forma, os dias selecionados foram: para estação quente e úmida: 18/04/2015 (tabelas 3 e 4, figuras 8 e 9 – Apêndice A) e para a estação quente e seca: 03/01/2016 (tabelas 13 e 14, figuras 18 e 19 - Apêndice A). Os dados horários referentes aos dias selecionados foram utilizados para a calibração do modelo teórico e validação do mesmo, a partir das simulações computacionais dos tecidos selecionados (análise apresentada no capítulo 5).

Figura 4.26: Resultado do monitoramento microclimático realizado nos tecidos selecionados- período 15/12/2015 a 10/01/2016 -estação quente e seca



Nos dias pré-selecionados do período quente e úmido (dias 14/04/2015, 18/04/2015, 21/04/2015 e 23/04/2015, tabelas 1 a 8 – apêndice A), foram constatadas diferenças significativas no comportamento higro-térmico dos recintos monitorados. O recinto Brasília apresentou valores de temperatura do ar superiores a 2°C em relação aos recintos residencial Espace e bairro Novo Horizonte, principalmente nos horários de maior intensidade de

radiação solar (12h a 15h). Para definição do dia representativo deste período, foram excluídos os dias que apresentaram um perfil térmico com oscilações no padrão de aquecimento e resfriamento ao longo do dia, ocasionadas, provavelmente, pelas mudanças nos índices de nebulosidade do céu, como os dias 14/04/2015 (figura 1 – apêndice A) e 23/04/2015 (figura 2 – apêndice A).

Nos dias 18/04/2016 e 21/04/2015 o padrão de aquecimento nos recintos manteve-se uniforme ao longo dos horários monitorados (figuras 1 e 2 – apêndice A). Porém, no dia 18/04/2015 foram identificados maiores diferenciações no comportamento microclimático dos tecidos avaliados, por isso, este dia foi escolhido como dia representativo da estação quente e úmida. As variações de temperatura do ar entre os espaços monitorados alcançaram valores de até 2,66°C entre o bairro Brasília e o residencial Espace às 11h (tabela 3 – apêndice A). Já no dia 21/04/2015 a variação máxima de temperatura entre os recintos correspondeu a 2,26°C (também entre o bairro Brasília e o residencial Espace). Os resultados referentes aos valores de umidade relativa do ar neste período de monitoramento apresentaram valores máximos entre 85% a 95% e valores mínimos entre 31% a 49%, sendo os valores médios diários encontrados a partir de 63% a 95%. Especificamente no dia 18/04/2015 (dia representativo, Tabela 3 – apêndice A), a umidade relativa do ar média identificada nos tecidos urbanos foi acima de 70%, com valores horários próximos ao registrado na estação meteorológica do INMET. Assim, os dados são condizentes com o comportamento climático próprio da estação quente e úmida, já apresentados ao longo deste capítulo.

No dia 03/01/2016, escolhido como dia representativo da estação quente e seca, o padrão de aquecimento nos recintos foi uniforme entre os pontos (figuras 18 e 9 – apêndice A, tabelas 13 e 14 – apêndice A), além disso, foi o dia que apresentou o registro dos maiores valores de temperatura máxima em todos espaços monitorados (38,72°C no recinto Brasília às 14h). Desta forma, o uso dos dados coletados neste dia reflete uma condição extrema de desempenho climático dos recintos urbanos, marcada por uma alta amplitude térmica (14°C, no recinto do bairro Brasília). A umidade relativa do ar, com desempenho inversamente proporcional à temperatura do ar, apresentou os menores valores registrados no período monitorado (umidade relativa mínima: 31% no recinto Brasília, 32% no recinto Canafístula, 33,3% no recinto Novo Horizonte e 33,6% no recinto Residencial Espace).

O dia 02/01/2016, apresentou mesmo padrão de exposição e intensidade de radiação solar que o dia 03/01/2016, porém, as temperaturas máximas nos recintos investigados não ultrapassaram 36,5°C). No dia 01/01/2016 os valores de temperatura máxima e os valores médios foram inferiores aos registrados no dia 03/01/2016 e 02/01/2016 (tabela 9, figura 14 – apêndice A). Além disso, não foi identificada uma diferenciação significativa entre o comportamento climático dos recintos e entre os dados coletados na estação de referência do INMET no dia 01/01/2016. Esta diferenciação foi melhor detectada no dia 03/01/2016, analisando os valores de temperatura máxima do ar (tabela 13 – apêndice A), sendo constada uma diferença de até 1,6°C entre o recinto Brasília (maior temperatura máxima entre os pontos monitorados: 38,72°C) e recinto do residencial Espace (menor temperatura máxima entre os pontos monitorados: 37,17°C). Analisando o perfil da temperatura do ar e da

umidade, os resultados do monitoramento microclimático são condizentes com o desempenho climático da estação quente e seca, de acordo com a caracterização climática de Arapiraca-AL, descrita neste capítulo (umidade relativa do ar média: abaixo de 70%, amplitude acima de 10°C, temperatura média acima de 29°C).

Os resultados obtidos através do monitoramento microclimático possibilitaram a constatação das diferenciações microclimáticas entre as tipologias espaciais determinadas pelos distintos padrões de forma e densidade construtiva. Porém, a realização deste levantamento ocorreu em função de um objetivo maior e fundamental para o escopo da presente pesquisa. A identificação dos dias representativos configura-se em procedimento imprescindível para a avaliação o modelo ENVI-met 4.0 quanto à sua capacidade preditiva referente às respostas microclimáticas de cenários hipotéticos futuros. Desta forma, os dados referentes aos valores horários de temperatura do ar e umidade relativa do ar nos tecidos monitorados foram comparados com os dados horários gerados através da simulação computacional do comportamento microclimático das tipos espaciais no *software ENVIMet 4.0*. Assim, os dias representativos foram utilizados também, para a identificação de dados de entrada necessários para o desenvolvimento das simulações e para a calibração do modelo.

Ou seja, para configuração dos dados de entrada no processo de simulação computacional foram adotados valores das variáveis climáticas registradas pela estação INMET Arapiraca, registrados especificamente nos dias: 18/04/2016 (representativo do período quente e úmido) e 03/01/2016 (período quente e seco). Outras estações de referência foram, também, consultadas para identificação de dados não registrados pela estação automática local. A avaliação da capacidade preditiva do modelo e a validação quanto à sua utilização em investigações climáticas será apresentada no próximo capítulo, com a descrição de todos os procedimentos utilizados para a calibração.

De maneira geral, o levantamento microclimático subsidiou a verificação de importantes aspectos analíticos da pesquisa. Observando-se os valores de temperatura máxima e mínima obtidos nos horários de 6h, 9h, 12h, 15h e 18h, do levantamento microclimático pode-se verificar que o tecido localizado no bairro Brasília- Tipo 1 (maior densidade construtiva) apresentou os maiores valores de temperatura, principalmente nos horários de maior índice de radiação solar (12h e 15h). Nestes horários, são registradas as diferenças térmicas mais acentuadas entre os tipos espaciais, sendo a maior representada entre o ponto localizado no recinto do bairro Brasília–Tipo 1 e o ponto localizado no recinto do bairro Novo Horizonte Tipo 2 (menor densidade construtiva) e Tipo 3-Espace. Estas diferenças foram de até 2,66°C, sendo o Bairro Brasília o recinto de maior temperatura do ar.

Os diferentes tipos de tecidos urbanos apresentam, portanto, capacidades diferenciadas de amenização térmica. No período quente e úmido, dia 18/04/2016, o tecido Tipo 2 (bairro Novo Horizonte) e Tipo 3 (residencial Espace) apresentaram valores de temperatura do ar inferiores ao registrado na estação de referência INMET, nos horários da manhã e início da tarde (tabela 3 e figura 8 – apêndice A). No recinto Brasília, diferentemente dos demais, foram registrados valores de temperatura do ar superiores aos da estação automática de referência. Ou seja, sua forma e padrão de ocupação não favoreceu uma amenização na escala

microclimática, pois o mesmo apresenta diversas características que contribuem para o aquecimento local, como alto percentual de solo impermeável e de revestimentos de alta capacidade calorífica (asfalto e concreto), alta concentração de construções que modificam o padrão de reflexão da radiação de ondas curtas e ondas longas, contribuindo para uma maior absorção de energia térmica. Os Tipos 2 e 3 apresentaram valores de umidade relativa do ar superiores aos registrados na estação do INMET, confirmando a capacidade de amenização climática, pela existência de arborização urbana e pelo maior percentual de solo permeável, além de apresentar maior permeabilidade aos ventos predominantes locais.

No dia representativo do período quente e seco (determinado por condições extremas de aquecimento), as diferenciações climáticas são similares, porém, a partir do início da tarde (12h) todos os recintos monitorados apresentaram temperatura do ar com valores superiores aos registrados na estação automática do INMET (tabela 13 e figura 18 – apêndice A). Os dados de umidade relativa do ar registrados na estação automática, com comportamento inversamente proporcional em relação à temperatura, corresponderam a valores superiores em relação aos recintos investigados em todos os horários diurnos (tabela 14 e figura 19 – apêndice A). Conclui-se, assim, que neste período quente e seco, o potencial de amenização térmica dos tecidos Tipo 2 e 3 (bairro Novo Horizonte e residencial Espace) torna-se reduzido e insuficiente para o alcance da otimização das condições microclimáticas. Além disso, o efeito de aquecimento urbano identificado no tecido Tipo 1 (bairro Brasília), já verificado no período quente e úmido, alcança proporções maiores neste período quente e seco, comprovadas a partir da ampliação das diferenciações térmicas em relação os demais recintos avaliados.

As densidades construtivas no tecido do bairro Brasília (tipo 1) e do Residencial Espace (Tipo 3) são similares, porém estes recintos apresentam parâmetros urbanísticos e morfológicos bem diferenciados. O Tipo 1 apresenta baixa porosidade da malha e ausência de recuos laterais. Já o tipo 3 apresenta alta porosidade da malha e recuos frontais e laterais significativos entre os volumes edificados.

Além disso, o tecido 3 (residencial Espace) apresenta uma forma determinada pelo planejamento da quadra apresentando potencial de manutenção futura do padrão de ocupação, diferentemente dos demais recintos onde o lote é o elemento mínimo de planejamento, pois a dinâmica referente ao processo de modificação no padrão de ocupação e aproveitamento é maior. Desta forma, os resultados evidenciam a necessidade de controle de ocupação do solo e identificação de padrões morfológicos para adequação e alcance da qualidade climática urbana.

A partir do estudo de diferentes cenários hipotéticos determinados pela variação nos padrões morfológicos e parâmetros urbanísticos, foi possível analisar os diferentes impactos no comportamento microclimático de tecidos urbanos para a análise de possibilidades de adequação climática e ampliação de grau de amenização térmica de assentamentos construtivos urbanos. Os resultados desta análise serão apresentados, portanto, no próximo capítulo.

5 A AVALIAÇÃO CLIMÁTICA PREDITIVA

Neste capítulo, serão discutidos e apresentados os resultados referentes à calibração do modelo ENVI-met, para estudos de cenários hipotéticos a partir da realidade climática do objeto empírico, a cidade de Arapiraca. Este procedimento subsidiou a avaliação climática preditiva para o cumprimento dos objetivos da presente pesquisa e análise das hipóteses, partir do estudo da correlação entre os parâmetros urbanísticos e o comportamento das variáveis climáticas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos). Estes procedimentos contribuíram para verificação de diretrizes importantes para análise e entendimento do desempenho climático de tecidos urbanos

5.1 Simulações computacionais: Calibração do modelo ENVI-met

Com o objetivo de verificar a aplicabilidade/validação do modelo micrometeorológico ENVI-met para avaliação de cenários hipotéticos, foram realizadas as simulações computacionais dos tecidos urbanos monitorados climaticamente, para análise comparativa entre os dados simulados/estimados e dos dados coletados *in loco*.

O modelo trabalha diretamente com a Camada Limite Urbana (CLU), com um formato tridimensional de traçado em grade, com volume de controle nos eixos x, y e z. No Brasil, o modelo ENVI-met já foi adotado para avaliação de microclimas urbanos e mostrou algumas limitações relacionadas com o ajuste da curva de temperatura do ar para o clima tropical, como observado por Brandão (2009), que apontou como principal dificuldade, o tamanho máximo da área e da malha para o detalhamento preciso das superfícies construídas. Nakata (2010), também, identificou diferenças entre dados medidos e simulados e apontou dificuldades quanto ao processo de simulação, principalmente, quanto à capacidade computacional exigida para o processamento da simulação.

Estes estudos foram fundamentados a partir da adoção da versão antiga do programa computacional ENVI-met, versão 3.0 (BRUSE, 2004) e 3.1 (BRUSE, 2008). É importante destacar que, nessas versões anteriores, a capacidade térmica de fachadas não era considerada nos cálculos de energia e turbulência. Na versão 4.0 (lançada em 2013), o cálculo da temperatura da superfície das fachadas foi completamente reescrito e incorporado na equação de balanço de energia, baseado no modelo das propriedades físicas dos materiais e componentes da superfície da fachada, incluindo: reflexão, absorção, transmissão, emissividade, coeficiente de transferência de calor, capacidade térmica específica e a espessura da parede.

Gusson (2014) calibrou o modelo a partir na nova versão ENVI-met 4.0, para a realidade climática do município de São Paulo, para quantificar o efeito da densidade construtiva sobre o microclima urbano a partir da avaliação de cenários paramétricos, representados por uma mesma densidade populacional. Os cenários representavam possíveis padrões de ocupação de quadra, com diferentes tipologias de edifícios. Para calibração do modelo, foram realizadas medições microclimáticas para fins comparativos dos dados simulados. Gusson destaca que o modelo respondeu bem ao ajuste da curva entre dados medidos e dados simulados mostrando-se confiável para simulação com cenários paramétricos.

Uma das mais recentes pesquisas fundamentada na validação do modelo ENVI-met foi realizada por Helge Simon para o desenvolvimento de sua tese de doutorado, na Universidade de Mainz, na Alemanha, finalizada em março de 2016. Esta tese descreve uma série de novos recursos introduzidos na nova versão do ENVI-met 4.0, incluindo um vasto conjunto de testes numéricos e validações baseadas em medições *in loco*. Os novos recursos são avaliados com base em cenários, bem como por comparação com medições. As validações foram baseadas na análise da modelagem 3D, referente ao comportamento de transpiração das plantas, além de outros processos e reações químicas relacionados com desempenho microclimático da vegetação. Uma das importantes conclusões do estudo de Helge Simon aponta que as mudanças no processo de cálculo do modelo micrometeorológico, a partir da consideração da vegetação/árvore como um objeto (com detalhamento de sua geometria e de seus elementos constituintes e características e propriedades diferenciadas, como a densidade foliar), possibilitou o alcance da representatividade dos resultados referentes à influência do elemento arbóreo no microclima, como também, permite a avaliação da vitalidade da árvore em diferentes microclimas (SIMON, 2016; p.77).

Os primeiros estudos desenvolvidos na presente pesquisa foram realizados utilizando-se a versão 3.1. Após a publicação da versão 4.0, os estudos foram fundamentados na nova versão. Esta versão possibilita a especificação de muitos componentes de edificações como vidros, paredes, pisos e tetos e pavimentações urbanas. Um dos principais avanços em relação às versões anteriores é a possibilidade de caracterização nas aberturas dos edifícios e a elevação dos mesmo (no caso de existência de pilotis). Estas inovações foram incorporadas a partir da adoção na plataforma 3D para a caracterização do modelo de simulação.

Na versão 4.0, o programa trabalha com a possibilidade de modelagem do terreno (desconsiderado nas versões anteriores) e possui como grade máxima 250 x 250 x 30 unidades de volume de controle. O volume de controle da malha urbana deve ser estudado a partir da quantidade de metros necessária para o espaço/ estrutura a ser modelado. Essa grade é determinada por quadrículas (largura: x, profundidade: y e altura: z). As três opções de volume de controle para a grade são: 100x100x40; 150x150x35 e 250x250x25. Cada quadrícula pode possuir um valor de até 10m em cada dimensão ou de 0,5m, o que delimita o tamanho e a escala da área que será estudada. O programa utiliza ainda: a) arquivos de entrada (que definem as características da simulação específica), configurados no item *Spaces*, arquivo de dados (já configurados do sistema e dados acrescentados), que são especificados

no módulo *ConfigWizard* e arquivos de saída (esses criados pelas simulações do programa computacional), processados através do módulo *ENVI-met run*.

Para cada recinto urbano estudado e monitorado climaticamente, foi desenvolvido um estudo de grade para simulação no modelo ENVI-met. Vários testes de calibração foram realizados, para verificar as respostas do programa, sendo comparados os resultados com os dados coletados em campo. A grande dificuldade encontrada para adoção do modelo foi a necessidade de obtenção de dados de entrada de escala mesoclimática não disponibilizados nem coletados pela estação automática localizada na área de estudo, a cidade de Arapiraca-AL. Por isso, foram levantados dados de estações meteorológicas e instituições localizadas em outros centros urbanos circunvizinhos para o desenvolvimento de testes de sensibilidade do modelo até obter resultados próximos aos identificados através do monitoramento microclimático, apresentados no capítulo anterior. Assim, foram realizadas 4 simulações referentes às condições da estação quente e seca (verão: a partir do dia representativo estudado através dos dados microclimáticos coletados), sendo uma para cada recinto estudado. Foi ainda simulado um modelo para a condição da estação quente e úmida (dia representativo 18/04/2016), referente ao tipo 3 – Residencial Espace. Devido à necessidade de adiantamento dos procedimentos para avaliação dos cenários hipotéticos da análise preditiva, não foram simuladas as condições climáticas referentes à estação quente e úmida para as demais tipologias estudadas.

5.2 Identificação dos dados de entrada do modelo teórico

As simulações computacionais foram iniciadas a partir da caracterização de cada tecido estudado no modo *SPACES*, vinculado ao ENVI-met 4.0. Neste módulo são definidos a grade de volume controlado (figura 5.1), as informações referentes à localização (latitude, longitude, norte), a especificação do tipo de material geral para as paredes e para coberturas das construções (previamente acrescentadas à base de dados do programa através do módulo *Manage Database*) (figura 5.3), o detalhamento do volume construído e a caracterização/posicionamento de vegetações existentes no espaço a ser simulado.

A altura do topo do modelo deve corresponder a pelo menos 2 vezes a altura do edifício mais alto. Quando a caracterização referente ao número de grids dz não for suficiente para simulação da versão escolhida (limitada pela altura máxima de 40, 35 ou 25), deve ser estudada a caracterização do método *telescoping* para o grid vertical. Neste método, é possível escolher a partir de qual altura do modelo o fator telescópico será aplicado. O ajuste deste fator e da altura do mesmo deve ser estudado para permitir um espaço suficiente entre o topo do modelo e o topo do edifício. O programa apresenta a ferramenta *model inspector* que auxilia a identificação deste ajuste, pois, fornece o diagnóstico sobre a altura do topo do modelo, como também, identifica se a distância mínima entre as construções e a borda do modelo estão suficientes para iniciar a simulação computacional (figura 5.2).

Figura 5.1: Exemplo da configuração inicial estudada para o modelo do tipo 3 – Residencial Espace.

Change or create model Domain

Number of grids and nesting properties

Model type: Concept Design

Main model area:

x-Grids: 125 y-Grids: 125 z-Grids: 30

Nesting grids around main area:

Nr of nesting grids: 8

Set soil profiles for nesting grids

Soil A: [LO] Loamy Soil

Soil B: [LO] Loamy Soil

Grid size and structure in main area

Size of grid cell in meter:

dx= 2.00 dy= 2.00 dz= 3.00 (base height)

Method of vertical grid generation:

equidistant (all dz are equal except lowest grid box)

telescoping (dz increases with height)

Telescoping factor (%): 7.00

Start telescoping after height (m): 30.00

Default Wall/ Roof Properties

Wall Material: [TI]

Roof Material: [CO]

Model area description: espace atual

Geographic Properties

Model rotation out of grid north: -28.00

Location on earth

Name of location: ARAPIRACA

Position on earth: Latitude (deg. +N, -S): -9.45

Longitude (deg. -W, +E): -36.39

Reference time zone: Name: GMT -3

Reference longitude: -45.00

Georeference

Co-ordiante of lower left grid x-value: -45.00

y-value: 0.00

Reference system: <plane>

Reference level above sea level for DEM=0: 0.00

Maximum Model Size is 100x100x40 in ENVI-met Basic and 250x250x25 in ENVI-met Pro

Create new area

Apply changes

Cancel

Figura 5.2: Ferramenta de inspeção do modelo Tipo 3- Espace-, no ENVI-met.

ENVI-met Model Analyser

Basic model geometry

Grid dimensions: 125 x 125 x 30 Grids
dx=2.00 m dy=2.00 m
Base dz=3.00 m

Core XY domain size: 250.00 m x 250.00 m

Grid geometry generated by ENVI-met

Horizontal

Nesting area: 8 Nesting grids at each border

Resulting dx/dy spacing of nesting grids:

--- [Border complete model] ---

[1]	dx/dy= 18.00 m
[2]	dx/dy= 16.00 m
[3]	dx/dy= 14.00 m
[4]	dx/dy= 12.00 m
[5]	dx/dy= 10.00 m
[6]	dx/dy= 8.00 m
[7]	dx/dy= 6.00 m

Vertical

Generation method: Telescoping grid
(dz increased with height)

Increase factor: 7.00 %

Resulting dz spacing and absolute height:
(abs_z refers to grid box center)

--- [Top of 3D model] ---		
z=30	dz=10.85 m,	abs z= 147.56 m
z=29	dz=10.14 m,	abs z= 137.07 m
z=28	dz=9.48 m,	abs z= 127.26 m
z=27	dz=8.86 m,	abs z= 118.09 m
z=26	dz=8.28 m,	abs z= 109.53 m
z=25	dz=7.74 m,	abs z= 101.52 m
z=24	dz=7.23 m,	abs z= 94.04 m
z=23	dz=6.76 m,	abs z= 87.04 m

Telescoping factor (%): 7.00

Start telescoping after height (m): 30.00

Try use in model

Model geometry analysis

Model heights vs. model top

Highest building in domain: 48 m

Highest DEM point in domain: 0 m

Highest point building + DEM: 48 m

Height of 3D model top: 147.56 m

Sufficient space between building top and model border.

Minimal distance between buildings and model border

Min distance betw. buildings and model border: 2 Grids (=4
Extra space added by nesting area: 88.00 m
Resulting total minimal space in the model: 92.00 m

There is enough space between buildings and model border

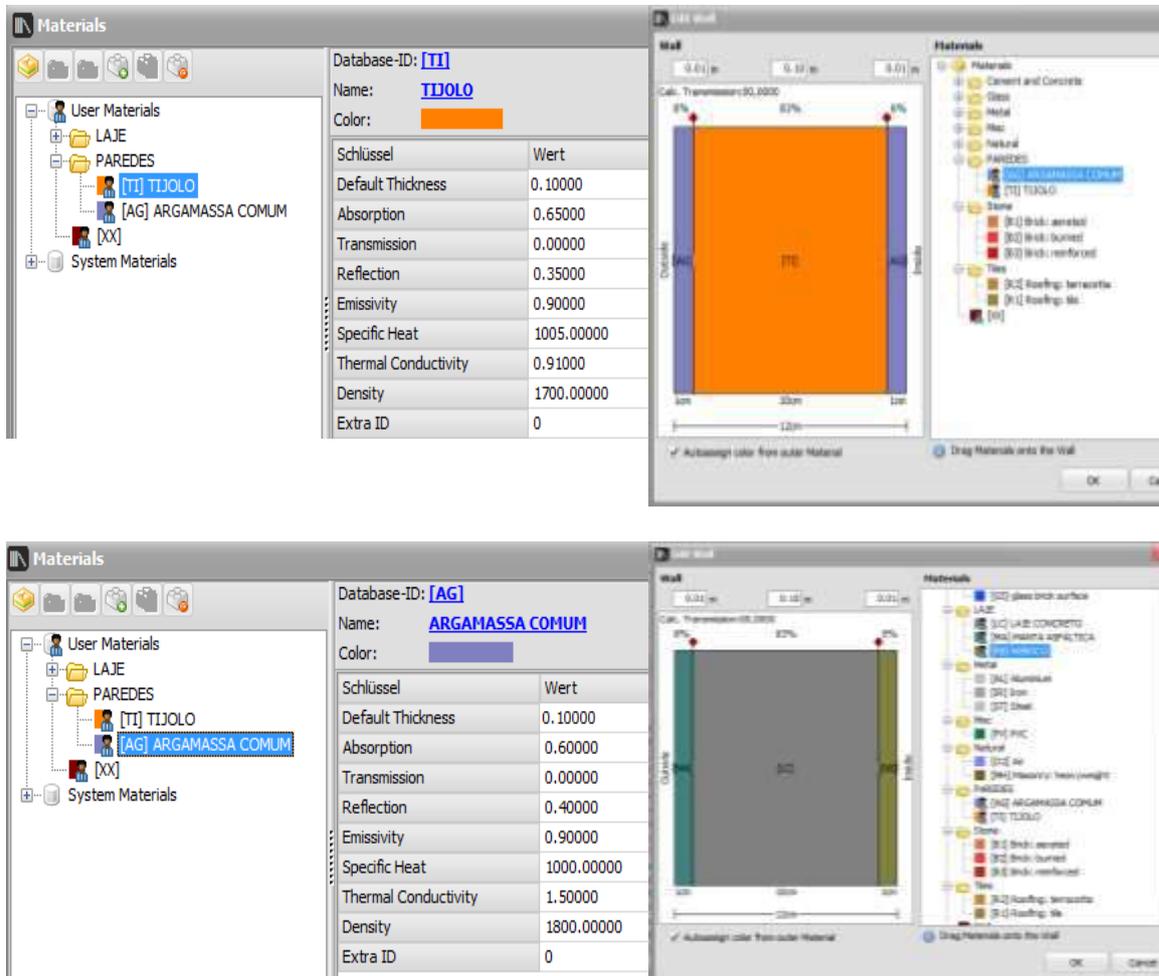
Fix spacing:

Add 5 empty grid cells at the core border Go

Close

Version 4.0 Beta

Figura 5.3: Edição das dimensões e componentes de paredes e coberturas e propriedades térmicas adotadas nos modelos de simulação, realizadas através do módulo *DB Manager 4.0 – ENVI-met*.



Na versão 4.0, é possível incorporar “receptores” na grade estudada para gerar um arquivo exclusivo de dados de saída, calculados especificamente para a célula da malha que apresenta o receptor. Nos modelos simulados nesta etapa de calibração, foram inseridos receptores incorporados em posição correspondente à implantação dos equipamentos de monitoramento microclimático para possibilitar a comparação dos dados simulados/estimados pelo modelo ENVI-met e os dados medidos *in loco*. Os receptores estão representados com um ponto vermelho nas imagens no quadro 5.2. No quadro 5.1, encontram-se especificados os principais dados de entrada exigidos pelo programa para o desenvolvimento das simulações e as informações adotadas no estudo para a calibração do modelo.

Os valores de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento (m/s) e direção do vento utilizados para a simulação são oriundos da estação de referência automática do INMET para os dias selecionados como representativos do monitoramento microclimático (um para cada período: quente seco e quente úmido).

Quadro 5.1: Informações para a calibração do modelo ENVI-met para as condições climáticas investigadas em Arapiraca-AL

Temperatura atmosférica inicial (K) ²²	Obtida através do registro da estação automática INMET (A353), para o dia escolhido como representativo a partir da amostra do monitoramento microclimático, no horário de 21h00 (início da simulação).
Umidade relativa média (2m)	Obtida através de monitoramento microclimático (dia representativo).
Velocidade do vento a 10m (m/s)	Obtida através do registro da estação automática INMET (A353), para o dia escolhido como representativo a partir da amostra do monitoramento microclimático (específica do horário de início da simulação)
Direção do vento	90 – Corresponde à direção Leste -predominante local, identificada a partir do diagnóstico (etapa 1)
Rugosidade (Roughness Length (Z0) at reference point)	0,1 (Rugosidade da superfície (sob o anemômetro)
Hora início da simulação ²³	21h00
Umidade específica do ar a 2500m (g/kg) ²⁴	Umidade no topo do modelo

A data especificada no programa para início da simulação corresponde à data do dia representativo selecionado a partir do período de monitoramento. Para a presente pesquisa foi definido o horário de início sendo 21h e o período de simulação de 48h. O período total de simulação deve compreender no mínimo 48h, das quais são descartadas as primeiras 24h, por ser o intervalo em que o modelo ainda está estabilizando as condições iniciais.

São especificados ainda como dados de entrada no programa computacional:

- Dados sobre grau de nebulosidade, umidade e temperatura do solo que podem ser obtidos a partir de dados coletados e tratados do *site* do INPE²⁵,
- Dados de radiação global e difusa, obtidos através do programa Radiasol (versão 2), que gera os dados horários de radiação solar difusa, direta e global, usando em seu modelo dados medidos regionalmente por estações. Estes dados são utilizados para determinar o fator de ajuste de radiação exigido pelo programa.

²² Refere-se à temperatura potencial a 2500m (no topo do modelo, tendo como referência o nível do mar); neste caso pode ser considerada igual à temperatura do ar na superfície, dado que o modelo inicia considerando a atmosfera neutra, onde o perfil vertical da temperatura é constante. A temperatura potencial de uma parcela de ar é definida como a temperatura que a parcela teria se ela fosse expandida ou comprimida adiabaticamente (ou seja, sem troca de calor) de seu estado real de temperatura e pressão para uma pressão padrão (em geral 1 atm ou 1000mb) (Informação obtida em material do mini curso ENVI-met, ministrado pela Prof. Eleonora Assis (UFMG), durante a realização do ENCAC – Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, Brasília, out/2013)

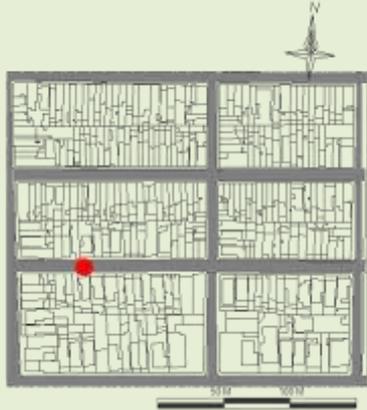
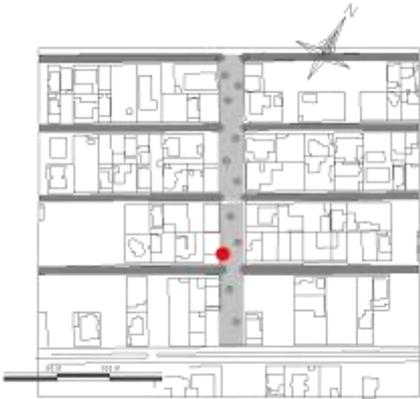
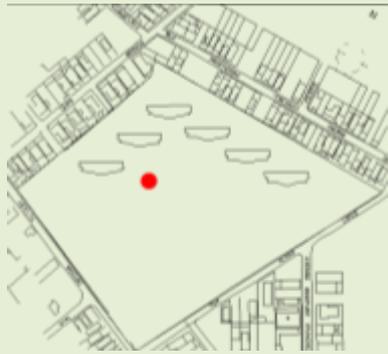
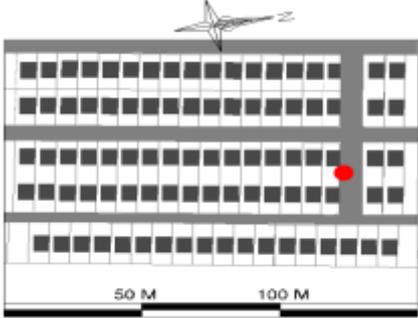
²³ A inicialização do modelo pressupõe condições de atmosfera neutra (do ponto de vista da estabilidade estática), onde a temperatura potencial pode ser considerada constante ao longo da altura da camada de mistura atmosférica. Por isso, foi adotado o horário de 21:00h para simulação.

²⁴ Obtida a partir do site do dep. Ciências Atmosféricas da Universidade de Wyoming. Corresponde aos dados coletados em região mais próxima de Arapiraca-AL, obtidos em Recife-PE (82900), para o dia representativo do período simulado (quente úmido e quente seco). Disponível em:

<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

²⁵ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, SINDA (Sistema Integrado de Dados Ambientais) - <http://agricultura.cptec.inpe.br/umidade.shtml>

Quadro 5.2: Especificações referentes à caracterização da malha para a simulação dos tecidos urbanos selecionados

	ÁREAS TIPO	INFORMAÇÕES / SIMULAÇÃO
TIPO 1 – Bairro Brasília T1 ATUAL		<p>Área:75000m² (300 x 250)</p> <p>Revestimentos de solo: concreto (passeios de pedestres), asfalto (vias).</p> <p>Grids(x):100, dx=3</p> <p>Grids(y): 125, dy=2</p> <p>Grids(z): 30, dz=3</p> <p>Versão: 180x 180 x35</p> <p>Vegetação: inexistente</p> <p>Altura máxima: 4 pavimentos (12m)</p>
TIPO 2 – Bairro Novo Horizonte T2 ATUAL		<p>Área:119020m² (345m x 345m)</p> <p>Revestimentos de solo: concreto (passeios de pedestres, vias e no corredor de vegetação), asfalto (via principal), solo natural (nos lotes ocupados e não ocupados)</p> <p>Grids(x):115, dx=3</p> <p>Grids(y): 115, dy=3</p> <p>Grids(z): 14, dz=3</p> <p>Versão: 180x 180 x35</p> <p>Vegetação: existente em alguns lotes e no corredor de arborização</p> <p>Altura máxima das construções 7 pavimentos (21m)</p>
TIPO 3- Residencial Espace T3 ATUAL		<p>Área:62500m² (250m x 250m)</p> <p>Revestimentos de solo: concreto (passeios de pedestres), asfalto (vias), solo natural (paisagismo do condomínio).</p> <p>Grids(x):125, dx=2</p> <p>Grids(y): 125, dy=2</p> <p>Grids(z): 30, dz=3</p> <p>Versão: 250x 250 x40</p> <p>Vegetação: existente na área do condomínio</p> <p>Altura máxima das construções: 16 pavimentos (48m)</p> <p>Houve necessidade de adoção do <i>grid</i> vertical telescópico</p>
TIPO 4 – Bairro Canafistula T4 ATUAL		<p>Área:40000m² (200m x 200m)</p> <p>Revestimentos de solo: concreto (passeios de pedestres,, asfalto (via principal), solo natural (nos lotes) ocupados)</p> <p>Grids(x):100, dx=2</p> <p>Grids(y): 100, dy=2</p> <p>Grids(z): 10, dz=3</p> <p>Versão: 100x 100 x40</p> <p>Vegetação: inexistente</p> <p>Altura máxima da construção: 1 pavimento</p>

Como a versão 4.0 do ENVI-met não possuía²⁶ a ferramenta (*radition preview*) para auxiliar o cálculo do fator de ajuste da radiação presente na versão antiga 3.1, esta versão antiga foi adotada apenas para calcular este fator. O valor foi inserido no modelo de configuração (*ConfWizard*) na versão atualizada do programa (figuras 5.4 e 5.5).

Figura 5.4: Fator de ajuste para avaliação da condição quente e úmida, segundo Radiasol: Mês de Abril 12h: 628W/m² (valor do ajuste: 0,669)

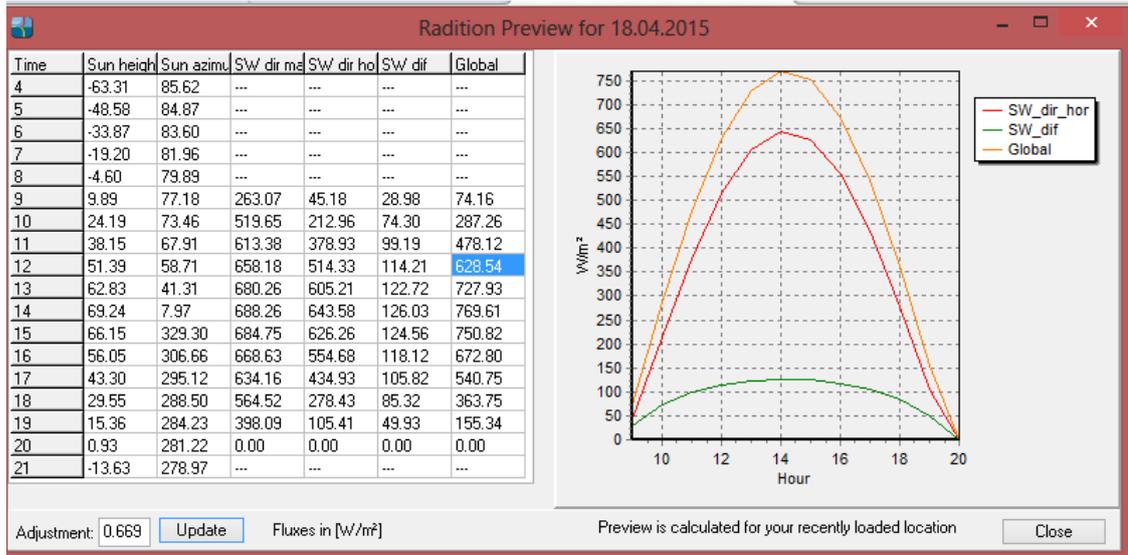
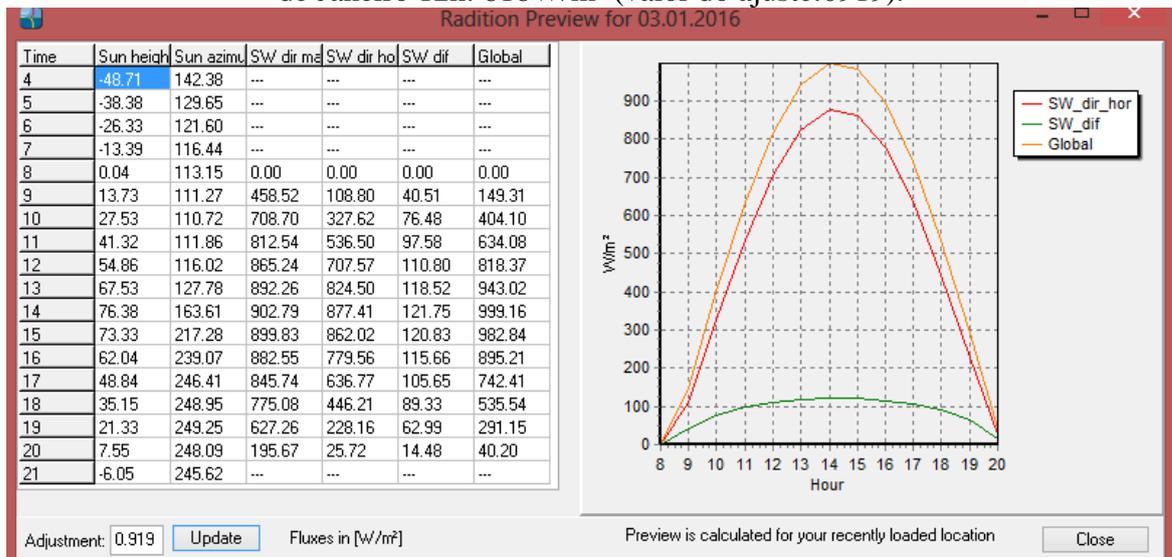


Figura 5.5: Fator de ajuste para avaliação da condição quente e seca, segundo Radiasol: Mês de Janeiro 12h: 818W/m² (valor do ajuste: 0,919).



²⁶As simulações para a calibração do modelo foram realizadas no período de fevereiro e março de 2016. Até então, o modelo ENVI-met 4.0 não apresentava a ferramenta para o ajuste de radiação. Porém, a versão atualizada do programa, disponibilizada a partir de Janeiro de 2017, já possui esta ferramenta.

O modelo ENVI-met é capaz de gerar mais de 40 tipos de dados de saída, relacionados com variáveis climáticas, variáveis atmosféricas e do balanço energético, variáveis da vegetação, de poluição do ar, como também, variáveis de conforto térmico. No presente estudo, são observados como dados de saída: temperatura do ar, umidade relativa, velocidade dos ventos e direção dos ventos e radiação solar direta.

Para análise dos dados de saída, foi adotado o software Leonardo 2014 Beta (extensão do ENVI-met 4.0), que permite visualizar o valor de temperatura do ar, umidade relativa, direção e velocidade dos ventos, simulados para cada célula da malha representativa da área de estudo, através de mapas temáticos. Foi utilizado, também, o programa EXCEL para leitura dos dados obtidos como resultado dos receptores, identificados nas simulações computacionais. Estes receptores correspondem à células no grid que são selecionadas para identificação de todos os dados simulados, em todos os horários especificados. Desta forma, na caracterização do malha, estes receptores estão localizados exatamente no mesmo ponto onde foram instalados os equipamentos para coleta de dados microclimáticos, para permitir a comparação dos dados simulados e dados coletados *in loco*.

A caracterização das áreas para simulação foi realizada na plataforma 2D. Foram utilizadas imagens de extensão bitmap inseridas no modo *SPACE* como pano de fundo para o desenho e detalhamento das superfícies construídas das áreas estudadas (figuras 5.8 e 5.9) Durante a caracterização do malha, é possível modificar o modo de visualização do modelo alterando para a plataforma 3D (figura 5.10).

Figura 5.6: Caracterização do grid no modelo do tipo 3- Espace Arapiraca, utilizando imagem bitmap como pano de fundo;

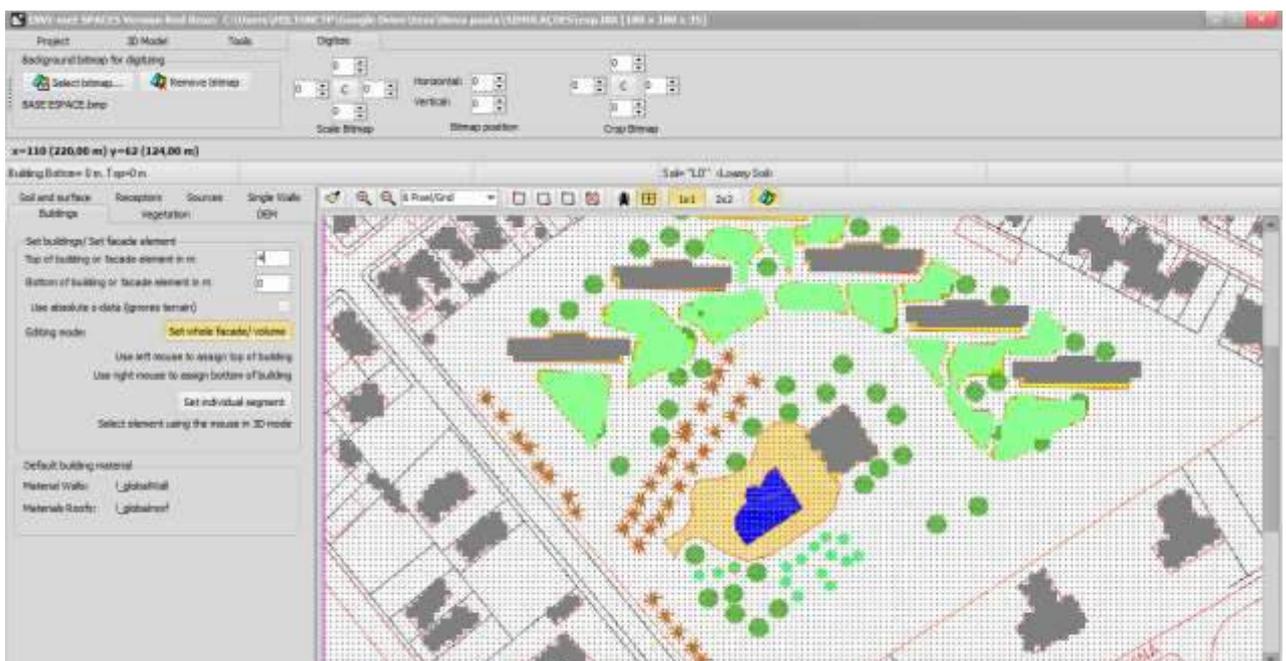


Figura 5.7: Caracterização da malha no modelo do tipo 3- Espace Arapiraca: grid finalizado (elimina-se a imagem bitmap)

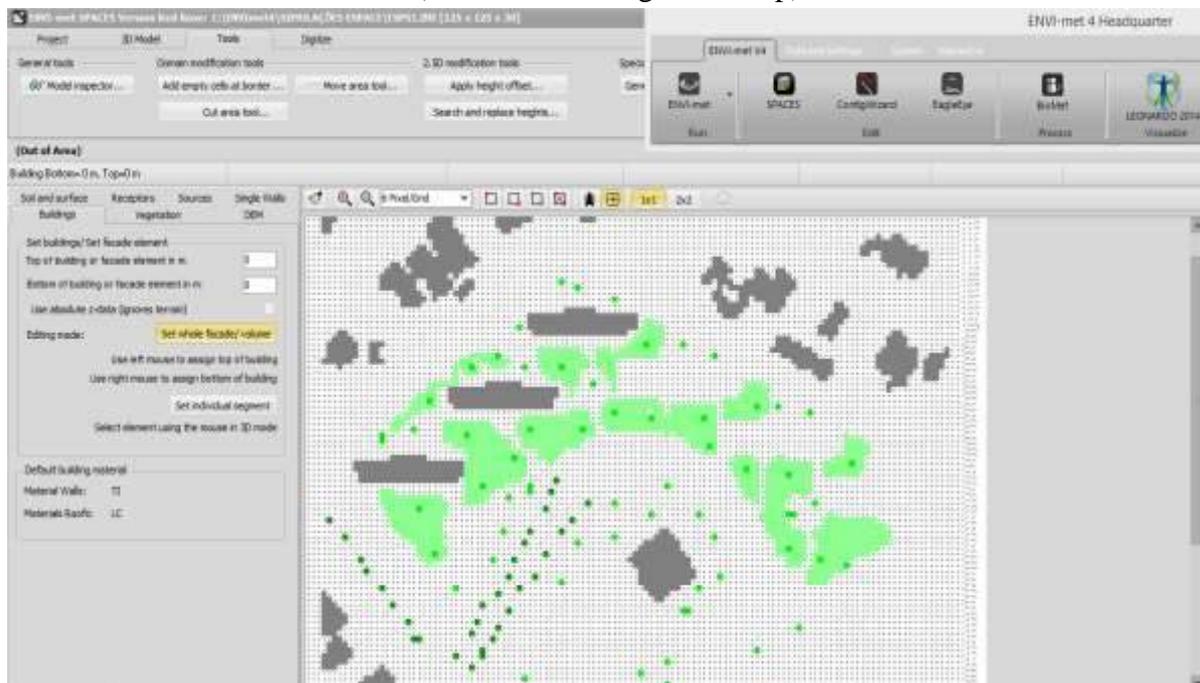


Figura 5.8: Caracterização do grid no modelo do tipo 2- Bairro Novo Horizonte.

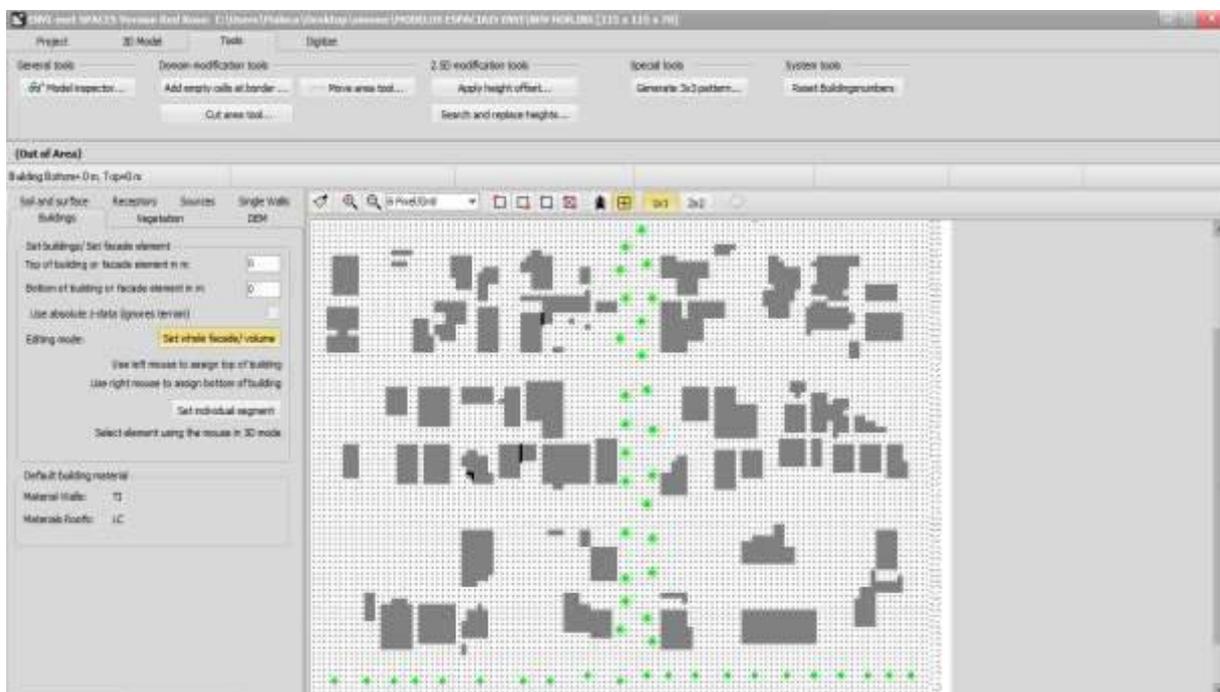


Figura 5.9: Caracterização do grid no modelo do tipo 4- Bairro Canafistula.

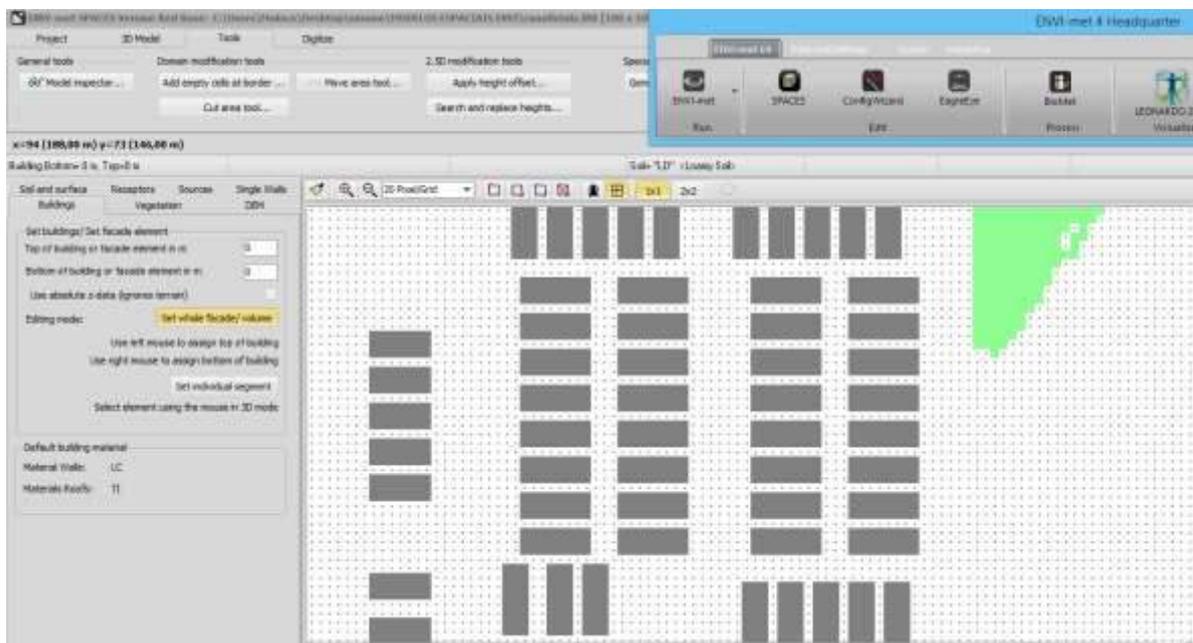
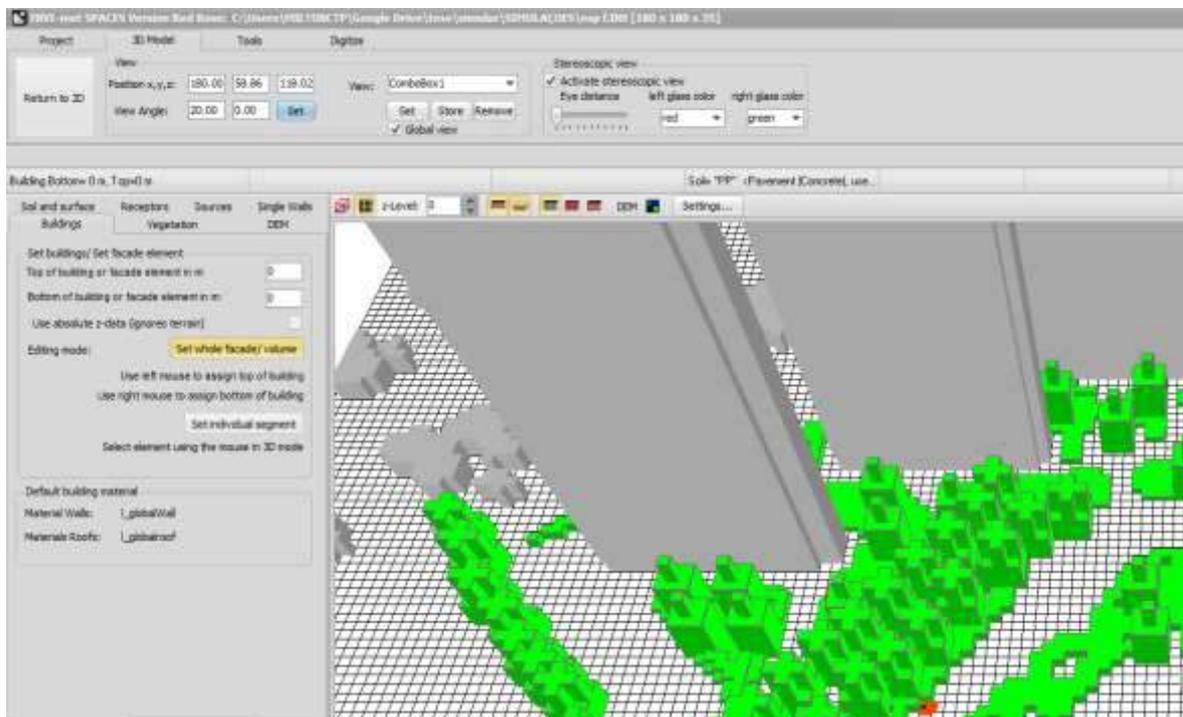


Figura 5.10: Modelo do tipo 3 visualizado no modo 3D do ENVI-met



A seguir são apresentados os resultados obtidos através da simulação computacional para a condição da estação quente e seca, para todas as tipologias estudadas, de acordo com o dia representativo selecionado, dia 03/01/2016, para fins de análise comparativa e calibração do modelo micrometeorológico. Para a calibração referente à estação quente e úmida (dia representativo: 18/04/2015) são apresentados os resultados referentes ao tipo espacial 3-Residencial Espace.

Tabela 5.1: Dados do Receptor do tecido urbano Tipo 1 - Bairro Brasília Condição Estação Quente e Seca (dia representativo 03/01/2016)

Data	hora	altura(m)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)
03.01.2015	00:00:01	1,5	0,93	93,81	27,26	63,22	0,00	0,00
03.01.2015	01:00:01	1,5	0,92	93,87	26,85	63,27	0,00	0,00
03.01.2015	02:00:01	1,5	0,92	93,94	26,59	63,70	0,00	0,00
03.01.2015	03:00:01	1,5	0,91	93,93	26,40	64,07	0,00	0,00
03.01.2015	04:00:01	1,5	0,91	93,96	26,14	65,05	0,00	0,00
03.01.2015	05:00:01	1,5	0,90	94,17	25,55	66,29	0,00	0,00
03.01.2015	06:00:01	1,5	0,89	94,25	25,67	66,44	234,87	9,71
03.01.2015	07:00:01	1,5	0,88	94,45	27,11	61,65	643,64	45,50
03.01.2015	08:00:01	1,5	0,85	95,34	29,18	55,11	807,96	64,48
03.01.2015	09:00:01	1,5	0,87	95,06	30,74	48,32	888,96	76,24
03.01.2015	10:00:01	1,5	0,89	94,83	32,26	43,87	929,54	83,15
03.01.2015	11:00:01	1,5	0,89	94,98	33,72	39,47	949,02	86,57
03.01.2015	12:00:01	1,5	0,89	95,12	35,08	36,03	949,57	86,62
03.01.2015	13:00:01	1,5	0,89	95,17	35,76	33,72	936,08	83,72
03.01.2015	14:00:01	1,5	0,90	95,18	36,40	32,26	895,82	76,80
03.01.2015	15:00:01	1,5	0,90	95,08	36,47	31,29	824,21	65,74
03.01.2015	16:00:01	1,5	0,90	94,90	35,64	32,47	654,98	47,18
03.01.2015	17:00:01	1,5	0,90	94,60	33,66	34,96	0,00	14,09
03.01.2015	18:00:01	1,5	0,91	94,22	32,47	41,01	0,00	0,00
03.01.2015	19:00:01	1,5	0,91	94,01	31,39	47,95	0,00	0,00
03.01.2015	20:00:01	1,5	0,91	93,90	30,61	52,80	0,00	0,00
03.01.2015	20:59:59	1,5	0,91	93,87	29,85	55,70	0,00	0,00

DADOS RECEPTOR DO TIPO 1 - BAIRRO BRASÍLIA
CONDIÇÃO ESTAÇÃO QUENTE E SECA

Tabela 5.2: Dados do receptor do tecido urbano, Tipo 2- Novo Horizonte, condição estação quente e seca (dia representativo 03/01/2016).

Data	hora	Altura (m)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)
03/01/2016	00:00:01	1,5	1,46	62,63	31,71	79,73	0,00	1,46
03/01/2016	01:00:01	1,5	1,45	62,68	28,19	78,78	0,00	1,45
03/01/2016	02:00:01	1,5	1,45	62,58	27,35	78,07	0,00	1,45
03/01/2016	03:00:01	1,5	1,43	62,85	26,87	77,84	0,00	1,43
03/01/2016	04:00:01	1,5	1,40	63,11	26,38	78,57	0,00	1,40
03/01/2016	05:00:01	1,5	1,44	62,55	25,90	79,57	0,00	1,44
03/01/2016	06:00:01	1,5	1,41	62,78	25,81	79,52	147,35	1,41
03/01/2016	07:00:01	1,5	1,39	62,86	27,28	73,59	422,27	1,39
03/01/2016	08:00:01	1,5	1,36	63,19	29,34	65,74	739,50	1,36
03/01/2016	09:00:01	1,5	1,32	63,49	31,32	57,94	814,69	1,32
03/01/2016	10:00:01	1,5	1,40	62,19	33,26	51,18	851,63	1,40
03/01/2016	11:00:01	1,5	1,40	62,04	35,44	43,73	870,22	1,40
03/01/2016	12:00:01	1,5	1,38	62,21	36,92	39,56	870,00	1,38
03/01/2016	13:00:01	1,5	1,37	62,23	37,28	37,97	855,81	1,37
03/01/2016	14:00:01	1,5	1,37	62,16	37,57	36,63	820,76	1,37
03/01/2016	15:00:01	1,5	1,37	62,04	37,39	36,27	752,02	1,37
03/01/2016	16:00:01	1,5	1,38	61,87	36,03	38,50	608,16	1,38
03/01/2016	17:00:01	1,5	1,37	61,82	33,46	41,74	229,60	1,37
03/01/2016	18:00:01	1,5	1,39	61,57	32,02	52,66	0,00	1,39
03/01/2016	19:00:01	1,5	1,40	61,38	30,93	60,40	0,00	1,40
03/01/2016	20:00:01	1,5	1,38	61,49	30,17	63,84	0,00	1,38
03/01/2016	20:59:59	1,5	1,38	61,45	29,39	66,54	0,00	1,38

DADOS RECEPTOR DO TIPO 2 - BAIRRO NOVO HORIZONTE
CONDIÇÃO ESTAÇÃO QUENTE E SECA

Tabela 5.3 : Dados do receptor do tecido urbano Tipo 3- Residencial Espace condição estação quente e seca (dia representativo 03/01/2016).

Data	hora	Altura (m)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)
03/01/2016	00:00:01	1,5	1,52	83,16	25,81	71,64	0,00	0,00
03/01/2016	01:00:01	1,5	1,52	83,17	25,45	70,05	0,00	0,00
03/01/2016	02:00:01	1,5	1,52	83,15	25,29	69,70	0,00	0,00
03/01/2016	03:00:01	1,5	1,51	83,20	25,11	70,00	0,00	0,00
03/01/2016	04:00:01	1,5	1,5	83,26	25,13	71,49	0,00	0,00
03/01/2016	05:00:01	1,5	1,49	83,43	24,31	72,57	0,00	0,00
03/01/2016	06:00:01	1,5	1,49	83,51	24,55	70,25	50,91	10,48
03/01/2016	07:00:01	1,5	1,47	84,07	26,66	66,83	586,07	45,60
03/01/2016	08:00:01	1,5	1,39	86,00	28,70	57,85	745,41	65,55
03/01/2016	09:00:01	1,5	1,41	84,83	30,14	51,99	365,01	77,24
03/01/2016	10:00:01	1,5	1,4	84,89	31,65	47,77	372,06	84,20
03/01/2016	11:00:01	1,5	1,39	85,14	33,12	42,50	252,13	87,93
03/01/2016	12:00:01	1,5	1,38	85,39	34,49	39,17	872,37	87,83
03/01/2016	13:00:01	1,5	1,36	85,58	35,36	37,03	857,49	84,67
03/01/2016	14:00:01	1,5	1,35	85,64	35,84	35,62	822,53	77,88
03/01/2016	15:00:01	1,5	1,35	85,54	36,16	34,41	272,11	66,47
03/01/2016	16:00:01	1,5	1,35	85,14	35,77	35,80	161,43	47,13
03/01/2016	17:00:01	1,5	1,35	84,60	33,42	38,30	68,80	14,30
03/01/2016	18:00:01	1,5	1,38	83,59	31,24	47,11	0,00	0,00
03/01/2016	19:00:01	1,5	1,4	83,02	29,99	56,61	0,00	0,00
03/01/2016	20:00:01	1,5	1,41	82,59	29,19	60,76	0,00	0,00
03/01/2016	20:59:59	1,5	1,41	82,37	28,39	63,41	0,00	0,00

**DADOS RECEPTOR DO TIPO 3 – RESIDENCIAL ESPACE
CONDIÇÃO ESTAÇÃO QUENTE E SECA**

Tabela 5.4: Dados do receptor do tecido Tipo 4 -Canafístula - condição estação quente e seca (dia representativo 03/01/2016).

Data	hora	Altura (m)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)
03.01.2016	00:00:01	1,5	1,33	89,97	25,83	80,17	0,00	0,00
03.01.2016	01:00:01	1,5	1,33	89,98	25,51	79,99	0,00	0,00
03.01.2016	02:00:01	1,5	1,33	89,98	25,32	80,31	0,00	0,00
03.01.2016	03:00:01	1,5	1,33	90,00	25,12	80,45	0,00	0,00
03.01.2016	04:00:01	1,5	1,32	90,03	24,69	82,17	0,00	0,00
03.01.2016	05:00:01	1,5	1,31	90,07	24,27	83,07	0,00	0,00
03.01.2016	06:00:01	1,5	1,31	90,11	24,53	83,23	139,63	9,18
03.01.2016	07:00:01	1,5	1,28	90,23	26,88	74,31	582,76	48,94
03.01.2016	08:00:01	1,5	1,24	90,40	29,34	64,93	738,29	70,03
03.01.2016	09:00:01	1,5	1,30	90,16	30,90	59,08	812,35	82,84
03.01.2016	10:00:01	1,5	1,32	90,15	32,53	52,86	851,22	90,57
03.01.2016	11:00:01	1,5	1,30	90,33	34,38	46,09	869,96	94,43
03.01.2016	12:00:01	1,5	1,29	90,49	36,06	41,73	868,83	94,33
03.01.2016	13:00:01	1,5	1,29	90,62	36,89	39,72	852,72	90,80
03.01.2016	14:00:01	1,5	1,28	90,70	37,34	37,00	821,60	83,90
03.01.2016	15:00:01	1,5	1,29	90,73	37,47	35,74	754,24	71,71
03.01.2016	16:00:01	1,5	1,30	90,70	36,31	38,06	609,59	51,40
03.01.2016	17:00:01	1,5	1,31	90,61	33,34	42,20	237,64	15,78
03.01.2016	18:00:01	1,5	1,34	90,44	31,69	55,66	0,00	0,00
03.01.2016	19:00:01	1,5	1,33	90,38	30,22	64,90	0,00	0,00
03.01.2016	20:00:01	1,5	1,34	90,34	29,55	67,75	0,00	0,00
03.01.2016	20:59:59	1,5	1,34	90,32	28,65	71,36	0,00	0,00

**DADOS RECEPTOR Do TIPO 4 – BAIRRO CANAFÍSTULA
CONDIÇÃO ESTAÇÃO QUENTE E SECA**

Tabela 5.5: Dados do receptor do tecido urbano - Tipo 3 –Residencial Espace, condição estação quente e úmida (dia representativo: 18/04/2016).

Data	hora	Altura (m)	Velocidade do vento (m/s)	Direção do vento	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)	Radiação solar direta (W/m ²)	Radiação solar difusa (W/m ²)
18.05.2015	00:00:01	1,5	1,46	82,52	23,94	80,63	0,00	0,00
18.05.2015	01:00:01	1,5	1,46	82,61	23,67	81,80	0,00	0,00
18.05.2015	02:00:01	1,5	1,45	82,72	23,39	82,21	0,00	0,00
18.05.2015	03:00:01	1,5	1,44	82,86	23,04	82,69	0,00	0,00
18.05.2015	04:00:01	1,5	1,43	82,99	22,93	83,80	0,00	0,00
18.05.2015	05:00:01	1,5	1,42	83,16	22,57	84,48	0,00	0,00
18.05.2015	06:00:01	1,5	1,41	83,27	22,80	84,54	0,00	0,00
18.05.2015	07:00:01	1,5	1,41	83,39	24,10	80,07	388,34	28,41
18.05.2015	08:00:01	1,5	1,35	84,86	25,83	70,54	546,02	46,16
18.05.2015	09:00:01	1,5	1,36	83,96	27,13	62,43	130,26	56,35
18.05.2015	10:00:01	1,5	1,36	84,02	28,37	58,08	382,87	61,95
18.05.2015	11:00:01	1,5	1,35	84,15	29,46	56,30	656,17	64,11
18.05.2015	12:00:01	1,5	1,34	84,33	30,18	53,24	657,07	64,02
18.05.2015	13:00:01	1,5	1,33	84,45	30,75	50,22	641,67	60,93
18.05.2015	14:00:01	1,5	1,32	84,51	30,84	49,02	0,00	54,39
18.05.2015	15:00:01	1,5	1,31	84,44	30,59	49,78	523,04	42,92
18.05.2015	16:00:01	1,5	1,32	84,07	30,06	51,49	266,66	22,66
18.05.2015	17:00:01	1,5	1,34	83,12	28,69	58,42	0,00	0,00
18.05.2015	18:00:01	1,5	1,35	82,51	27,31	63,96	0,00	0,00
18.05.2015	19:00:01	1,5	1,36	82,12	26,43	68,33	0,00	0,00
18.05.2015	20:00:01	1,5	1,37	81,83	25,83	72,88	0,00	0,00
18.05.2015	20:59:59	1,5	1,37	81,67	25,29	75,90	0,00	0,00
DADOS RECEPTOR DO TIPO 3 – RESIDENCIAL ESPACE CONDIÇÃO ESTAÇÃO QUENTE E ÚMIDA								

5.3 Validação do Modelo Teórico ENVI-met : Análise dos índices estatísticos RMSE e MBE

Os resultados obtidos através da simulação computacional apresentaram valores aproximados com os registros obtidos através do levantamento microclimático, demonstrando a adequada resposta do programa ENVI-met para o fornecimento de dados microclimáticos para o perfil de Arapiraca-AL. Observando os gráficos a seguir (figuras 5.11 a 5.18) é possível constatar que o comportamento higró-térmico avaliado a partir dos valores estimados/simulados e os valores medidos é correspondente e similar tanto para a análise da temperatura do ar, como também, da umidade relativa do ar.

Figura 5.11: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVI-met – avaliação dos dados horários estimados de temperatura do ar (°C) – tecido urbano Tipo 1(Bairro Brasília), período quente e seco.

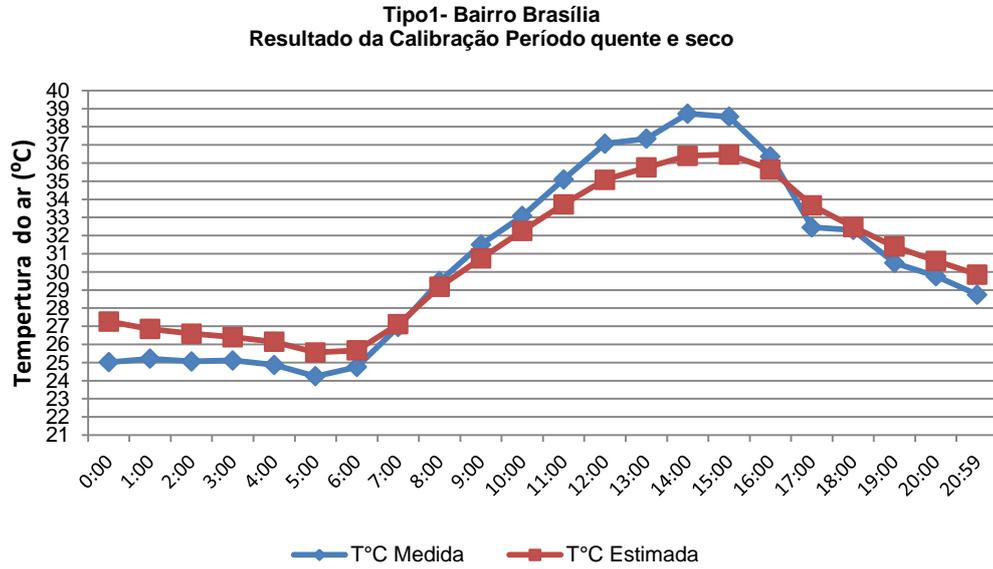


Figura 5.12: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVI-met – avaliação dos dados horários estimados de umidade relativa do ar (%) – tecido urbano Tipo 1(Bairro Brasília), período quente e seco.

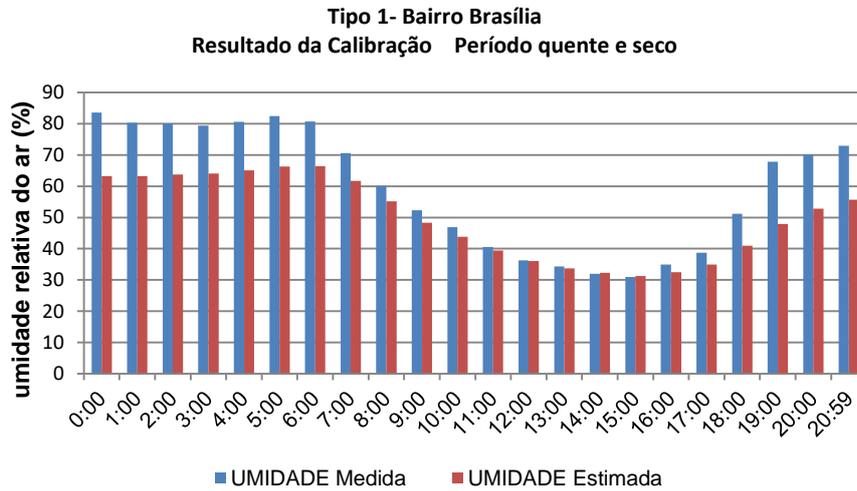


Figura 5.13: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVImet – avaliação dos dados horários estimados de temperatura do ar (°C) – tecido urbano Tipo 2 (Novo Horizonte), período quente e seco.

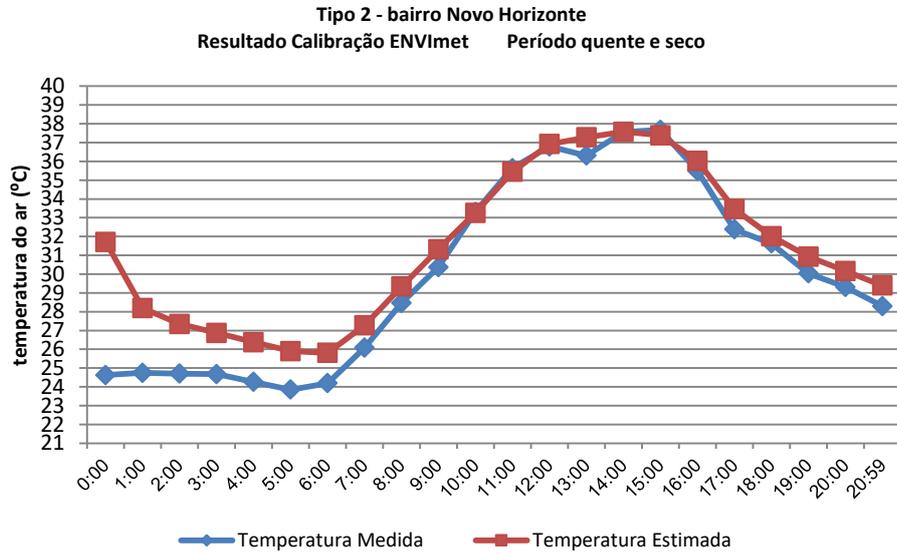


Figura 5.14: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVImet – avaliação dos dados horários estimados de umidade relativa do ar (%) – tecido urbano Tipo 2 (Novo Horizonte), período quente e seco.

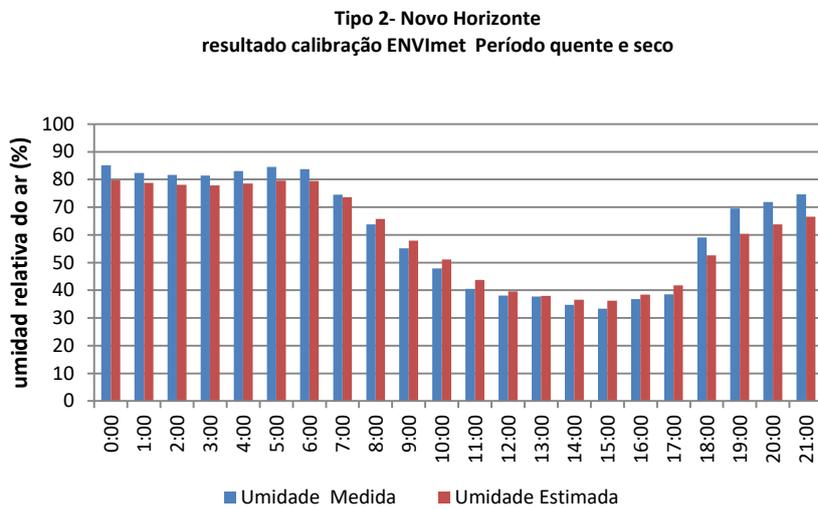


Figura 5.15: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVImet – avaliação dos dados horários estimados de temperatura do ar (°C) – tecido urbano Tipo 3 (Novo Horizonte), período quente e seco.

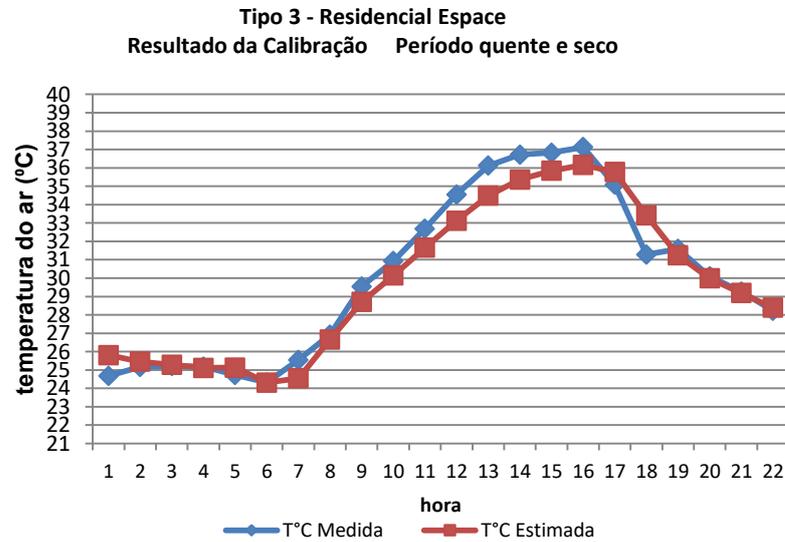


Figura 5.16: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVImet – avaliação dos dados horários estimados de umidade relativa do ar (%) – tecido urbano Tipo 3 (Novo Horizonte), período quente e seco.

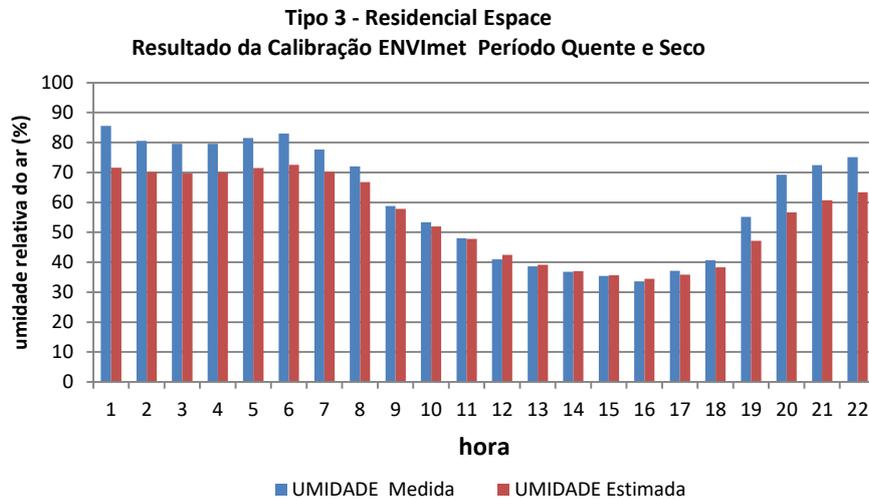


Figura 5.17: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVImet – avaliação dos dados horários estimados de temperatura do ar (°C) – tecido urbano Tipo 4 (Bairro Canafístula), período quente e seco.

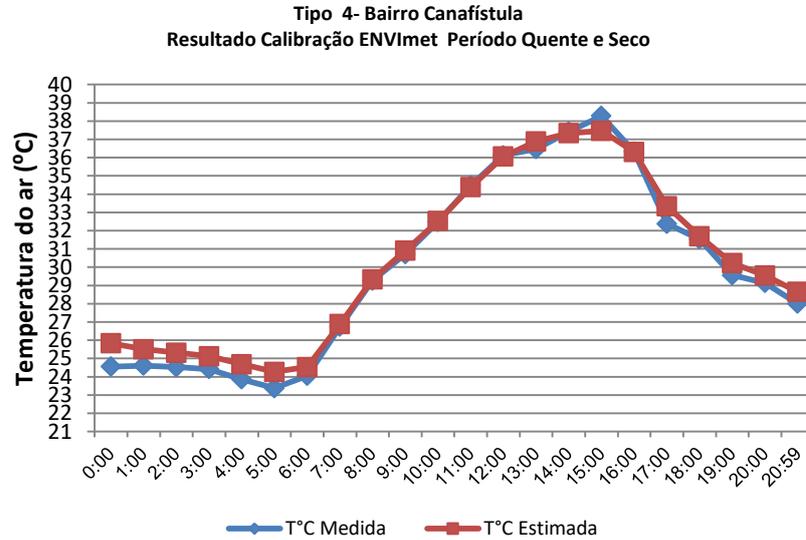
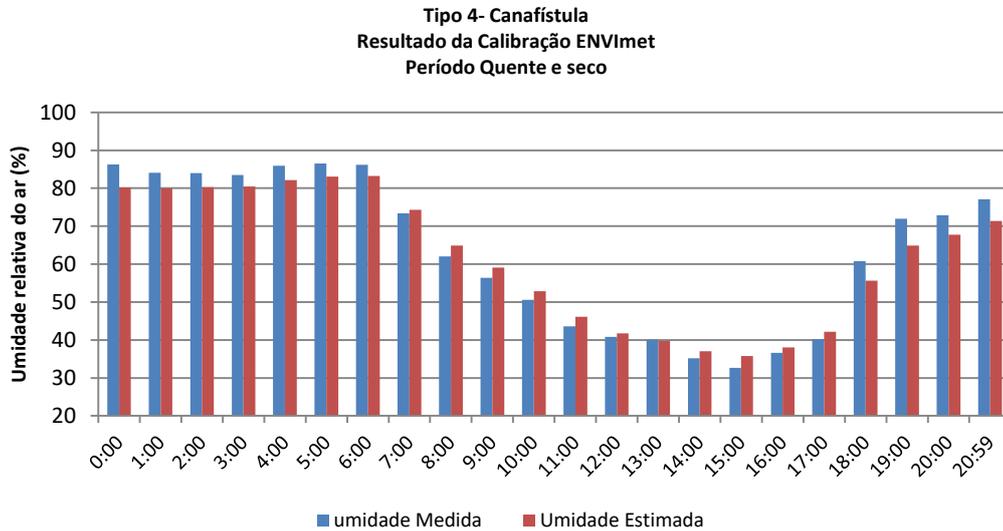


Figura 5.18: Gráfico referente ao resultado da calibração do modelo ENVImet – avaliação dos dados horários estimados de umidade relativa do ar (%) – tecido urbano Tipo 4 (Bairro Canafístula), período quente e seco.



Assim, a identificação dos valores de MBE e RSME confirmam a validação do modelo micrometeorológico para estudos sobre o impacto de estruturas urbanas no desempenho climático de cidades de clima composto como Arapiraca-AL (ver tabelas 1 a 10 - apêndice B). Esses indicativos são adotados e recomendados por outros estudos relacionados com a investigação e análise de variáveis climáticas para avaliar a capacidade de modelos

numéricos preditivos em processos de calibração (BERTAGNOLIO; LEMORT, 2010; VANESSA, 2014, ROSSETI et al, 2014).

Foram avaliados, os valores de MBE e RSME referentes aos resultados das simulações de todos os tipos de tecidos urbanos, selecionados no presente estudo, em relação ao comportamento da temperatura do ar e umidade relativa do ar, no período quente e seco (dia representativo 03/01/2016) . Foram observados também os valores referentes ao período quente e úmido (dia representativo 18/04/2016), analisando-se a simulação computacional do tecido urbano tipo 3 – Residencial Espace. A escolha pela priorização da avaliação de simulações correspondentes ao período quente e seco ocorreu em virtude das condições extremas climáticas observadas a partir do monitoramento microclimático comentadas no capítulo 4.

O desvio das médias MBE (*Mean Bias Error*) é um indicativo que fornece informação no desempenho de um modelo a longo prazo. Um valor positivo indica uma superestimação, pelo modelo. Para um valor negativo, ocorre o inverso. Quanto menor seu valor absoluto, melhor é sua performance. Para os dados de temperatura do ar, os valores do MBE variaram entre -0,646 a 0,279 (tabela 5.6) sendo, portanto, um resultado satisfatório para a validação do modelo. Para os dados de umidade relativa do ar os valores identificados para MBE estão entre os intervalos de 1,82 a 9,43 (tabela 5.7), que também, pode ser considerado satisfatório, visto que a escala de variação da umidade é elevada (entre 30% e 75%).

A raiz quadrada do desvio quadrático médio RMSE (*Root Mean Square Error*) fornece informação quanto ao desempenho do modelo a curto prazo. Quanto menor seu valor, menor a dispersão dos dados em torno do modelo. Os valores deste indicativo serão sempre positivos. A desvantagem oferecida por este indicativo é que a ocorrência de alguns poucos valores discrepantes contribui diretamente para um aumento significativo no seu valor. Os valores registrados para RMSE a partir dos dados de temperatura do ar variaram entre 0,61°C a 1,35°C, e para umidade relativa a variação foi entre 4,51% a 11,96%.

Tabela 5.6: Resultado referente aos indicadores estatísticos MBE e RSME a partir da calibração do modelo ENVImet – dados de temperatura do ar (°C).

Período quente e seco: simulação referente ao dia 03/01/2016 – TEMPERATURA DO AR		
Tipologia Espacial	MBE	RSME
Tipologia 1 – Bairro Brasília	-0,116	1,35
Tipologia 2- Bairro Novo Horizonte	-0,646	0,95
Tipologia 3 – Residencial Espace	0,270	0,92
Tipologia 4 – Bairro Canafístula	-0,386	0,61
Período quente e úmido: simulação referente ao dia 18/04/2016		
Tipologia 3- Residencial Espace	0,029	0,67

Tabela 5.7: Resultado referente aos indicadores estatísticos MBE e RSME a partir da calibração do modelo ENVI-met – dados de umidade relativa do ar (°C)

Período quente e seco: simulação referente ao dia 03/01/2016 – UMIDADE RELATIVA		
Tipologia Espacial	MBE	RSME
Tipologia 1 – Bairro Brasília	9,43	11,96
Tipologia 2- Bairro Novo Horizonte	1,82	4,51
Tipologia 3 – Residencial Espace	5,11	7,26
Tipologia 4 – Bairro Canafistula	1,36	3,66
Período quente e úmido: simulação referente ao dia 18/04/2016		
Tipologia 3- Residencial Espace	5,14	7,40

Os resultados alcançados nesta avaliação de calibração são condizentes com outras pesquisas, como os estudos realizados em Singapura, de clima quente e úmido, realizado por Lim Huimin Vanessa (2014) na avaliação sobre o efeito da densidade construída no microclima urbano em bairro de baixa densidade, utilizando-se medidas de temperatura do ar coletadas a 2m do solo. Neste estudo, Vanessa (2014) avaliou dados simulados no ENVI-met obtendo valores de RMSE entre 1,11°C e 1,41°C para a temperatura do ar em período de transição de monção seca. Já na estação úmida o modelo respondeu com mais eficiência, pois, os valores de RMSE foram inferiores aos identificados no período seco. O mesmo comportamento foi observado no estudo de calibração do ENVI-met para as condições climáticas de Arapiraca-AL, pois o valor de RSME, obtido a partir da simulação do tecido urbano Tipo 3 – Residencial Espace, para temperatura de ar, foi igual a 0,67°C e MBE foi igual a 0,029, demonstrando a confiabilidade dos resultados gerados pelo modelo.

Desta forma, a partir da calibração do modelo ENVI-met, a pesquisa preditiva foi desenvolvida para o cumprimento do objetivo principal do estudo referente à análise de correlação dos parâmetros urbanísticos e o comportamento das variáveis climáticas no ambiente urbano. Serão comentados, a seguir, as principais informações referentes aos parâmetros avaliados e quantificados para análise dos cenários hipotéticos elaborados, como também, os resultados referentes às simulações computacionais dos mesmos. A partir disso, foi realizado um estudo estatístico para subsidiar a avaliações de desempenho climático, considerando as variáveis estudadas.

5.4 Parâmetros urbanísticos: análise sobre a influência no desempenho climático de recintos urbanos

Os parâmetros urbanísticos são índices²⁷ que fornecem referenciais para intervenções relacionadas às construções no espaço urbano, incluindo uso e ocupação do solo, e que são aplicáveis no desenvolvimento de projetos arquitetônicos ou ainda, em processos de regularização e gerenciamento do ambiente construído. Como estão diretamente relacionados com o processo de ordenamento e ocupação urbana e definidos através da legislação urbanística municipal, os parâmetros urbanísticos constituem importantes instrumentos para o estímulo e definição dos padrões de forma urbana, como também, da densidade construtiva e populacional urbana. Os denominados parâmetros tradicionais correspondem aos índices comumente utilizados pelos órgãos públicos municipais para a aprovação e regularização dos projetos arquitetônicos e urbanos, tais como: taxa de ocupação do lote, coeficiente de aproveitamento do lote e recuos.

Conforme a discussão apresentada no Capítulo 2, a importância destes instrumentos na determinação dos padrões morfológicos de tecidos urbanos e na densidade construtiva urbana, fundamentou as principais hipóteses e objetivos da presente pesquisa. Desta forma, entende-se que um estudo sobre a relação entre a forma e a densidade urbana pode apontar critérios de desempenho ambiental qualitativos e quantitativos que possam subsidiar políticas públicas e decisões de projeto urbano, subsidiando o processo de planejamento, o desenho urbano e o projeto arquitetônico.

Para a presente pesquisa, o objeto empírico estudado, a cidade de Arapiraca, corresponde apenas a um ponto de partida para identificação dos principais condicionantes de ocupação urbana que apresentam interferência direta no desempenho climático de estruturas urbanas, sendo estes condicionantes representados pela quantificação dos parâmetros urbanísticos, já que os mesmos definem os padrões morfológicos dos tecidos urbanos. Estes parâmetros subsidiam a caracterização física espacial destes tecidos. Os resultados alcançados podem ser aplicados a realidades climáticas semelhantes, por isso, o estudo do perfil climático de Arapiraca foi fundamental para delimitação deste universo físico-ambiental. Porém, independente da aproximação climática para possibilidade de futuras aplicações, esta pesquisa pretende alertar sobre a necessidade de análise de parâmetros ainda não contemplados no processo de planejamento urbano e que podem ser fundamentais no entendimento do desempenho climático de estruturas urbanas. Este entendimento quando integrado aos processos de planejamento poderá ser significativamente importante para a qualificação do desenho urbano, com enfoque nos condicionantes bioclimáticos.

Já que a princípio e, em teoria, o estabelecimento de parâmetros urbanísticos visa favorecer o controle para ocupação urbana caracterizada pelas condições ambientais mínimas, permitindo a salubridade urbana e protegendo as relações ambientais de vizinhança e a qualidade de vida local, são estes instrumentos que devem ser analisados e revisados para otimizar o desempenho climático urbano, principalmente diante das demandas

²⁷ Segundo a NBR 6505/1994 os índices urbanísticos são expressões matemáticas de relações entre grandezas físicas e as socioeconômicas, bem como, entre grandezas físicas para fins urbanísticos.

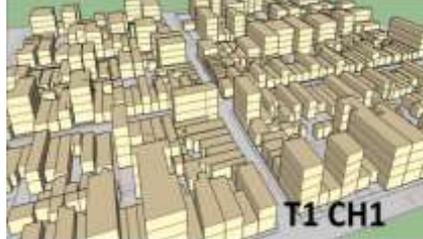
contemporâneas ligadas aos aspectos integrados de conforto térmico e de desempenho climático de estruturas urbanas.

Brandão (2009) aplicou diversos modelos climáticos e outro desenvolvido pelo autor para um estudo de caso, com o objetivo de avaliar a relação entre os resultados ambientais e a ocupação da área urbana. Sua pesquisa partiu da hipótese de que a ocupação urbana pode ser descrita somente através dos parâmetros que são mais frequentemente utilizados no planejamento urbano (taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento e recuos), afirmando primeiramente que estes são suficientes para que se determine a ambiência térmica de um determinado espaço urbano. O sentido de determinar, neste estudo, estava atrelado ao objetivo da pesquisa correspondente à elaboração de um modelo preditivo (equação preditiva elaborada a partir da análise de regressão utilizando-se dados climáticos e dados de ocupação do solo, coletados a partir do objeto empírico escolhido). Porém, sua hipótese foi refutada e a importância da respectiva pesquisa, realizada a partir da análise empírica, no distrito de Moema, São Paulo -SP, e de modelos analíticos de clima urbano e simulações computacionais, foi revelar que os parâmetros tradicionais de planejamento urbano não são suficientes para determinar a ambiência térmica urbana. A respectiva pesquisa buscou fornecer uma metodologia de avaliação da ambiência térmica a partir do desenvolvimento de um modelo para explicar a relação entre as variáveis ambientais e os parâmetros de ocupação urbana. O estudo destacou a importância de parâmetros não utilizados nas legislações urbanísticas como o índice de compactidade urbana na definição da ambiência térmica e energética dos espaços estudados.

É importante ressaltar, como serão discutidos a seguir, que diferentes padrões morfológicos podem responder a um mesmo padrão de densidade construtiva e populacional, com diferentes configurações de espaços abertos, condições microclimáticas e distribuições de usos. Os parâmetros urbanísticos tradicionais se referem exclusivamente à caracterização do edifício em relação ao lote, ou seja, embora apresentem influência na morfologia geral de recintos urbanos, são estabelecidos para tratar o edifício de maneira isolada. Já os parâmetros urbanísticos avançados apresentam-se para análise geral do tecido, extrapolando a escala do edifício e podem, como no presente estudo, corresponder à caracterização de uma quadra ou conjunto de quadras.

Para compreensão dos resultados deste estudo, serão discutidos, previamente, os aspectos conceituais referentes aos parâmetros urbanísticos abordados para a análise dos tecidos urbanos monitorados e dos cenários hipotéticos simulados. A partir da fundamentação teórica, baseada nos estudos de climatologia urbana, serão comentadas, a partir de alguns exemplos, as possíveis influências sobre o desempenho ambiental da estrutura urbana e sobre o aproveitamento, ou não, dos condicionantes bioclimáticos. Nos quadros a seguir (5.3 a 5.14) são apresentados os conceitos e informações para a quantificação dos parâmetros urbanísticos analisados para a avaliação do desempenho climáticos dos tecidos e cenários hipotéticos deste estudo.

Quadro 5.3: Informações sobre o parâmetro *recuos* e sua importância bioclimática.

1. RECUOS OU AFASTAMENTOS	
<p>CONCEITO</p>	<p>Correspondem à distância mínima em relação aos limites do lote a partir da qual se pode edificar. Os valores referentes a estas distâncias (identificadas em metros) podem ser fixos para cada tipo de face do lote (reco frontal, recuos laterais, recuo de fundo) ou podem ser progressivos, ou seja, podem apresentar variação de acordo com a altura da edificação. Unidade de medida: m (metros)</p>
<p>ILUSTRAÇÃO</p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  <p>EDIFICAÇÃO SEM RECUOS</p> <p>EDIFICAÇÃO COM TODOS OS RECUOS</p> </div> <div style="flex: 1; padding-left: 20px;"> <p>Reco Médio do lote:</p> <p>$Nr = 4$ recuos</p> <p>$\sum Recuos\ i = 8,43 + 12,11 + 10,32 + 9,63$</p> <p>$\sum Recuos\ i = 40,49m$</p> <p>$Rm = 40,49/4$</p> <p>$Rm = 10,12m$</p> </div> </div>
<p>COMO CALCULAR</p>	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>Reco Médio (Rm)</p> $Rm = \frac{\sum recuos\ i}{Nr}$ <p>Nr: número total de recuos (m)</p> <p>Recuos i: somatório de recuos do edifício i (m)</p> </div> <div style="flex: 1; padding-left: 20px;"> <p><i>Exemplo:</i></p> <p>Calculo considerando o Rm da malha urbana.</p> <p>Malha: T1 CH1:</p> <p>Nr = 360 (número de recuos da quadra)</p> <p>Recuos $i = 540m$ (somatório dos recuos da quadra)</p> $Rm = \frac{540}{360}$ <p>$Rm = 1,5m$</p> </div> </div>
<p>IMPORTÂNCIA</p>	<div style="display: flex;"> <div style="flex: 1;"> <p>Os recuos contribuem para o acesso à radiação solar e à ventilação natural no interior da edificação. Porém, não existem especificações quanto à orientação do lote e da construção, nem em relação à topografia. Os afastamentos, principalmente os laterais são aplicados para garantir a salubridade das edificações, pois, dependendo da distribuição interna dos ambientes, as janelas serão posicionadas nas fachadas laterais e ambientes mal ventilados e mal iluminados, ou sem ventilação, tornam-se propícios ao surgimento de fungos (principal causa doenças respiratórias). O afastamento lateral também garante a segurança da edificação, em caso de incêndio, evitando a rápida propagação do fogo de uma edificação para outra. O mesmo ocorre no caso de necessidade de demolição, pois não ocorrerá interferência entre diferentes estruturas</p> </div> <div style="flex: 1; text-align: right;">  <p>T1 CH1</p> <p>No cenário hipotético T1CH1, as edificações apresentam-se em lotes estreitos com recuos reduzidos, pois a maioria está implantada de modo geminado, semelhante a atual ocupação do bairro Brasília, em Arapiraca-AL.</p> </div> </div>

Quando a ventilação natural for identificada como estratégia bioclimática para adequação de arranjos construtivos urbanos, o estabelecimento de recuos é indispensável. Além de favorecer a qualidade ambiental dos edifícios, os recuos são fundamentais para garantir a distribuição das massas de ar nos tecidos urbanos, contribuindo para efetivar a aplicação da estratégia na escala urbana. Quanto maior o afastamento do edifício em relação ao lote, maior a possibilidade de aproveitamento das massas de ar e da radiação solar (para fins de aproveitamento da iluminação natural) na escala do edifício e na escala urbana.

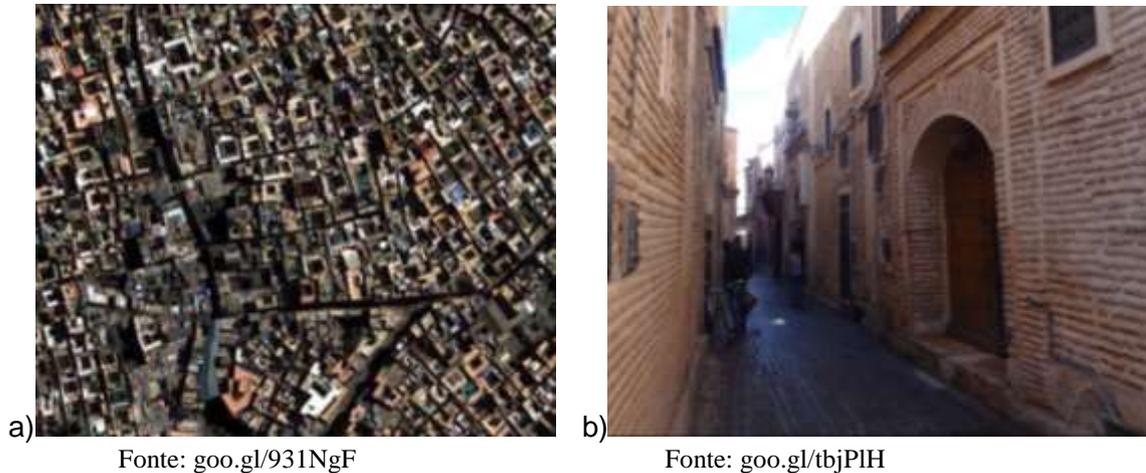
Porém, como foi abordado no capítulo 2, a otimização da distribuição das massas de ar depende, também, da orientação da edificação e do conjunto edificado em relação aos ventos predominantes locais e da geometria deste conjunto. Ou seja, a simples definição de distanciamento entre edificação e lote não garante o satisfatório desempenho climático do ambiente urbano e do edifício.

Além disso, o que tem sido constatado na maioria dos códigos de edificações dos centros urbanos brasileiros é o estabelecimento de recuos mínimos (geralmente 1,5m para recuos laterais em áreas de média e baixa densidade construtiva), comumente insuficientes para proporcionar uma satisfatória distribuição das massas de ar, comprometendo o aproveitamento da estratégia bioclimática e, conseqüentemente, prejudicando a dissipação do aquecimento térmico produzido na estrutura urbana. Este fato tem ocorrido devido à própria dinâmica urbana e pressão do mercado imobiliário quanto à utilização excessiva do solo urbano para fins lucrativos.

Quando a ventilação natural não for desejada (devido às solicitações climáticas como, ocorrência de massas de ar com temperaturas muito elevadas ou muito reduzidas ao longo do ano), o estabelecimento dos recuos pode ser dispensado para favorecer o desvio das massas de ar em relação ao conjunto edificado, otimizando as condições de conforto térmico local.

Como exemplo de adaptação climática de regiões de clima semiárido, com temperaturas extremamente elevadas durante o dia (mais de 40°C) e reduzidas durante a noite (entre 6°C e 10°C, no período de inverno), a inércia térmica do conjunto edificado corresponde a principal estratégia bioclimática. Esta estratégia é alcançada a partir de um conjunto edificado compacto (ruas estreitas para evitar a incidência direta da radiação solar durante o dia e a penetração dos ventos quentes) e edificações de paredes espessas (para retardar a passagem do calor externo), sendo marcante a presença de pátios internos (para contato com área externa de microclima diferenciado devido ao uso de vegetação e fontes para incrementar a umidade e reduzir a temperatura do ar) (figura 5.19).

Figura 5.19: a) Vista aérea do bairro de Medina, Marraquexe, Marrocos (visão dos pátios internos); b) vista de uma rua no distrito de Rahba Kdima, Marraquexe (sombreamento a partir da aproximação das edificações).



Em regiões de clima quente e úmido, a ausência de recuos pode comprometer o aproveitamento da estratégia bioclimática: ventilação natural, afetando, conseqüentemente, as condições de conforto térmico na escala urbana e dos espaços internos dos edifícios. Isso porque o conjunto edificado não apresentará potencial para a distribuição das massas de ar nas duas escalas. Em Copacabana, a presença de edifícios sem afastamentos laterais nas primeiras quadras da orla marítima, representa uma barreira para a distribuição das brisas e massa de ar. Apesar do sombreamento das vias, a dissipação do calor antropogênico do tecido urbano torna-se prejudicada (figura 5.20).

Figura 5.20: Edificações em Copacabana-RJ: ausência de recuos, na primeira quadra, segunda quadra, respectivamente e esquema representando o efeito barreira para ventilação natural.



Fotos: Simone Torres (2013)

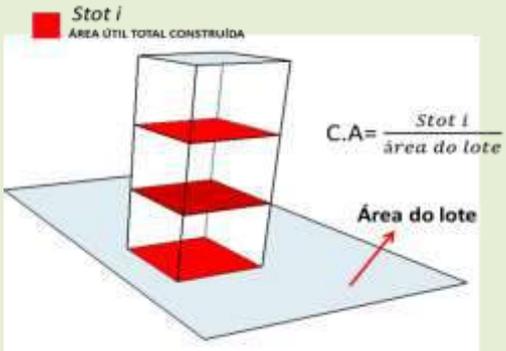
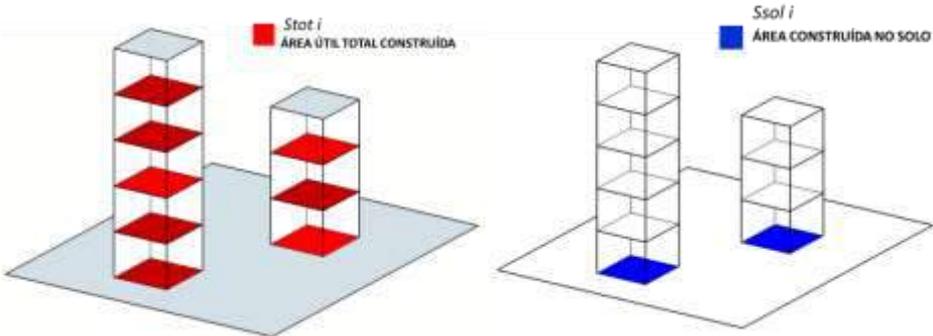
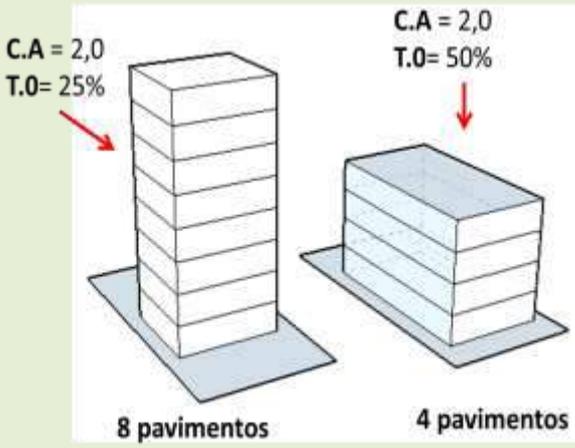
Quadro 5.4: Informações sobre o parâmetro *taxa de ocupação* e sua importância bioclimática.

2. TAXA DE OCUPAÇÃO (T.O)	
CONCEITO	<p>A taxa de ocupação corresponde à relação direta entre área da projeção horizontal das edificações e a área total do terreno em que elas se situam. Este parâmetro não especifica a densidade construtiva, nem a forma do conjunto edificado.</p> <p>Unidade de medida: (-) ou %.</p>
ILUSTRAÇÃO	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> </div> <div style="text-align: center;"> <p>No cenário hipotético T2CH2, a ocupação é dispersa e a taxa de ocupação do solo é mínima (8,2%), devido à presença de construções verticalizadas determinadas pela presença de grandes recuos.</p> </div> </div>
COMO CALCULAR	<p><i>Taxa de ocupação (T.O)</i></p> $T.O = \frac{\sum iSsoli}{S}$ <p><i>S</i> = área total do terreno ou malha urbana; <i>Ssoli</i>: área construída no solo (projeção horizontal das edificações).</p> <p><i>Exemplo: Cálculo considerando a malha do cenário hipotético T2 CH2</i></p> $S = 8929,8m^2$ $Ssoli = 108900m^2$ $T.O = \frac{8929,8}{108900}$ <p>T.O=0,082 ou T.O =8,2%</p>
IMPORTÂNCIA	<p>Em conjunto com o estabelecimento dos recuos mínimos, a taxa de ocupação máxima definida através dos códigos de edificação municipais (em concordância com a lei de zoneamento urbano de cada localidade) determina os espaços abertos do tecido urbano. Os espaços abertos correspondem aos espaços não construídos com potencial para aproveitamento das massas de ar locais e implantação de solo permeável e vegetação.</p> <p>Estes espaços são fundamentais para a implementação de algumas estratégias bioclimáticas, principalmente em regiões tropicais. Porém, como estes dois parâmetros não determinam a densidade construída nem a forma urbana, não são suficientes para qualificação, quanto ao desempenho climático urbano. Mesmo assim, é importante destacar que, quanto maior a taxa de ocupação do lote urbano, ou seja, acima de 50%, o grau de obstrução do arranjo construtivo, quanto à incidência dos ventos predominantes e quanto à radiação solar, será maior. Este índice pode ser identificado em valores percentuais ou por um valor relativo (0,0 a 1,00) obtido a partir da razão entre a área de projeção da edificação (em m²) e a área do lote (em m²).</p>

Quadro 5.5: Informações sobre o parâmetro *altura média* e sua importância bioclimática.

<p>3. GABARITO E ALTURA MÉDIA (Hm)</p>	
<p>CONCEITO</p>	<p>O gabarito corresponde ao limite de altura máxima permitida para a construção do edifício (pode ser especificada em metros ou através do estabelecimento do número máximo de pavimentos). Em alguns casos pode ser calculada pela distância entre o pavimento térreo e o nível da cobertura, excluídos o ático, as casas de máquinas e a caixa d'água. Na respectiva pesquisa este parâmetro foi calculado como <i>Altura Média</i> (verticalidade do recinto). Na maioria dos casos, a combinação entre taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento do lote indica a tendência de altura máxima da zona urbana.</p> <div data-bbox="1043 383 1422 741" style="text-align: center;"> <p>7 PAVIMENTOS 21m</p> </div> <p>Unidade de medida: (m) metros ou número de pavimentos</p>
<p>ILUSTRAÇÃO</p>	<div data-bbox="293 869 975 1285" style="text-align: center;"> <p>Ssol i ÁREA CONSTRUÍDA NO SOLO Altura média 48m 24m 16m 28m</p> </div> <p>Para análise de recintos urbanos:</p> <p>No presente estudo foi utilizado o parâmetro <i>Altura Média (Hm)</i> que corresponde a altura das edificações ponderada pela área ocupada no solo.</p>
<p>COMO CALCULAR</p>	<p><i>Altura Média (Hm)</i></p> $Hm = \frac{\sum i (h edf i \times S sol i)}{S sol tot}$ <p><i>h edf i</i> = altura do edifício <i>i</i> <i>Ssol i</i> = área construída no solo do edifício (área total de projeção no solo das edificações do tecido urbano) <i>Ssol tot</i> = área total construída na malha</p> <p><i>Exemplo: Cálculo considerando a malha do cenário T3 CH2:</i></p> <p>Possui edificações de 7 pavimentos (21m) e edificações de 17 pavimentos (54m)</p> $Hm = \frac{(21 \times 3060) + (54 \times 1530)}{4590}$ <p>Hm = 32m</p>
<p>IMPORTÂNCIA</p>	<p>É normalmente estabelecido por razões de composição urbana, tráfego aéreo ou marítimo etc. Deve ser pensado para fins de interferência também quanto ao aproveitamento da radiação solar direta e iluminação natural, pois edifícios altos ocasionam sombreamento dos recintos urbanos podendo interferir no uso e conforto destes espaços. Um exemplo da inferência negativa de elevado gabarito corresponde ao sombreamento excessivo de praias urbanas. Além disso, em algumas legislações, não há o estabelecimento do gabarito, ou seja não há limite de altura para as construções.</p>

Quadro 5.6: Informações sobre o parâmetro *coeficiente de aproveitamento* e sua importância bioclimática.

4. COEFICIENTE DE APROVEITAMENTO (C.A)	
<p>CONCEITO</p>	<p>Corresponde à relação direta entre a área construída total do edifício (somatória das áreas de todos os pavimentos) e a área total do terreno em que a edificação se situa. Nos códigos de urbanismo/edificações municipais é o fator, que multiplicado pela área do terreno, define a área útil máxima que pode ser construída no lote urbano.</p> <p>Unidade de medida: (-)</p> 
<p>ILUSTRAÇÃO</p>	<p><i>Para avaliação de recintos urbanos adotar as seguintes variáveis :</i></p> 
<p>COMO CALCULAR</p>	<p><i>C.A. da malha urbana:</i></p> $C.A. = \frac{Stot\ i}{Ssol\ i}$ <p><i>Stot i</i> = área útil total construída no solo <i>i</i> (m²); <i>Ssol i</i> = área construída no solo <i>i</i> (projeção horizontal das edificações no solo em m²)</p> <p><i>Exemplo:</i></p> <p><i>Cálculo do C.A. da malha da Tipologia T3CH2</i></p> <p><i>Stot i: 42.840m²</i> <i>Ssol i: 4.590m²</i></p> $C.A. = \frac{4.2840}{4.590}$ <p><i>C.A.=9,33</i></p>
<p>IMPORTÂNCIA</p>	<p>Este é um índice diretamente ligado à densidade construtiva de uma área urbana, porém não determina a configuração/ forma do tecido urbano. Baixos coeficientes de aproveitamento representam uma restrição quanto à verticalização, mas é possível verticalizar quando associado à baixa taxa de ocupação do solo. Para um mesmo coeficiente de aproveitamento e taxas de ocupação diferenciadas nos lotes, a verticalização conseqüentemente será distinta.</p> 

Para explicitar a influência dos parâmetros urbanísticos no estímulo aos padrões morfológicos urbanos (configuração dos conjuntos edificados), pode-se citar, brevemente, como exemplo, possíveis casos de saturação de recintos quanto ao uso dos limites máximos destes parâmetros.

Já que a cidade de Arapiraca-AL, objeto empírico do presente estudo, não regulamentou ainda os parâmetros urbanísticos através de aprovação de legislação complementar ao seu Plano Diretor local, o caso de uma zona urbana especificada no zoneamento de Maceió-AL será comentado a seguir.

Segundo as diretrizes do Plano Diretor de Maceió (MACEIÓ, 2007) para a *Macrozona de Expansão Urbana* da cidade, deve ser estimulada a ocupação dos vazios urbanos, apontada para o alcance da sustentabilidade urbana, como estratégia para evitar o espalhamento e a dispersão da malha urbana. Porém, avaliando os parâmetros urbanísticos especificados em legislação complementar, verifica-se o estímulo aos padrões climaticamente inadequados de ocupação do solo, ou seja, padrões que não permitem o alcance das diretrizes de adequação climática local (específicas para clima quente e úmido).

Observando os parâmetros urbanísticos apresentados no quadro 5.7, estabelecidos para o uso residencial 1- *UR1* (quando na gleba ou no lote for implantada uma unidade residencial unifamiliar) e uso residencial -5 –*UR5* (quando na gleba ou lote for implantada uma edificação multifamiliar com três ou mais pavimentos), pode-se estimar os possíveis efeitos quanto às modificações de uma futura saturação da ocupação do solo urbano (figuras 5.21 e 5.22).

Quadro 5.7: Parâmetros Urbanísticos estabelecidos para a Zona Residencial para Usos Distintos em Maceió (AL)

Parâmetros Urbanísticos previstos para a Zona Residencial 2 – ZR-2 MACROZONA DE EXPANSÃO URBANA DE MACEIÓ	
Para o Uso Residencial 1 - UR1 (edificação multifamiliar com três ou mais pavimentos):	
Taxa de Ocupação Máxima do Terreno: 90%	
Altura máxima das edificações: 2 pavimentos	
Coeficiente de Aproveitamento do terreno: 1,5	
Recuo Frontal: 3m	
Recuo Lateral – não especifica	
Para o Uso Residencial 5 – UR5 (edificação multifamiliar com três ou mais pavimentos):	
Taxa de Ocupação Máxima do Terreno: 60%	
Altura máxima das edificações: 9 pavimentos	
Coeficiente de Aproveitamento do terreno: 4	
Recuo Frontal: $3 + n-2/2$	n= nº de pavimentos
Recuo Lateral: $1,5 + n-2/2$	n= nº de pavimentos

Fonte: Prefeitura Municipal de Maceió: dados retirados do Plano Diretor de Maceió (2007)

Aplicando-se o uso dos parâmetros máximos estabelecidos para o UR-1 e UR-5 na *Macrozona de Expansão Urbana* verifica-se que os padrões de ocupação do solo urbano serão desfavoráveis ao aproveitamento dos condicionantes naturais, prejudicando o desempenho termo energético destas estruturas urbanas (figura 5.21). Entre os efeitos indesejados em relação à qualidade climática local, os principais são:

Figura 5.21: Saturação do solo urbano segundo parâmetros de ocupação máxima prevista para o UR-1 na ZR-2 (Macrozona de Expansão Urbana de Maceió).



Fonte: elaborado pela autora

Para o uso UR-1, que configura um padrão horizontal geminado:

- Canalização dos ventos nas vias, devido à proximidade entre as edificações, decorrente da ausência do estabelecimento de recuos laterais;
- Impossibilidade do aproveitamento dos ventos no nível dos edifícios, pois as massas de ar serão canalizadas apenas nas vias; a estrutura edificada não será capaz de favorecer a penetração dos ventos entre as edificações; o aproveitamento da estratégia bioclimática ventilação natural nas edificações como alternativa para resfriamento e minimização do consumo de energia não será viabilizada;
- Tendência à impermeabilização total dos lotes, gerando acúmulo de calor devido ao elevado volume construtivo, com alta capacidade calorífica e baixa capacidade de resfriamento devido à ausência de elementos para amenização térmica, como solo úmido natural e arborização.

Figura 5.22: Saturação do solo urbano segundo parâmetros de ocupação máxima prevista para o UR-5 na ZR-2 (Macrozona de Expansão Urbana) do município de Maceió -AL



Fonte: elaborado pela autora

Para UR-5, que configura um padrão vertical alto homogêneo:

- Elevada perda de velocidade dos ventos predominantes e formação de grandes áreas de estagnação do ar devido à formação de estrutura verticalizada pouco porosa e de baixa rugosidade(estes parâmetros serão comentados a seguir);
- Impossibilidade de aproveitamento dos ventos predominantes locais no nível do edifício e de iluminação natural devido à redução da exposição da radiação solar entre blocos construídos em proximidade;
- Tendência à formação do fenômeno *ilha de calor* devido à alta capacidade calorífica e baixa capacidade de dissipação de energia térmica acumulada.

Neste sentido, verifica-se a necessidade de incorporação de outras estratégias mais eficientes, que permitam o maior controle sobre o uso e ocupação do solo e que permitam o melhor aproveitamento dos condicionantes naturais para adequação climática de arranjos construtivos urbanos.

A seguir serão comentados os parâmetros denominados como *avançados*. Estes não correspondem a novos instrumentos de planejamento urbano, referem-se apenas aos índices de caracterização do processo de ocupação de tecidos urbanos ainda não contemplados nas legislações urbanísticas atuais do cenário nacional. São, portanto, destacados pelas recentes pesquisas em clima urbano, como importantes indicadores do desempenho climático de estruturas urbanas.

Quadro 5.8: Informações sobre o parâmetro *taxa de solo natural* e sua importância bioclimática.

5. TAXA DE SOLO NATURAL (Tsn) ou TAXA DE PERMEABILIDADE		
CONCEITO	<p>Corresponde a um índice que aponta o percentual mínimo de área do lote que deve apresentar solo permeável (permite a infiltração de água no lote), ou seja, não pode possuir revestimento ou qualquer tipo de construção. Apesar de ser considerado um parâmetro urbanístico tradicional, não é aplicado tão comumente nas legislações municipais como os parâmetros anteriores.</p> <p>Unidade de medida: (-) ou (%)</p>	<p><i>Para avaliação a partir do lote:</i></p> $Tsn = \frac{\text{área total permeável do lote}}{\text{área total do lote}}$
ILUSTRAÇÃO <small>Fonte: goo.gl/XomnGe</small>	<p>30% do terreno permite a infiltração de água no solo Taxa de Permeabilidade = 0.3</p> <p>15% do terreno permite a infiltração de água no solo Taxa de Permeabilidade = 0.15</p> <p>Neste caso, não há possibilidade de infiltração de água no solo, pois o subsolo está edificado. Taxa de Permeabilidade = 0</p>	
COMO CALCULAR	<p>Tsn do recinto urbano:</p> $Tsn = \frac{\sum \text{Sol permeável}}{S}$ <p>S = área total na malha urbana Sol permeável: área total de solo permeável</p>	<p><i>Exemplo:</i></p> <p>Considerando a malha da tipologia T1CH2:</p> <p>S = 60.233,3m² $\sum \text{Sol permeável} = 40.356,11\text{m}^2$</p> <p>$Tsn = \frac{40.356,11}{60.233}$ Tsn = 0,67 ou 67%</p>
IMPORTÂNCIA	<p>Este parâmetro foi criado para evitar a sobrecarga no sistema de drenagem urbana, contribuindo para impedir a ocorrência de enchentes. Quanto à abordagem bioclimática, este parâmetro apresenta alto potencial de otimização do desempenho ambiental urbano, por favorecer a incorporação de vegetação urbana e manutenção do solo natural que contribuem para a minimização do aquecimento urbano. Porém, a aplicação e manutenção deste parâmetro tem sido um desafio para a gestão urbana, pois a fiscalização quanto ao atendimento e permanência da taxa de permeabilidade no lote, após o processo de aprovação de construções urbanas, ainda é precária e, às vezes, inexistente. Existe ainda uma forte tendência de alteração nos percentuais de solo natural, após o processo de regulamentação da construção, devido à ausência e dificuldade de fiscalização dos órgãos municipais de planejamento urbano.</p>	

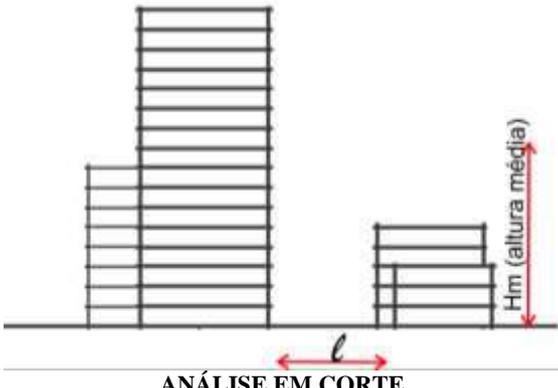
Quadro 5.9: Informações sobre o parâmetro *porosidade da malha* e sua importância bioclimática.

6. POROSIDADE DA MALHA URBANA (PoMa)	
CONCEITO	<p>É expressa pela a relação entre espaços abertos e espaços edificados, correspondendo ao espaçamento entre as edificações e/ou arranjos morfológicos, diversidade de alturas das edificações e índice de fragmentação das áreas construídas que conferem maior ou menor permeabilidade aos ventos do tecido urbano. Na presente pesquisa, a porosidade do tecido urbano foi calculada a partir de uma simplificação do conceito divulgado por Martins, Bonhomme, Aldolphe (2013), quantificando-se a razão entre o volume aberto do tecido urbano (volume total do tecido subtraído pelo volume total de elementos construídos) e o volume total da malha em m³. Para a quantificação do volume construído total e do volume da malha adotou-se a <i>Altura Média (Hm)</i> das construções, enfatizando assim, a interferência da camada limite urbana. Desta forma, a porosidade da malha foi determinada por valores que variaram na escala de 0 a 1,0.</p> <p>Unidade de medida: (-) ou (%)</p>
ILUSTRAÇÃO	
COMO CALCULAR	<p>Porosidade da Malha Urbana (PoMa):</p> $PoMa = \frac{V \text{ tot abe.}}{V \text{ tot malha.}}$ <p><i>V tot aberto</i> = volume total aberto na camada limite urbana <i>V tot malha</i> = volume total da malha urbana.</p> <p><i>Exemplo: Considerando o cenário T1 CH3:</i></p> <p>V tot malha= Área da malha (m²) x <i>Hm</i> (altura média da malha em metros) V tot malha=60.233 x 33,21 V tot malha=2.000.337,93m³</p> <p>V tot aberto= V tot malha - Volume edificado V tot aberto = 2.000.337,93 - 280.047,31 V tot aberto=1720290,62m³</p> <p>PoMa=$\frac{1720290,62}{2000337,93}$ PoMa=0,86</p>
IMPORTÂNCIA	<p>A porosidade urbana é determinada pelos afastamentos entre edifícios, a taxa de ocupação, a existência de espaços vazios e a largura das vias. A diminuição da porosidade da malha urbana (redução de índices que definem afastamentos mínimos) entre o edifício e o limite do lote reduzem a velocidade dos ventos. Quanto menor a porosidade da malha urbana, maior a compacidade do tecido, maior é a redução da radiação solar direta por sombreamento e maior o aumento da radiação difusa, devido às inter-reflexões entre as construções sendo, também, maior a retenção de radiação de onda longa no espaço urbano (BUSTOS ROMERO, 2011, p.12).</p>

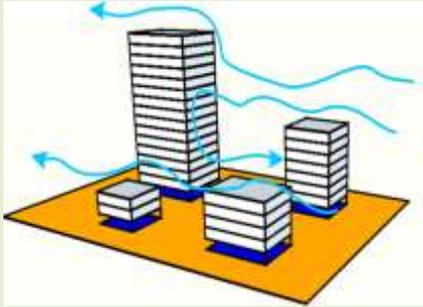
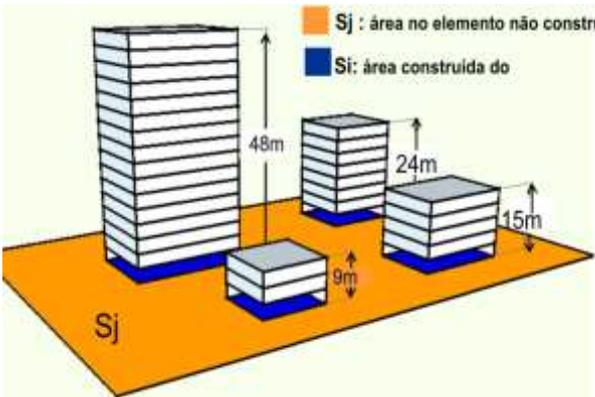
Quadro 5.10: Informações sobre o parâmetro *porosidade do conjunto edificado* e sua importância bioclimática.

<p>7. POROSIDADE DO VOLUME EDIFICADO (Po Vedif)</p>	
<p>CONCEITO</p>	<p>A permeabilidade para inserção das massas de ar também pode ser caracterizada a partir da análise do volume construído. Na presente pesquisa, o parâmetro <i>porosidade do volume edificado</i> (PoVedif) foi quantificado a partir da razão do volume edificado livre (permeável /poroso) pelo volume total edificado na malha urbana. Unidade: (-)</p> <div data-bbox="842 376 1452 689"> </div> <p>Uso do pilotis e de pavimento livre como estratégia para melhorar a distribuição da ventilação no conjunto edificado</p>
<p>ILUSTRAÇÃO</p>	<div data-bbox="276 801 896 1258"> </div> <div data-bbox="938 790 1481 1279"> <p><i>Porosidade do Conjunto Edificado igual a 0:</i></p> <p><i>Porosidade do Conjunto Edificado igual a 0,13:</i></p> </div>
<p>COMO CALCULAR</p>	<p>Porosidade do Conjunto edificado:</p> $PoVedf. = \frac{\sum V_{abe\ edi}}{V_{tot\ const.}}$ <p>$V_{abe\ edif}$ = Volume aberto no edifício i (m³) $V_{tot\ const}$ = Volume total edificado na malha urbana (m³)</p> <p><i>Exemplo:</i> <i>Considerando a malha do cenário T2CH2</i> :</p> <p>$V_{abe\ edif} = 23412\text{m}^3$ $V_{tot\ const} = 127574\text{m}^3$</p> $PoVedf. = \frac{23412}{127574}$ <p>$PoVedf. = 0,183$</p>
<p>IMPORTÂNCIA</p>	<p>Edificações que apresentam volumes abertos, ou seja, espaços vazios para permitir a passagem de ventilação natural como pilotis ou pavimentos livres podem potencializar o aproveitamento da ventilação natural na escala urbana melhorando a distribuição das massas de ar nos recintos urbanos, pois diminuem as barreiras que provocam a redução da velocidade dos ventos (minimizam a perda de energia cinética das massas de ar).</p>

Quadro 5.11: Informações sobre o parâmetro *prospecto médio* e sua importância bioclimática.

8. PROSPECTO MÉDIO (Pm)	
CONCEITO	<p>O prospecto médio corresponde à avaliação do perfil da estrutura urbana, a partir da relação bidimensional entre altura das construções e o distanciamento entre elas. Segundo Martins, Bonhomme, Aldolphe (2013) é um parâmetro que pode ser quantificado a partir da relação da altura média ponderada pela largura da rua. Um elevado prospecto médio é identificado, por exemplo, quando o tecido urbano é constituído por edificações altas, construídas com espaçamentos entre edifícios nunca superiores a 15 m.</p>
ILUSTRAÇÃO	<div style="display: flex; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Na presente pesquisa, o prospecto médio foi calculado para cada cenário a partir da análise geral do tecido, quantificando-se os valores médios por quadra. Como alguns cenários foram caracterizados a partir da ocupação da quadra e não de lotes, o valor de <i>l</i> foi identificado a partir da distância (largura) entre as edificações e não da largura da via.</p> </div> </div>
COMO CALCULAR	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>Prospecto Médio (Pm):</p> $Pm = \frac{Hmed}{l}$ <p><i>Hmed</i> = altura média ponderada dos edifícios na malha <i>l</i> = largura da rua (ou espaçamento entre edificações – análise em corte).</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p><i>Exemplo:</i></p> <p>Considerando a tipologia T1CH1:</p> <p><i>Hmed</i> = 7m <i>l</i> = 7,5m (valor médio calculado a partir da avaliação das quadras).</p> <p>$Pm = \frac{7}{7,5}$ $Pm = 0,93$</p> </div> <div style="width: 10%; text-align: center;">  </div> </div> <p>T1 CH1: Pm= 0,93 classificado como espaço de recolhimento, densidade média.</p>
IMPORTÂNCIA	<p>A relação entre altura e distância entre edificações apresenta forte influência no processo de absorção da radiação solar e da radiação de ondas longas emitida pelas superfícies dos edifícios e do solo, interferindo na redução das perdas de calor, por trocas convectivas e por isso, afeta a temperatura do ar próxima ao solo (OKE, 1981; GIVONI, 1998).</p> <p>Segundo Romero (2011, p.11), o resultado da proporção entre a distância dos prédios e suas alturas possibilita a classificação dos espaços urbanos, do ponto de vista da percepção, em três formas: claustrofóbicos, de recolhimento e expansivos. Quanto maior a densidade do recinto ($l = 1/4 Hmed$ ou inferior), mais longe do solo se dará a absorção da radiação solar. Os espaços claustrofóbicos, em áreas de densidade alta com as proporções $l = 1/8 Hmed$, $l = 1/4 Hmed$ e $l = 1/2 Hmed$, absorvem calor muito acima do nível do solo. Nestes casos, é comum ocorrer um amortecimento do ciclo térmico e, normalmente, a temperatura permanece estável (calor ou frio) durante o dia e só é alterada por um fator extremo. Em espaços de recolhimento, em áreas de densidade média com proporções $l = Hmed$, $l = 2 Hmed$ e $l = 3 Hmed$, a absorção de calor se dá próxima ao nível do solo. Nos espaços expansivos, em áreas de densidade baixa com proporções $l \geq 4 Hmed$, a maior parte da radiação é refletida. A possibilidade de inversão térmica é mínima e a temperatura no interior dos edifícios tende a ser igual à exterior, dada a exposição aos parâmetros meteorológicos a que estão submetidos.</p>

Quadro 5.12: Informações sobre o parâmetro *rugosidade* e sua importância bioclimática.

<p>9. RUGOSIDADE (Rg Ab)</p>	
<p>CONCEITO</p>	<p>A rugosidade é o parâmetro que demonstra a influência da superfície urbana sobre o escoamento dos fluxos de ar. Sabendo que o conceito de rugosidade urbana está relacionado com a identificação de uma maior ou menor fricção entre a superfície urbana e os ventos que a atravessam, foi adotado para análise na presente pesquisa o parâmetro <i>rugosidade absoluta</i> (MARTINS, BONHOMME, ALDOLPHE, 2013) de recintos urbanos que consiste na razão da soma das alturas das edificações ponderadas pelas suas superfícies e pela superfície total do tecido urbano considerado (construído e não construído).</p> <p>Unidade: m (metros)</p> 
<p>ILUSTRAÇÃO</p>	 <p>Rugosidade Absoluta</p> $\sum \text{constr } Si \cdot Hi$ $(532,61 \times 48) + (305,49 \times 24) + (375,51 \times 15) + (239,64 \times 9) =$ $\sum \text{constr } Si \cdot Hi = 40.686,45 \text{ m}^3$ $\sum \text{const. } Si = 532,61 + 305,49 + 375,51 + 239,64 =$ $\sum \text{const. } Si = 1453,25 \text{ m}^2$ $\sum \text{vazio } Sj = 10149,3 \text{ m}^2$
<p>COMO CALCULAR</p>	<p><i>Exemplo: Considerando o tecido apresentado na ilustração.</i></p> $Rg \text{ Ab} = \frac{\sum \text{constr } Si \cdot Hi}{\sum \text{const. } Si + \sum \text{vazio } Sj}$ <p><i>Si</i> = área construída do edifício <i>i</i> <i>Hi</i> – altura do edifício <i>i</i> <i>Sj</i> – área no elemento não construído <i>j</i> (área de espaços livres)</p> $Rg \text{ Ab} = \frac{40686,45}{1453,25 + 10149,3}$ $Rg \text{ Ab} = \frac{40686,45}{11602,55}$ $Rg \text{ Ab} = 3,5 \text{ m}$
<p>IMPORTÂNCIA</p>	<p>A quantificação da rugosidade absoluta integra a diversidade de alturas e a permeabilidade do tecido. Porém, corresponde a uma simplificação do conceito difundido por Oke (1987), Givoni (1998) e Grimmond; Oke (1999). Este parâmetro foi adotado no presente estudo devido às considerações de recentes pesquisas referentes às vantagens da diversidade de alturas dos elementos construídos em climas tropicais. Segundo Bittencourt (1997); Yuan; NG (2012), a diferença de alturas entre edifícios pode otimizar o acesso à luz natural, correspondendo também, em importante estratégia para ventilação em climas tropicais. A variação na altura das edificações facilita o desvio dos fluxos para baixo de massas de ar que atingem os edifícios, favorecendo a circulação do ar na altura dos pedestres. Em espaços com densidade de ocupação elevada, se todos os edifícios tiverem aproximadamente a mesma altura, o nível das coberturas passa a funcionar como se fosse o nível do solo, dificultando a penetração dos ventos na malha urbana à altura do usuário/pedestre e dos pavimentos mais baixos (GIVONI, 1998).</p>

A camada de nível das coberturas (*Urban Canopy Layer –UCL*) abrange a extensão do solo até a altura média dos elementos de rugosidade (ZH – ver figura 1.3, capítulo 2). Nesta camada, os processos de fluxo de ar e troca térmica são controlados pela microescala, no nível dos edifícios e das ruas.

Como foi mencionado no capítulo 1, dependendo da superfície de contato dos fluxos de ar, há uma variação dos perfis verticais quando em condição de estabilidade é neutra. Quanto maior é a rugosidade, menor é o gradiente vertical de velocidade média do vento (figura 1.10, capítulo 2).

A literatura especializada aponta diferentes parâmetros de análise de rugosidade e no ambiente urbano estas variáveis estão relacionadas com a forma, altura, densidade de distribuição dos elementos na superfície, dentre outras variáveis:

Z_0 – identificado como *comprimento de rugosidade*, corresponde à altura a partir do solo (em metros) onde a velocidade do vento é igual a zero. A mensuração deste parâmetro é complexa e ainda não existe um consenso sobre qual o método mais apropriado para a sua determinação, pois seu conceito é fundamentado em um modelo logarítmico de variação de velocidade média do vento em altura (GRIMMOND; OKE 1999; LOPES, 2003; FERREIRA, 2009);

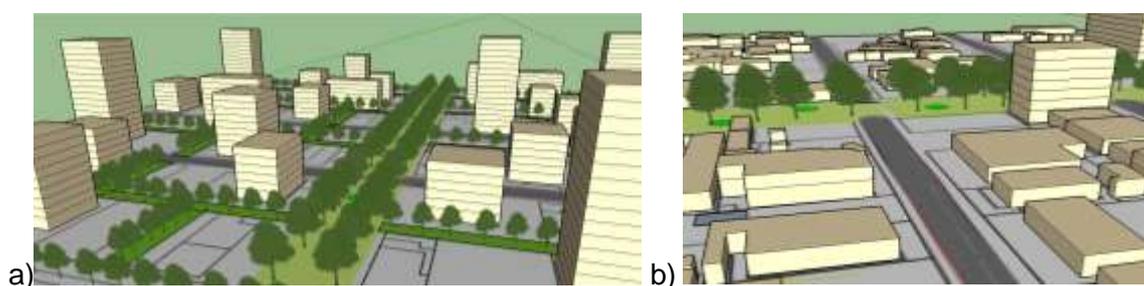
Z_d – corresponde ao deslocamento do fluxo de ar do plano zero;

Z_g – corresponde ao topo da camada limite, altura acima da qual a velocidade média do vento se mantém constante. Em áreas abertas e planas o topo desta camada é inferior à atingida nas zonas rurais. Nas cidades, onde a rugosidade é mais elevada, as forças de atrito só são negligenciáveis a uma altura ainda mais elevada.

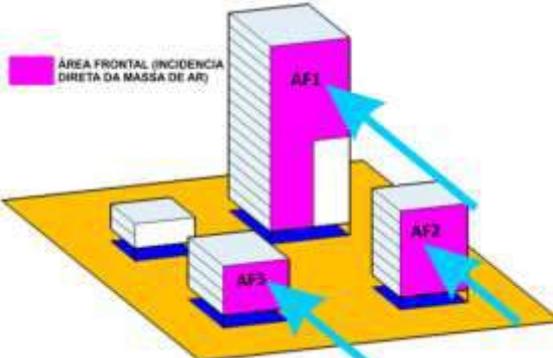
Z_r – denominada como altura da subcamada inercial, onde há uma mescla do efeito individualizado dos obstáculos pela ação dos vórtices de ar turbulentos.

De acordo com o modelo de divisão vertical da camada limite atmosférica urbana proposta por Oke (2006), a análise do parâmetro rugosidade absoluta corresponde à escala microclimática da UCL (*Urban Canopy Layer*), camada de cobertura, incluindo a camada de rugosidade (ZH).

Figura 5.23: Exemplos de cenários com rugosidade absoluta diferenciada. a) cenário T2CH3, rugosidade absoluta igual a 3,0 e b) tecido urbano tipo 2, condição atual, rugosidade absoluta igual a 0,89.

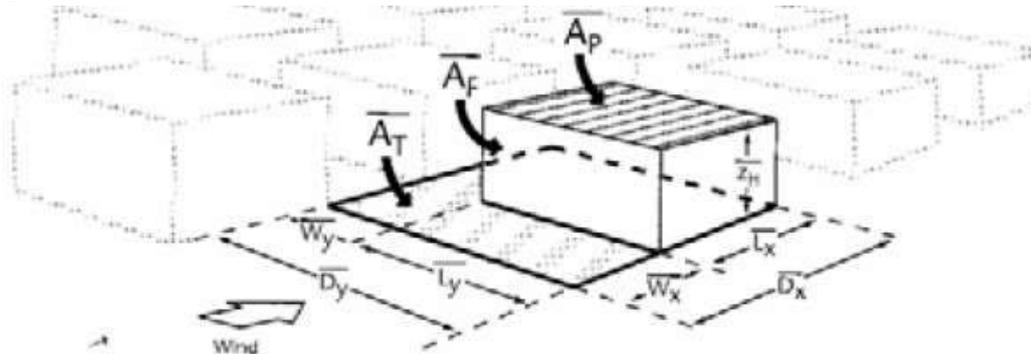


Quadro 5.13: Informações sobre o parâmetro *densidade de área frontal* e sua importância bioclimática.

10. DENSIDADE DE ÁREA FRONTAL (DAF)	
CONCEITO	<p>Um parâmetro para análise de desempenho da ventilação urbana, adotado principalmente em pesquisas em cidades de alta densidade construtiva, como Hong Kong, na China, a <i>densidade de área frontal (DAF)</i>, que corresponde a um índice que identifica o padrão de obstrução médio dos planos verticais urbanos em relação às massas de ar locais a partir de um incremento de altura e direção específica do vento (NG <i>et al.</i>, 2011; CHEN; NG, 2011). Está relacionado com os parâmetros de rugosidade urbana publicados primeiramente por Grimmond e Oke (1999), para análise da morfologia urbana no contexto das cidades da América do Norte. Denominado também como comprimento de rugosidade, o parâmetro DAF pode ser identificado pela razão da área frontal do volume construído (voltado a barlavento) pela unidade de área horizontal por unidade de incremento de altura (YANG; ZHAO; BRUSE; MENG, 2012).</p>
ILUSTRAÇÃO	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;">  <p>Configuração espacial para o algoritmo de cálculo do DAF para um recinto urbano local.</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Cenário T1CH3: densidade de área frontal igual a 0,72 (incidência do vento predominante da direção leste)</p> <p>Cenário T2CH2: densidade de área frontal igual a 0,09 (incidência do vento predominante da direção leste)</p> </div> </div>
COMO CALCULAR	<p>Para o presente estudo, foi adotada a equação para a quantificação simplificada da DAF dos cenários estudados:</p> $DAF = \frac{A(\theta)proj(\Delta z)}{AT \Delta z}$ <p><i>A(θ)proj(Δz)</i> = área (m²) de superfície de construção projetada em um plano normal à direção do vento que se aproxima de um especificado incremento de altura (Δz); <i>AT Δz</i> = área (m²) total do plano do sítio considerando o mesmo incremento de altura (foi adotada a malha mínima de 100m x 100m).</p> <p><i>Exemplo:</i></p> <p>Considerando a condição na ilustração: $AF1 + AF2 + AF3$ <i>A(θ)proj(Δz)</i> = 718,66+396,96+240,3 <i>A(θ)proj(Δz)</i> = 1355,92m²</p> <p>$AT \Delta z = 100 \times 100$ $AT \Delta z = 10.000m^2$</p> <p>$DAF = \frac{1355,92}{10000}$ DAF = 0,13</p>
IMPORTÂNCIA	<p>A quantificação deste parâmetro está diretamente relacionada com o tipo de geometria do conjunto edificado e sua implantação. Para um mesmo padrão morfológico, é possível obter valores variados de DAF, pois, o somatório de área frontal do volume construído dependerá essencialmente do modo de implantação e da incidência direta das massas de ar no mesmo. Desta forma, a análise da <i>densidade de área frontal</i> pode auxiliar na identificação dos limites referentes às barreiras para aproveitamento dos ventos predominantes locais existentes no conjunto edificado.</p>

Para dimensionar o grau de adensamento de determinada porção do espaço urbano, Grimmond e Oke (1999) adotaram dois índices: razão de área plana ($\lambda_p = A_p / A_t$) e a razão de área frontal ($\lambda_f = A_f / A_t$). Nestes modelos numéricos, A_t corresponde à área de projeção dos edifícios em planta e A_f à área total das fachadas voltadas para o vento dominante (figura 5.24)

Figura 5.24: Definição das dimensões de superfície utilizadas como medida de densidade urbana por Grimmond e Oke (1999)

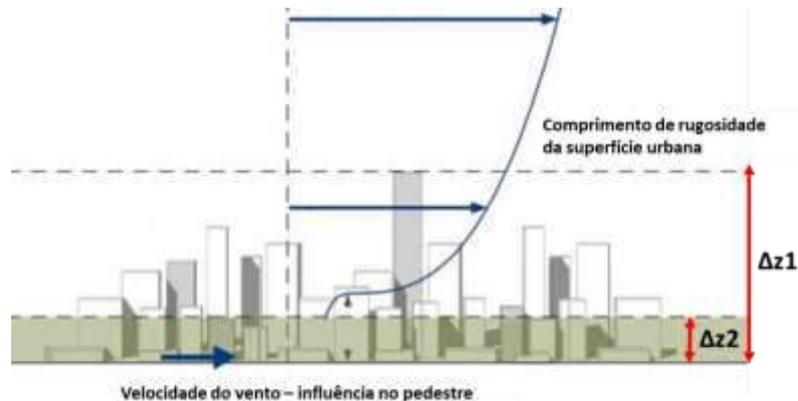


Fonte: Grimmond e Oke (1999)

Em pesquisas recentes a *densidade de área frontal* tem sido calculada através do programas computacionais incorporados ao ArcGIS , utilizando-se dados georeferenciados, adotando um algoritmo modificado após a publicação de os métodos propostos por Grimmond e Oke (1999) e Burian *et al.*(2002) (CHEN; NG, 2011).

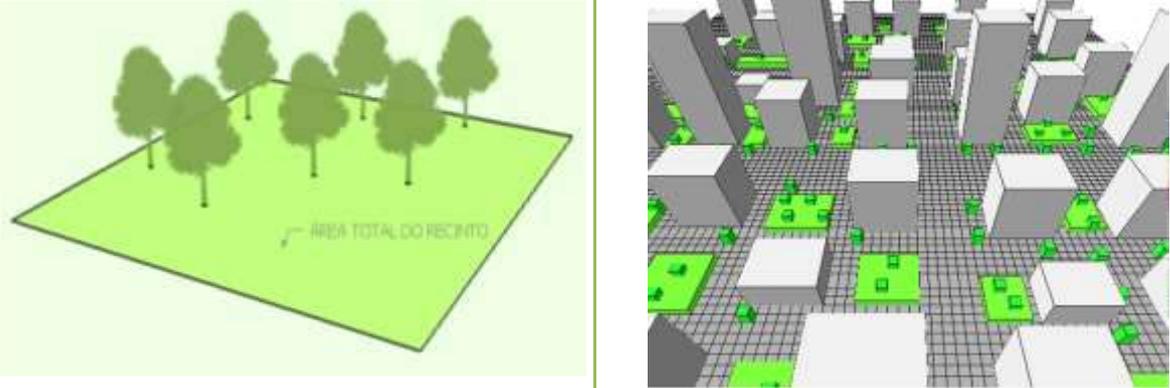
Sendo um parâmetro de análise de escala microclimática, da camada intra-urbana, pode ser utilizado para diagnósticos em diferentes incrementos de altura no meio urbano (figura 5.25), ou seja, adotando-se um padrão de alturas das construções da camada de rugosidade ($Z_g = \Delta z_2$), ou a partir de uma altura média dos elementos construídos (Δz_1). De acordo com os estudos em espaços de alta densidade construtiva, o maior valor de *densidade de área frontal*(DAF) indica a velocidade do vento baixa, ao passo que um menor valor indica menos bloqueio para o vento e, portanto, maior velocidade de vento.

Figura 5.25: Morfologia urbana na camada UCL (*Urban Canopy Layer*) Camada Intra-Urbana (nível de coberturas), perfil de vento e projeção da *densidade de área frontal*.



Fonte: adaptado de Chen; NG (2011).

Quadro 5.14: Informações sobre o parâmetro *índice de densidade arbórea* e sua importância bioclimática.

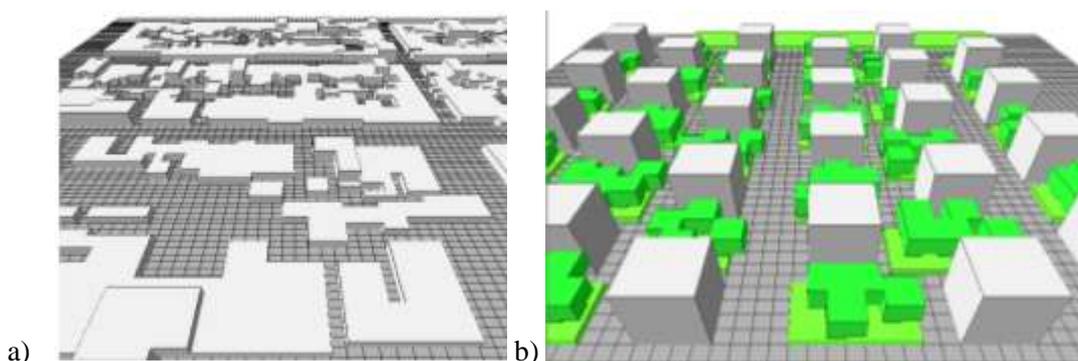
11. ÍNDICE DE DENSIDADE ARBÓREA (IDA)	
CONCEITO	O Índice de Densidade Arbórea (IDA) estima a intensidade de ocupação das árvores em determinado ambiente e se traduz na maior ou menor quantidade de indivíduos arbóreos no mesmo. Pode ser calculado para verificar o número de árvores existentes em cada 100m ² .
ILUSTRAÇÃO	
COMO CALCULAR	<p>Índice de Densidade Arbórea</p> $IDA = \left(\frac{N \text{ árvores}}{\text{Área tota do recinto}} \right) \times 100$ <p>N árvores: número total de árvores do recinto.</p> <p><i>Exemplo:</i></p> <p>Considerando a caracterização do cenário hipotético T1 CH3</p> <p>N árvores: 210 Área do recinto: 60.233m²</p> $IDA = \frac{210}{60233} \times 100 \quad IDA = 0,53$
IMPORTÂNCIA	<p>Devido à importância das áreas verdes no papel ambiental das cidades, destacado pela capacidade de amenizar o microclima urbano, reduzindo a temperatura do ar e funcionando como áreas de baixa temperatura se comparadas ao restante da cidade, o presente estudo contemplou a análise do parâmetro <i>Índice de Densidade Arbórea - IDA</i>. Dependendo da quantidade e porte das árvores, estas podem gerar o chamado “efeito oásis”, capaz de reduzir a temperatura do ar no meio urbano (YU e HIEN, 2006).</p> <p>No caso do objeto de estudo, a cidade de Arapiraca-AL, a estratégia bioclimática <i>resfriamento evaporativo</i> foi apontada como importante condicionante ambiental, para o incremento da umidade relativa do ar (pois os valores desta variável são bastante reduzidos no período de primavera e verão). A existência de elementos arbóreos pode, portanto, auxiliar o atendimento desta estratégia. Por isso, além dos parâmetros urbanísticos determinantes da forma e geometria dos recintos urbanos já citados, optou-se pela análise de pelo menos um índice de qualificação do padrão de arborização urbana.</p>

Dentre outros índices que podem estimar a qualidade da arborização urbana podem-se destacar os seguintes (NETO; RESENDE; SOUZA; 2007):

- a. **Índice de Sombreamento Arbóreo (ISA)**: representa o percentual da área sombreada em relação à área total do sítio estudado, estimado por meio da medida da projeção das copas sobre o solo;
- b. **Índice de Área Foliar (IAF)**: representa o parâmetro biofísico e estrutural da vegetação, sendo definido como a área foliar total por unidade de área do solo. É resultante das respostas ecofisiológicas das plantas às condições químicas, físicas e biológicas do solo e as interdependências destes fatores nos diferentes estágios sucessionais da vegetação (WANDELLI; MARQUES FILHO, 1999).
- c. **Índice de Áreas Verdes (IAV)** é um índice expresso em metros quadrados (m²) de área verde por habitante, abordado como um indicador da qualidade de vida, expressando a oferta de área verde per capita.

O *Índice de Densidade Arbórea* - IDA foi o índice escolhido para caracterização dos cenários hipotéticos da presente pesquisa pela facilidade de quantificação, já que os demais parâmetros relacionados com a forma e a geometria exigem uma análise mais precisa para a definição dos padrões de morfologia. Porém, é importante destacar que este índice apresenta limitações quanto à qualificação do padrão de arborização urbana, pois um fator significativo do desempenho climático corresponde ao modo de distribuição dos elementos arbóreos, não contemplado pela quantificação do IDA.

Figura 5.26: Exemplos de cenários com índice de densidade de arborização quantificados no programa EnviMet (visualização modo 3D – ferramenta Leonardo) a) tecido urbano Tipo 1, condição atual, IDA igual a 0 e, b) cenário hipotético T4CH3, IDA igual a 0,6.



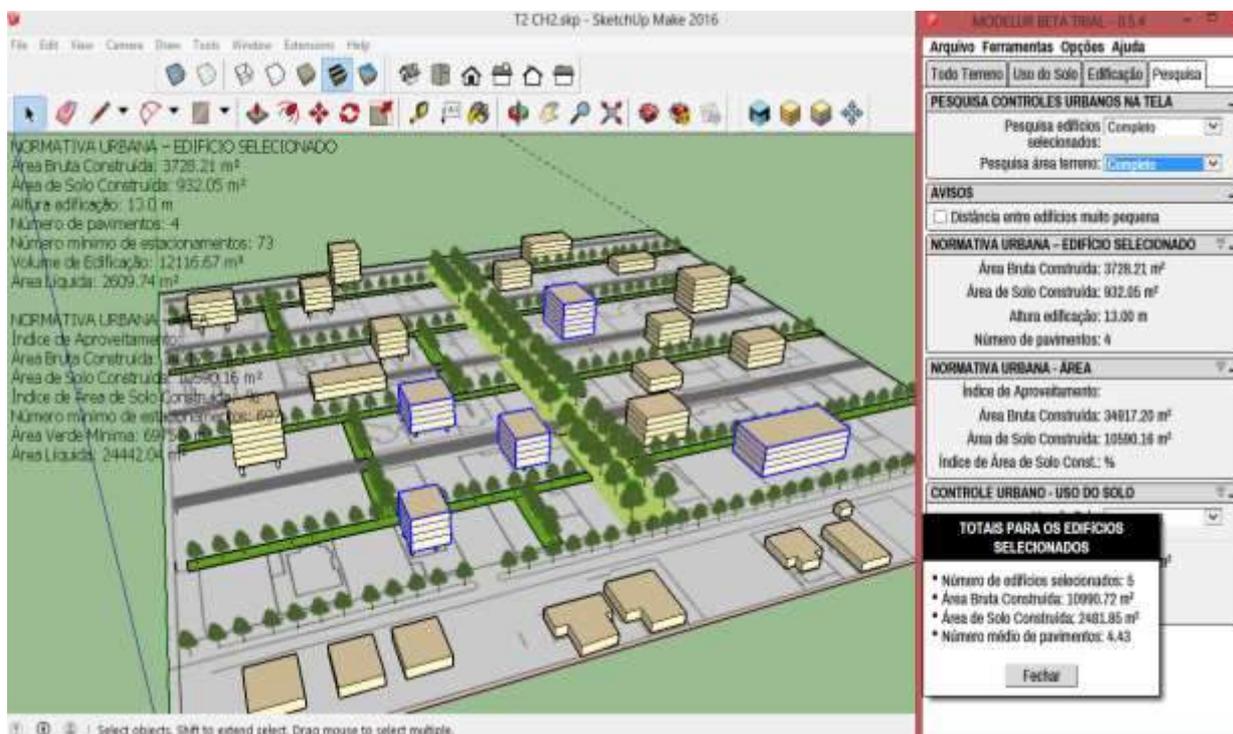
Todos os parâmetros citados anteriormente foram quantificados para todos os modelos/cenários simulados (tabela 5.8). Embora a literatura especializada aponte ainda a existência de outros parâmetros importantes para a caracterização do processo de ocupação de recintos urbanos, como a **compacidade** da quadra (relação entre a área de envoltória exterior dos edifícios da malha e o volume destes) e a **contiguidade** de edifícios (calculada como área das paredes geminadas sobre a área total da envoltória), e o **fator de visão do céu**, o presente estudo pretende demonstrar que os demais são significativos para representar o desempenho climático de estruturas urbanas presentes na realidade climática selecionada. Pesquisas futuras

podem aprofundar esta investigação contemplando os parâmetros não avaliados. A quantificação dos parâmetros foi realizada a partir da distribuição dos elementos construídos a partir da área total dos cenários hipotéticos. Ou seja, os valores apresentados na tabela 5.8 não estão relacionados com ocupação a partir do lote, pois, para a maioria dos cenários hipotéticos elaborados, a quadra foi adotada como elemento mínimo de ocupação. Isso ocorreu em virtude da necessidade de investigação a partir da hipótese principal do trabalho (tese), apresentada no início deste capítulo.

Como foi explicado no Capítulo 3, sobre a Abordagem Metodológica, a quantificação dos parâmetros urbanísticos foi subsidiada através do uso do suplemento computacional MODELUR BETA, uma ferramenta de desenho urbano paramétrico, cujo *plugin* pode ser adicionado ao *SketchUP*. Desta forma, os modelos de todos os cenários foram construídos através do programa *SketchUP* e quantificados a partir do suplemento MODELUR. Embora o suplemento atualmente não seja disponibilizado gratuitamente, a equipe de suporte do *software* concedeu uma licença gratuita para uso do programa por um período máximo de 21 dias, sendo este suficiente para finalizar o processo de quantificação dos parâmetros urbanísticos quando o programa deixou de ser gratuito (em agosto 2016).

Desta forma, os dados referentes a área de solo construída, área útil total construída, volume de edificações e outros necessários para o cálculo dos parâmetros foram identificados a partir dos cenários elaborados no *SketchUP* e no MODELUR BETA (figura 5.27).

Figura 5.27: Processo de quantificação dos parâmetros urbanísticos utilizando-se a ferramenta MODELUR vinculada ao SketchUP



Fonte: elaborado pela autora a partir do programa SketchUP

Tabela 5.8: Valores dos parâmetros urbanísticos quantificados para caracterização dos cenários correspondentes às diversos tipos morfológicos urbanos investigados (modelos atuais e cenários hipotéticos).

	T.O	C.A	Tsn	Hm	Rm	Po Ma	Po Vedif	Pm	Rg Ab	DAF	IDA	Dens. C.
Tipo 1 - ATUAL	0,45	1,36	0,23	4,26	1,50	0,48	0,00	0,44	1,95	0,060	0,000	0,490
T1 - CH1	0,45	2,01	0,23	7,84	1,50	0,54	0,00	0,77	3,54	0,110	0,000	0,900
T1 - CH2	0,13	4,00	0,67	13,00	15,00	0,86	0,00	0,65	2,08	0,100	0,230	0,520
T1 - CH3	0,13	10,00	0,69	33,21	15,00	0,86	0,03	1,65	4,34	0,720	0,350	1,390
Tipo 2 - ATUALL	0,17	1,05	0,78	5,12	5,62	0,75	0,00	0,30	0,89	0,052	0,024	0,200
T2 - CH1	0,24	3,35	0,60	10,88	4,50	0,82	0,00	0,54	2,65	0,060	0,041	0,810
T2 - CH2	0,08	3,29	0,69	16,34	29,51	0,90	0,18	0,34	1,18	0,090	0,520	0,248
T2 - CH3	0,09	8,82	0,69	27,00	29,51	0,90	0,00	0,56	3,00	0,210	0,423	0,810
Tipo 3 - ATUAL	0,02	17,00	0,68	52,00	27,50	0,97	0,07	1,62	1,23	0,340	0,041	0,480
T3 - CH1	0,05	17,00	0,66	52,00	42,00	0,95	0,05	1,62	2,46	0,410	0,730	0,970
T3 - CH2	0,07	9,33	0,64	32,00	27,50	0,92	0,16	0,58	2,29	0,080	0,540	0,800
T3 - CH3	0,05	24,00	0,66	90,00	45,00	0,97	0,13	2,00	4,29	0,300	0,737	1,380
Tipo 4 - ATUALL	0,22	1,00	0,57	4,00	2,87	0,77	0,00	0,42	0,90	0,030	0,028	0,250
T4 - CH1	0,47	2,00	0,32	7,00	1,25	0,52	0,00	0,93	3,32	0,070	0,000	1,130
T4 - CH2	0,14	1,61	0,65	5,70	13,00	0,85	0,00	0,28	0,84	0,030	0,110	0,290
T4 - CH3	0,12	4,00	0,67	13,00	11,50	0,93	0,00	0,72	1,55	0,110	0,609	0,531

Fonte: elaborado pela autora

Os cenários hipotéticos apresentaram uma variação tanto em relação ao padrão morfológico, como também, em relação à densidade construtiva, como foi explicado no capítulo 3 referente à abordagem metodológica (ver quadros 3.5 a 3.8, capítulo 3). As variações foram fundamentadas a partir dos quatro tipos de tecidos urbanos atuais investigados microclimaticamente. Para cada tipo de tecido, três cenários foram elaborados:

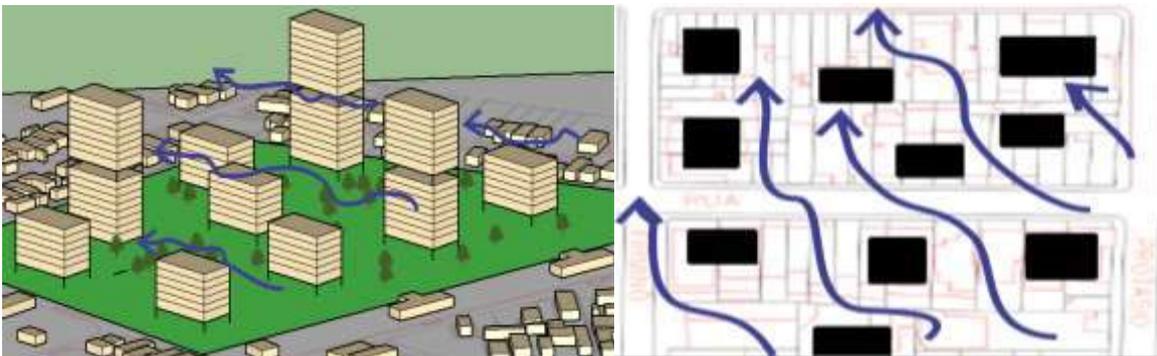
- 1) Considerando o aumento da densidade construtiva, sem a modificação do padrão morfológico do tecido urbano;
- 2) considerando a mesma densidade construtiva do tipo atual, porém, modificando a forma do conjunto edificado;
- 3) considerando o aumento da densidade construtiva e a modificação do padrão morfológico do tecido atual estudado.

Estas variações nos cenários, quando consideradas a modificação do padrão morfológico, foram baseadas na implantação de estratégias bioclimáticas apontadas a partir da caracterização do objeto empírico estudado, ou seja, da cidade de Arapiraca-AL. Assim, as principais estratégias bioclimáticas apontadas no presente estudo e adotadas na elaboração dos cenários estão especificadas no quadro 5.15:

Quadro 5.15: Principais estratégias bioclimáticas aplicáveis ao desenho urbano para adequação de conjuntos edificados em Arapiraca-AL ou realidades climáticas semelhantes.

APROVEITAMENTO INDISPENSÁVEL DA VENTILAÇÃO NATURAL

Deve-se promover o aproveitamento da ventilação natural principalmente no período noturno quando o rigor térmico é favorável ao conforto térmico. Por isso, alguns cenários foram estudados para apresentar uma menor taxa de ocupação do solo e maior porosidade da malha urbana, para possibilitar melhor distribuição das massas de ar no conjunto edificado. Assim, os tecidos poderiam possibilitar o aproveitamento das massas de ar no nível dos edifícios. A variação de alturas nas edificações também foi adotada para o alcance deste objetivo em alguns cenários.



RESFRIAMENTO EVAPORATIVO

Para potencializar o aproveitamento da ventilação natural, durante o período diurno, é necessário incrementar as condições microclimáticas para o aumento da umidade relativa do ar, favorecendo a redução da temperatura do ar. Foi priorizada, portanto, a incorporação de massas vegetativas para aumentar a umidade do ar e alcançar o resfriamento indireto a partir do processo de evapotranspiração das plantas. As espécies arbóreas especificadas no ENVI-met 4.0 fazem parte do próprio banco de dados do programa e foram escolhidas a partir de características como porte arbóreo (altura da copa) similar às espécies encontradas no objeto empírico. Dentre estas, pode-se citar: *Citrus Aurantium*, *Olea Europaea*, *Palm Washington*, *Betula Pendula*, *Tamarix Gallica*. Além disso, para o incremento das condições de aumento de umidade, os cenários apresentam variação quanto à taxa de solo natural. A permeabilidade do solo permite a redução do acúmulo de calor na escala microclimática, em comparação com os materiais de construção utilizados para revestimentos e impermeabilização em ambientes urbanos.



Serão apresentados a seguir os resultados referentes ao estudo do grau de correlação entre o desempenho climático dos cenários estudados e o padrão de quantificação dos parâmetros urbanísticos dos mesmos (condições morfológicas e de ocupação de solo). Esta investigação teve como escopo identificar quais são os parâmetros que apresentam maior influência no comportamento das variáveis ambientais responsáveis pelas condições de conforto térmico humano: temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do ar.

5.4.1 Estudo sobre o grau de correlação entre as variáveis ambientais e os parâmetros urbanísticos

Sabe-se que existe correlação entre duas ou mais variáveis quando as alterações sofridas por uma delas são acompanhadas por modificações nas outras. Assim, no caso de duas variáveis, x e y , os aumentos (ou diminuições) em x correspondem a aumentos (ou diminuições) em y . A presente pesquisa fundamenta-se na avaliação referente ao grau de correlação entre as variáveis de ocupação do solo urbano (x), representadas pelos parâmetros urbanísticos (variáveis independentes) e as variáveis ambientais (y): temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar (variáveis dependentes).

Neste sentido, o estudo de correlação identifica se existe uma relação funcional entre uma variável e as demais. O coeficiente de correlação (r) é uma medida da intensidade da relação entre variáveis. Ou seja, é um coeficiente que indica a força da associação entre quaisquer duas variáveis métricas. O sinal (+ ou -) indica a direção da relação. O valor pode variar de -1 e +1, onde +1 indica uma perfeita relação positiva, 0 indica relação nenhuma, e -1 uma perfeita relação negativa (HAIR et al., 2009). O conceito de associação, representado pelo coeficiente de correlação (r) é fundamental na análise de regressão, representando a relação entre duas variáveis.

O objetivo da análise de regressão é prever o comportamento de uma variável dependente (variável resposta) a partir do conhecimento de uma ou mais variáveis independentes (variáveis explanatórias/preditoras)²⁸. Quando o objetivo da investigação preditiva envolve apenas uma variável dependente e uma variável independente a regressão é denominada como *simples*. Quando a investigação envolve a análise de duas ou mais variáveis independentes a regressão é denominada como *múltipla*. A análise do coeficiente de correlação (r) pode a indicar²⁹, os seguintes graus de correlação (ver tabela 5.9):

Tabela 5.9: Classificação do grau de correlação a partir do valor do coeficiente de correlação (r)

-1	-0,95	-0,50	-0,10	0	0,10	0,50	0,95	1
negativa perfeita	negativa forte	negativa moderada	negativa fraca	ausência	positiva fraca	positiva moderada	positiva forte	positiva perfeita

Fonte: Beiguelman (1996)

²⁸ Uma **variável independente** é aquela que é fator determinante para que ocorra um determinado resultado; é a condição ou causa para um determinado efeito ou consequência. Uma **variável dependente** representa uma grandeza cujo valor *depende* de como a variável independente é manipulada.

²⁹ BEIGUELMAN, B. **Curso Prático de Bioestatística** - 4a ed. rev. Sociedade Brasileira de Genética, Ribeirão Preto, 1996.

Para o presente estudo, foi realizada uma análise preliminar referente à matriz de correlação entre os parâmetros urbanísticos (variáveis independentes) avaliados a partir dos cenários investigados (tabela 5.10). Os valores da matriz de correlação foram obtidos através o suplemento *análise de dados* do programa EXCEL, utilizando-se os valores calculados dos parâmetros urbanísticos de todos os cenários hipotéticos estudados (tabela 5.8).

Foi possível identificar valores significativos de correlações entre os parâmetros calculados (destacados na cor verde), observados na tabela 5.10. Os valores elevados de correlação revelam que certos parâmetros possuem forte associação entre eles. Como exemplo, pode-se citar os valores de forte correlação entre coeficiente de aproveitamento e altura média das construções ($r = 0,99$) e, taxa de ocupação e porosidade da malha ($r = -0,978$). Ou seja, quanto maior a taxa de ocupação, menor é a porosidade da malha, quanto maior o coeficiente de aproveitamento, maior será a altura média das construções. Outros valores podem ainda ser destacados:

- Taxa de solo natural (Tsn) e porosidade da malha (PoMa): correlação positiva moderada ($r = 0,855$)
- Altura média das construções (Hm) e recuo médio (Rm): correlação positiva moderada ($r = 0,856$)
- Taxa de ocupação (T.O) e Recuo médio (Rm): correlação negativa moderada ($r = -0,782$)
- Coeficiente de Aproveitamento (C.A) e Prospecto médio (Pm): correlação positiva moderada ($r = 0,875$)
- Recuo médio (Rm) e Índice de Densidade Arbórea (IDA): correlação positiva moderada ($r = 0,820$)
- Rugosidade Absoluta (Rg Ab) e Densidade Construtiva: correlação positiva forte ($r = 0,959$)

Tabela 5.10: Matriz de correlação para os parâmetros morfológicos aplicados aos tecidos urbanos avaliados a partir dos cenários investigados.

	T.O	C.A	Tsn	Hm	Rm	Po Ma	Po Vedif	Pm	Rg Ab	DAF	IDA	Dens. C.
T.O	1											
C.A	-0,609	1										
Tsn	-0,911	0,355	1									
Hm	-0,594	0,990	0,348	1								
Rm	-0,782	0,855	0,536	0,856	1							
Po Ma	-0,978	0,617	0,881	0,603	0,763	1						
Po Vedif	-0,506	0,493	0,299	0,550	0,685	0,478	1					
Pm	-0,327	0,875	0,129	0,857	0,578	0,358	0,253	1				
Rg Ab	0,175	0,433	-0,261	0,457	0,199	-0,105	0,048	0,605	1			
FAD	-0,389	0,646	0,286	0,605	0,460	0,381	0,142	0,805	0,552	1		
IDA	-0,662	0,626	0,479	0,648	0,820	0,688	0,588	0,429	0,267	0,387	1	
Dens. C.	0,056	0,561	-0,165	0,570	0,304	0,021	0,106	0,730	0,959	0,633	0,360	1

Estes resultados indicam que existe uma associação entre os parâmetros urbanísticos tradicionais e os parâmetros urbanísticos denominados como avançados. Ou seja, quando quantificados a partir da unidade da quadra, a caracterização morfológica a partir destes parâmetros pode ser compreendida tanto a partir dos índices tradicionais, mas também, a partir dos índices avançados.

Os valores obtidos entre o parâmetro densidade construtiva (Dens.C) e os demais parâmetros investigados (destacados na cor amarela na tabela 5.10), indicam os coeficientes de correlação fraca e demonstram que a densidade construtiva urbana não está associada diretamente a nenhum padrão morfológico. Ou seja, um mesmo valor do parâmetro de densidade construtiva urbana pode ser aplicado a uma diversidade de tecidos urbanos, com variações diversas referentes aos parâmetros urbanísticos.

Assim, aponta-se a necessidade de análise de quais os parâmetros urbanísticos apresentam maior ou menor influência no desempenho climático de estruturas urbanas para as específicas realidades climáticas. O presente estudo insere-se nesta perspectiva, utilizando-se como base a pesquisa preditiva abordando a caracterização climática da cidade de Arapiraca-AL, adotada como objeto empírico do estudo. Neste sentido, serão apresentados, a seguir, os resultados referentes ao estudo sobre o grau de correlação entre o comportamento das variáveis ambientais e os parâmetros urbanísticos quantificados a partir dos cenários hipotéticos elaborados considerando diferentes padrões morfológicos e diferentes densidades construtivas.

No quadro 5.16, são apresentadas as principais hipóteses de correlação. As setas indicam a expectativa referente ao comportamento das variáveis ambientais a partir do aumento dos valores das variáveis independentes (parâmetros urbanísticos). A seta para cima indica expectativa de correlação positiva entre as variáveis, a seta para baixo indica correlação negativa. A seta de direcionamento lateral indica expectativa de ausência de correlação.

Os parâmetros urbanísticos cujos valores ampliados estão relacionados com o aumento de espaços livres para penetração das massas de ar e dissipação do calor acumulado no conjunto edificado, como também de solo permeável para utilização de elementos de amenização térmica como a vegetação ou o próprio solo nu, foram considerados como indicativos de correlação negativa com a temperatura do ar e velocidade do ar, e correlação positiva com a umidade relativa do ar, como: *coeficiente de aproveitamento (C.A)*, *taxa de solo natural (Tsn)*, *recuos médios (Rm)*, *porosidade da malha (PoMa)* e *Índice de Densidade Arbórea (IDA)*. Já os parâmetros urbanísticos cujos valores ampliados estão relacionados com a redução destes espaços livres, importantes para a incorporação das estratégias bioclimáticas locais, foram considerados, hipoteticamente, como indicativos de correlação positiva com a temperatura do ar e correlação negativa com a umidade relativa do ar e velocidade do ar, como: *taxa de ocupação do solo* e a *densidade de área frontal(DAF)*.

Quadro 5.16: Hipóteses iniciais de correlação entre as variáveis ambientais e as variáveis de caracterização morfológica dos tecidos urbanos (parâmetros urbanísticos).

	Parâmetros Urbanísticos	Temperatura do ar (°C)	Umidade Relativa (%)	Velocidade do Ar (m/s)
↑	Taxa de Ocupação	↑	↓	↓
↑	Coefficiente de Aproveitamento	↓	↑	↓
↑	Taxa de Solo Natural	↓	↑	↑
↑	Altura média (verticalidade)	↔	↔	↔
↑	Recuos Médios	↓	↑	↑
↑	Porosidade da Malha	↓	↑	↑
↑	Porosidade do Volume Edificado	↓	↑	↑
↑	Prospecto Médio	↔	↔	↔
↑	Rugosidade Absoluta	↓	↑	↓
↑	DAF- Densidade de Área Frontal	↑	↓	↓
↑	IDA – índice de densidade Arbórea	↓	↑	↔
↑	Densidade Construtiva	↔	↔	↔

Os parâmetros urbanísticos cujos valores ampliados não estão diretamente relacionados com a redução ou ampliação de espaços livres, como a *densidade construtiva* (recintos com mesma densidade construtiva podem apresentar formas diferenciadas, adequadas ou não à incorporação de estratégias bioclimáticas), o *prospecto médio* e a *altura média*, foram considerados como indicativos de ausência correlação com as variáveis ambientais (dependentes): temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do ar. Isso porque, entende-se que o comportamento destas variáveis ambientais dependerá de outras variáveis de ocupação do solo relacionadas diretamente com a forma do tecido urbano.

Os dados referentes ao desempenho climático dos cenários estudados foram obtidos a partir das simulações computacionais utilizando-se o programa ENVI-met 4.0. A licença gratuita do programa expirou em junho de 2016. Para a continuidade da investigação, o escritório de Michael Bruse concedeu uma licença provisória de três meses para a finalização

do estudo, referente à versão denominada como *Science*, aplicada na versão *4.0 Summer 16*. Todas as simulações foram configuradas para a condição de verão (período de maior aquecimento diurno e maior comprometimento das condições de conforto térmico de acordo com a caracterização do objeto empírico).

Desta forma, foi adotado o dia representativo de verão (dia 03.01.2015, conforme identificação apresentada no capítulo 4) a partir dos dados calibrados segundo as condições microclimáticas estudadas através do monitoramento dos tecidos urbanos selecionados (Tipo 1: Brasília, Tipo 2: Novo Horizonte, Tipo 3: Residencial Espace e Tipo 4: Canafístula). Somando-se os cenários hipotéticos simulados, a investigação contemplou um total de 16 padrões morfológicos diferenciados de tecidos urbanos.

O processo de simulação computacional destes padrões morfológicos foi extremamente lento, correspondendo a aproximadamente 10 a 15 dias de simulação para cada cenário. Após a adoção da versão *4.0 Summer 16* do programa ENVI-met, a introdução de receptores³⁰ nos modelos computacionais se tornou inviável, pois acarretou no aumento do tempo de simulação, como também, em entraves no processamento das simulações devido à incompatibilidades referentes ao uso da versão *Basic* do programa e a licença *Science*. Por isso, os receptores foram eliminados de todas as simulações que ainda precisavam ser realizadas.

Desta forma, para facilitar a análise dos dados obtidos a partir das simulações computacionais, os resultados foram identificados a partir da geração dos mapas temáticos de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade dos ventos, a partir dos horários recomendados pela literatura especializada: de três em três horas, das 6h até às 21h.

A elaboração destes mapas objetivou, também, a análise geral dos tecidos, a partir da visualização da espacialização dos diferentes campos térmicos ao longo dos ambientes investigados para verificar os valores de temperatura máxima e mínima, como também, o desempenho no centro das estruturas edificadas. Todos os mapas foram gerados a partir da altura média de análise especificada a 1,5m do solo (padrão microclimático- interferência da camada de cobertura urbana).

Evitou-se, portanto, concentrar a análise em apenas um ponto (já que os receptores foram eliminados dos modelos computacionais), sendo valorizada a análise dos padrões de distribuição dos efeitos térmicos microclimáticos. Todos os mapas referentes aos dados dos horários analisados estão apresentados no apêndice C.

³⁰ Corresponde à identificação de uma célula na malha do modelo computacional que registra os dados horários referentes a todas as variáveis ambientais calculadas no Programa ENVI-met, gerando um arquivo que apresenta todos os resultados horários (pode ser lido em programa EXCEL). Quando o receptor ou receptores não são aplicados no modelo computacionais os arquivos para cada horário de simulação computacional devem ser analisados separadamente através do Programa Leonardo (vinculado ao ENVI-met), segundo a especificação da variável climática a ser analisada.

Nos quadros 5.17 a 5.24 são apresentados os resultados obtidos a partir das simulações computacionais referentes aos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade das massas de ar (em ponto central de cada cenário hipotético).

Quadro 5.17: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido tipo 1 e seus cenários hipotéticos – temperatura do ar e velocidade dos ventos.

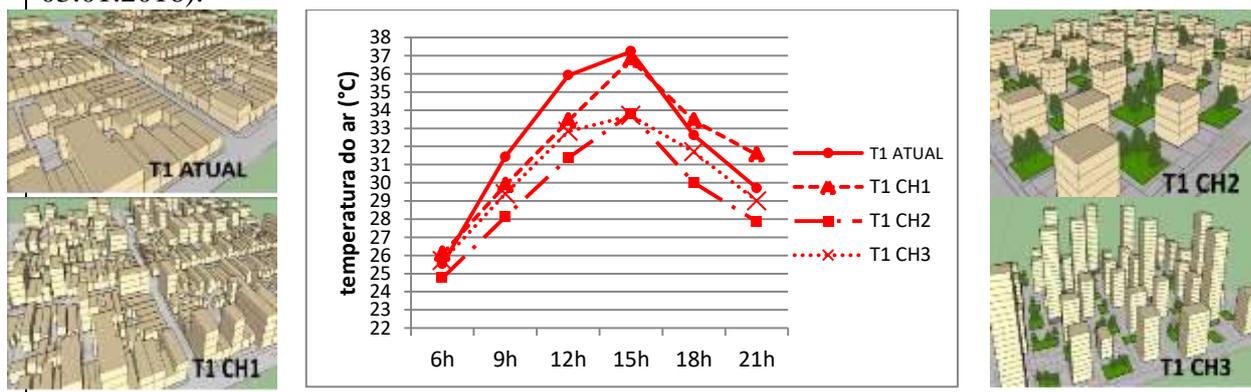
Tipo 1 e cenários hipotéticos – Temperatura do ar (°C) e velocidade dos ventos (m/s)

Dados de temperatura do ar e velocidade dos ventos obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido urbano tipo 1 de seus cenários hipotéticos- referente ao dia representativo de verão (03.01.2016):

Tipo 1 Brasília		Temperatura do ar (°C)									Vel. do vento (m/s) no centro	
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude Térmica		máxima no centro
T1 ATUAL	max	25,99	31,92	37,52	38,44	32,66	30,10					
	C	25,52	31,42	35,92	37,24	32,62	29,70	38,44	24,95	13,49	37,24	0,27
	min	24,95	30,51	34,82	36,35	32,24	29,15					
T1 CH1	max	26,71	29,71	34,61	36,88	33,60	31,62					
	C	26,09	29,87	33,42	36,77	33,42	31,56	36,88	25,38	11,50	36,77	1,13
	min	25,38	31,28	32,62	34,57	33,04	31,12					
T1 CH2	max	24,67	29,09	33,32	34,61	29,18	27,66					
	C	24,76	28,13	31,38	33,80	29,29	27,85	34,61	24,21	10,40	33,80	0,20
	min	24,21	28,05	31,46	31,92	28,91	27,40					
T1 CH3	max	26,01	29,87	33,60	35,20	32,01	29,77					
	C	25,70	29,38	32,83	33,70	31,70	29,00	35,20	24,77	10,43	33,70	0,84
	min	24,77	29,35	32,66	33,57	31,43	28,41					

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido simulado , **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido urbano, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido simulado

Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no centro dos modelos investigados a partir do tecido urbano tipo 1 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016):



Quadro 5.18: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido urbano tipo 1 e seus cenários hipotéticos – umidade relativa do ar.

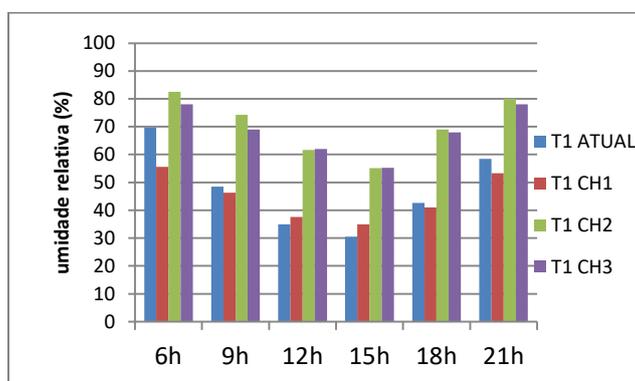
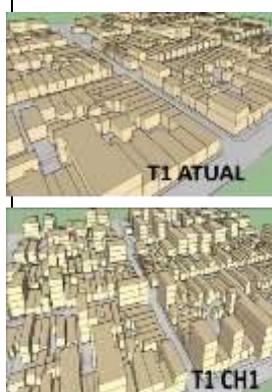
Tipologia 1 e cenários hipotéticos – Umidade relativa do ar (%)

Dados de umidade relativa do ar (%) obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido urbano tipo 1 de seus cenários hipotéticos-referente ao dia representativo de verão (03.01.2016).

Tipo 1 Brasília		Umidade Relativa do Ar (%)									
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude	mínima no centro
T1 ATUAL	max	74,67	49,71	36,80	31,56	46,11	64,52	74,67	29,33	45,34	30,47
	C	69,70	48,43	34,93	30,47	42,65	58,50				
	min	64,61	46,07	33,29	29,33	40,22	54,18				
T1 CH1	max	60,40	47,90	39,83	36,53	44,32	58,79	60,40	33,41	26,99	35,00
	C	55,62	46,31	37,53	35,00	41,02	53,23				
	min	53,19	43,96	35,20	33,41	39,85	49,34				
T1 CH2	max	100,00	82,89	65,20	56,95	78,26	96,24	100,00	49,79	50,21	55,17
	C	82,50	74,23	61,70	55,17	69,00	80,00				
	min	84,90	72,22	55,53	49,79	69,29	81,82				
T1 CH3	max	78,39	72,41	67,87	58,15	71,16	81,82	81,82	54,87	26,95	55,20
	C	78,00	69,00	62,00	55,20	68,00	78,00				
	min	65,05	60,56	61,74	54,87	59,62	67,92				

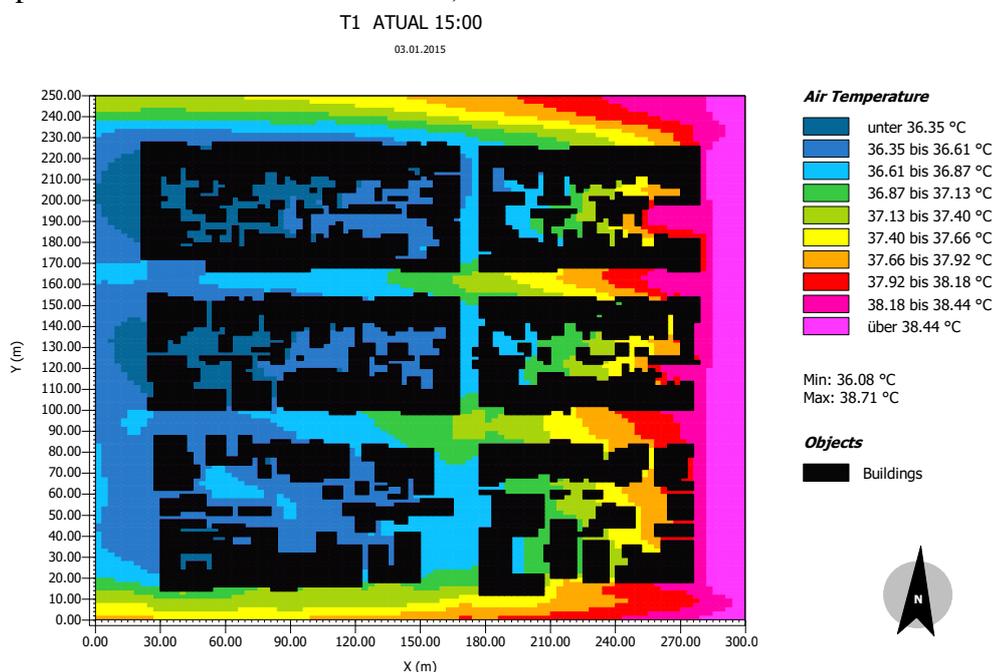
Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido urbano

Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no centro dos modelos investigados a partir do tecido tipo 1 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016):



Os resultados referentes às variações nos padrões morfológicos e de densidade avaliados a partir do tecido urbano tipo 1 (Brasília) apontaram uma diferença no comportamento da temperatura do ar de até 3,54°C em relação à temperatura máxima diagnosticada no centro da malha (registrada às 15h). Esta diferença foi identificada entre os resultados simulados para a condição atual do tecido Tipo 1 (T1 ATUAL, temperatura igual a 37,24°C) e o cenário hipotético 3 (T1 CH3, temperatura igual a 33,70°C). Porém, excetuando-se o horário de 15h, o cenário hipotético 2 (T1 CH2) apresentou valores de temperatura do ar inferiores aos demais cenários em todos os demais horários (figuras 5.28 a 5.30)³¹.

Figura 5.28: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar** às 15h no tecido urbano **Tipo 1 (T1 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



³¹ Observando a figura 5.28, é possível verificar, quanto ao padrão de distribuição da temperatura do ar no tecido urbano tipo 1 – atual (bairro Brasília), que os valores máximos foram identificados na borda leste do modelo. Considerando que a intensidade de radiação solar, neste horário, é maior no quadrante oeste, o resultado deste padrão de distribuição da temperatura do ar foi, a princípio, questionável. Foi verificado, porém, os resultados referentes ao padrão de distribuição da radiação solar direta (apresentado nas figuras 5.31 a 5.33) para confirmação da caracterização correta do modelo quanto à sua orientação no processo de simulação computacional. Todos os mapas referentes ao resultado do padrão de intensidade da radiação solar direta estão condizentes com as características de orientação do modelo, sendo descartada a ocorrência de erro no processo de simulação. Assim, este mesmo padrão de distribuição da temperatura máxima foi constatado na maioria dos tecidos e cenários simulados (ver mapas apresentados no apêndice C). Foi observado que nos horários referentes ao aumento da radiação solar, a partir das 9h, as temperaturas máximas foram identificadas na borda leste, coincidente com a direção do vento predominante especificado no processo de simulação computacional. É a partir deste horário que a temperatura do ar aumenta. Assim, entende-se que o modelo micrometeorológico pode adotar os valores especificados de temperatura do ar como dado de entrada no sistema *simple forcing*, sendo estes estabilizados a partir da distribuição das massas de ar no interior do tecido urbano. Por isso, os valores das bordas do modelo não foram considerados para avaliação referente ao grau de correlação entre as variáveis climáticas e os parâmetros urbanísticos estudados. Apenas os valores identificados no centro dos tecidos urbanos simulados foram considerados na presente investigação.

Figura 5.29: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar** às 15h no **cenário hipotético T1CH1** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016)

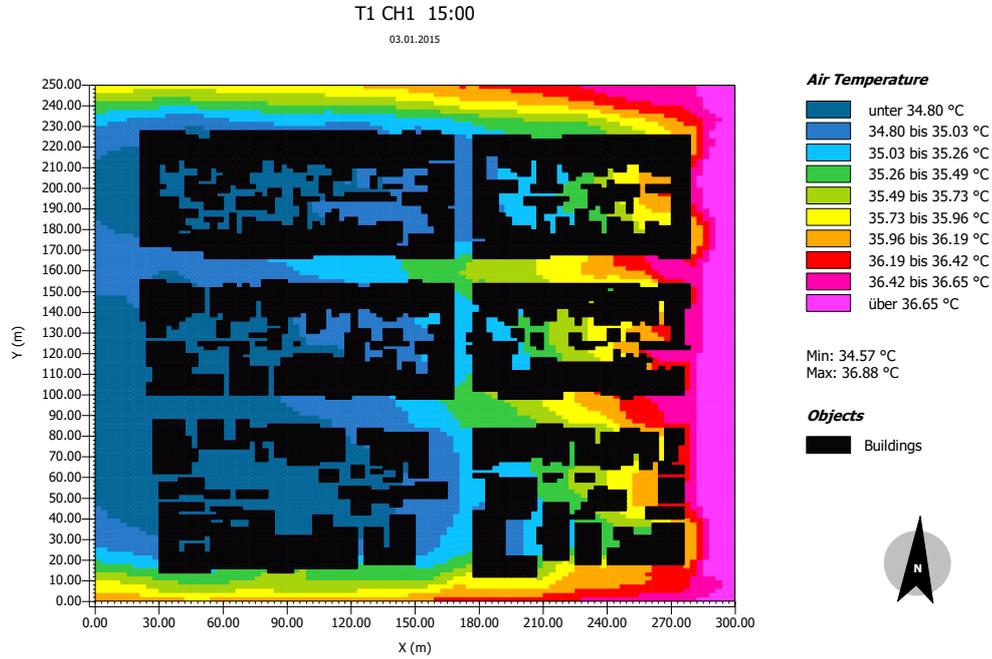
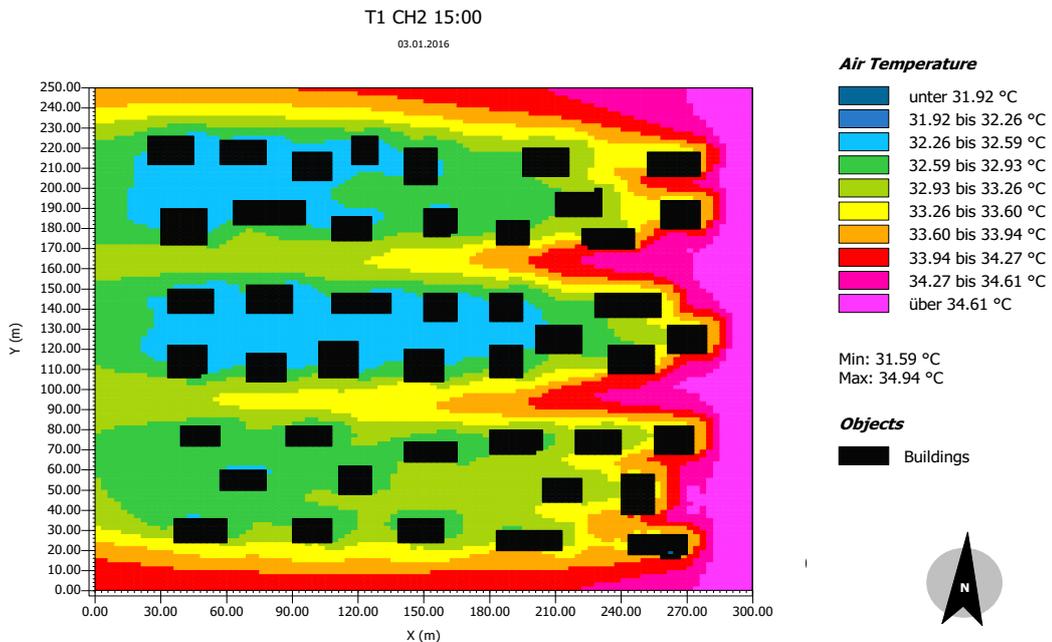


Figura 5.30: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar** às 15h, **cenário hipotético T1CH2**, na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016)



Às 12h, foi identificada uma diferença de $4,54^{\circ}\text{C}$ entre o cenário hipotético 2 (T1 CH2) e a condição atual (T1 ATUAL). O cenário hipotético 2 (T1 CH2) diferencia-se dos demais por apresentar **maior porosidade da malha** ($\text{PoMa}= 0,86$) e **menor taxa de ocupação** ($\text{T.O}= 0,13$), possuindo **a mesma densidade construtiva da condição atual da tipologia 1** (T1 ATUAL). Já o cenário hipotético 3, apresenta os mesmos valores em relação a estes parâmetros urbanísticos, porém apresenta **densidade construtiva e índice de densidade arbórea superior** ($\text{IDA}= 0,35$) a todos os cenários, favorecendo o desempenho climático do mesmo, principalmente no horário de registro dos maiores valores de temperatura do ar, às 15h.

Desta forma, observando os dados do quadro 5.18, tanto o cenário hipotético 2, como o cenário hipotético 3 apresentaram um potencial para a redução da temperatura do ar na escala microclimática avaliada. Além da presença de elementos arbóreos, estes cenários apresentam volume edificado capaz de proporcionar o sombreamento do tecido urbano (figuras 5.31 a 5.33) diferentemente da condição atual do Tipo 1 (T1 ATUAL).

Figura 5.31: Resultado referente à **intensidade da radiação solar direta** no tecido **Tipo 1, condição atual** (T1 ATUAL). Destaca-se na cor escura (azul) a área sombreada na malha simulada (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

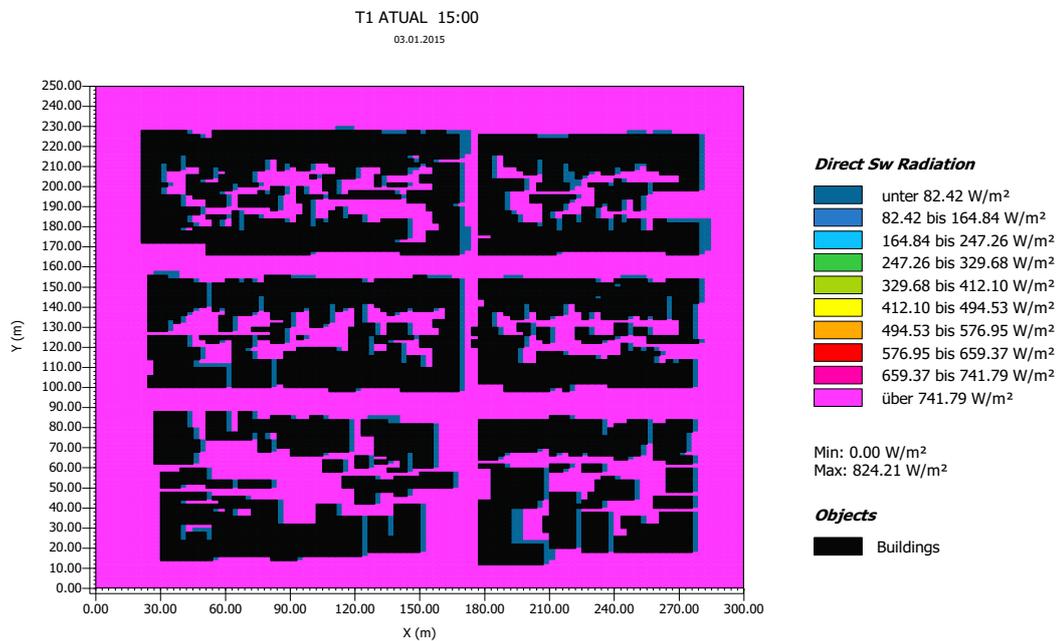


Figura 5.32: Resultado referente à **intensidade da radiação solar direta** às 15h no **cenário 2 (T1 CH2)**. Destaca-se na cor escura (azul) a área sombreada na malha simulada (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

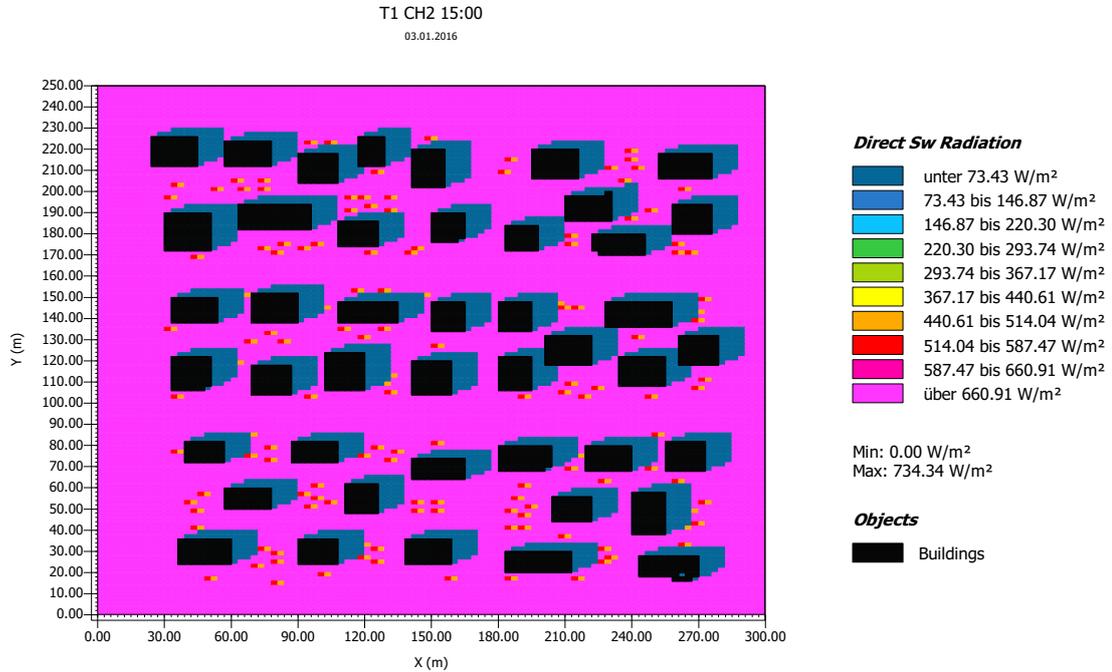
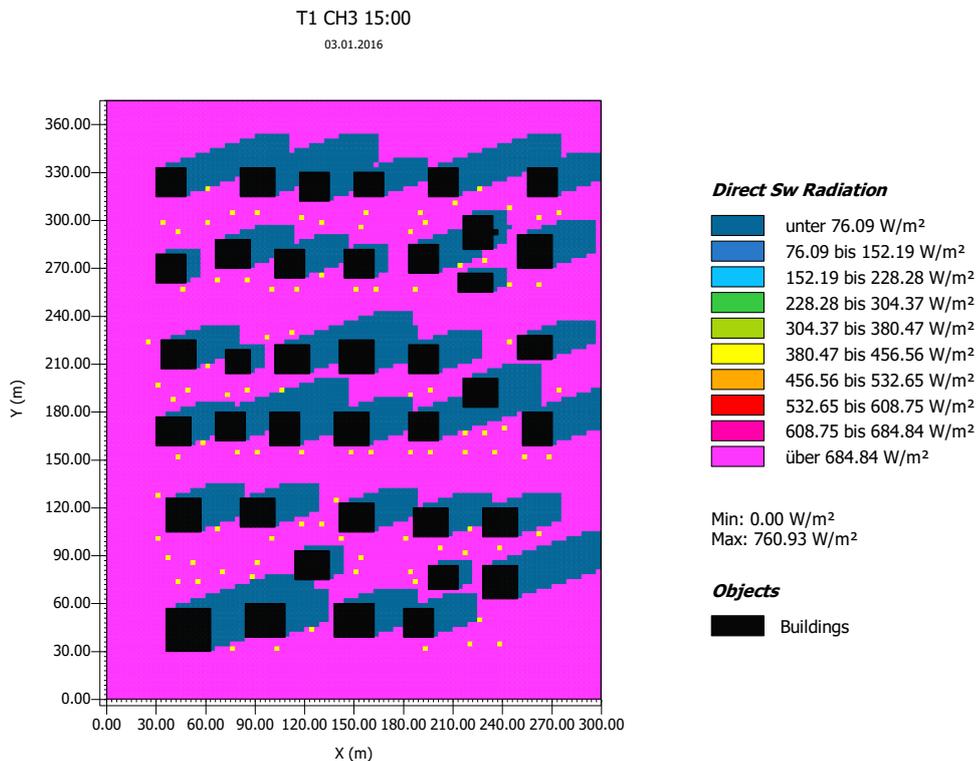


Figura 5.33: Resultado referente à **intensidade da radiação solar direta** às 15h no **cenário 3 (T1 CH3)**. Destaca-se na cor escura (azul) a área sombreada na malha simulada (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Os dados de temperatura do ar registrados a partir da simulação do Tipo 1 (T1 ATUAL) são superiores aos demais cenários nos horários de 9h, 12h e 15h (quadro 5.17). Os parâmetros urbanísticos quantificados para este recinto indicam alta taxa de ocupação do solo do tecido (T.O=0,45) baixa porosidade de malha (PoMa= 0,48, a menor dentre todos os cenários avaliados), recuos médios de apenas 1,5m entre edificações e ausência de arborização (IDA=0).

Assim, a forma do tecido Tipo 1 (condição atual T1 ATUAL), denominada como *horizontal denso geminado*, não contribuiu para a minimização térmica, pois não apresenta elementos que contribuem para a redução da temperatura do ar na escala microclimática como elementos arbóreos e solo natural. O conjunto edificado não favorece a inserção destes elementos, pois os lotes são estreitos e ocupados pelas edificações. Desta forma, a implantação das estratégias bioclimáticas fica inviabilizada. Já o cenário T1CH1, que apresenta a mesmo padrão morfológico, porém, com densidade construtiva maior, apresentou valores inferiores para os horários citados devido ao sombreamento do conjunto edificado, em decorrência da altura média das construções maior que o de T1 ATUAL. Porém, nos horários de 18h e 21h este cenário apresentou temperatura superior a do Tipo 1 (T1 ATUAL), configurando uma estrutura de maior capacidade de armazenamento de energia térmica devido à associação entre o maior índice de densidade construtiva e baixa porosidade da malha urbana (PoMa= 0,54), pois, a estrutura não apresenta potencial de dissipação das massas de ar já que a configuração das edificações permite apenas a canalização dos ventos nas vias, não possibilitando a penetração entre as edificações (ver figuras 5.34 a 5.36).

Figura 5.34: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos no cenário T1CH1**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste

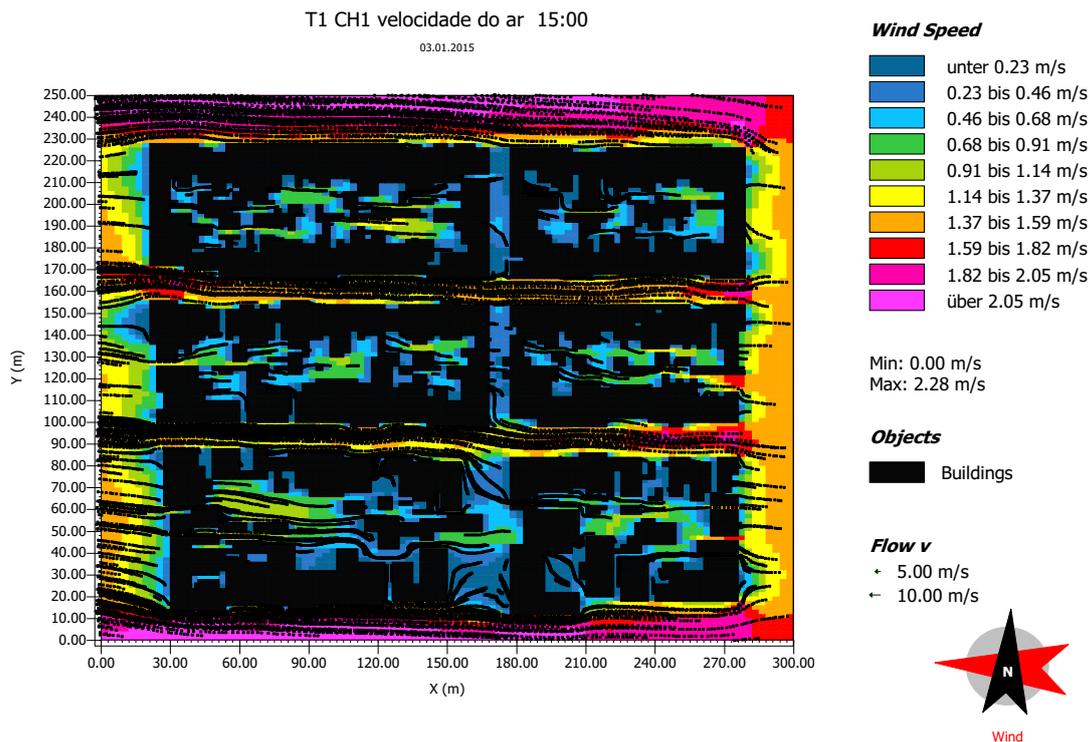


Figura 5.35: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário **T1CH2**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

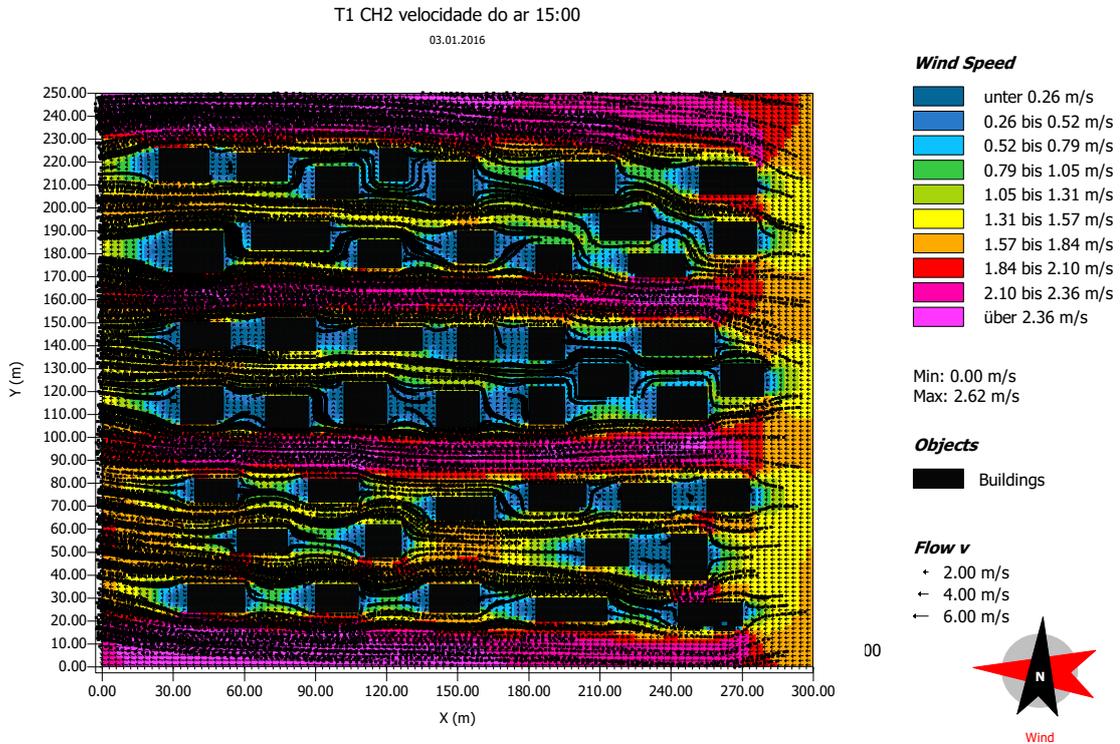
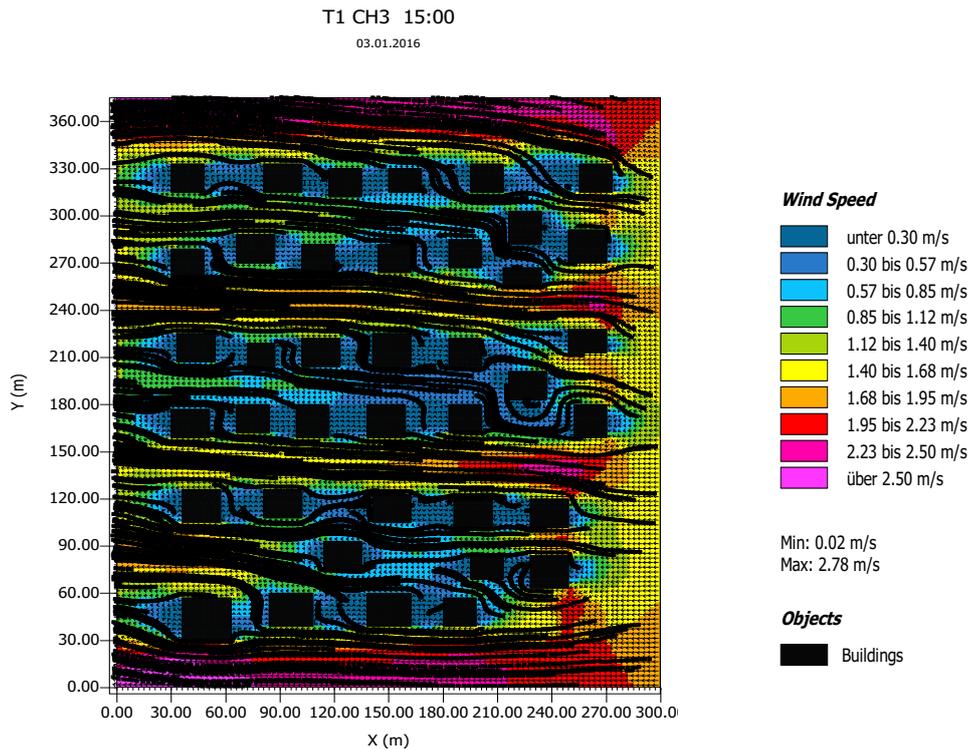


Figura 5.36: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário **T1CH3**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste



Observando as figuras 5.35 e 5.36 referentes ao padrão de distribuição dos ventos predominantes da direção leste (predominantes para a cidade de Arapiraca-AL), verifica-se que quando a implantação do conjunto edificado caracteriza-se pela existência de volumes construídos alinhados na direção paralela à incidência dos ventos, a ocorrência de grandes áreas de sombra de vento é marcante. Isso ocorre devido ao tipo de implantação e distanciamento entre os obstáculos ocasionando fluxos de ar com interferência de esteira, como identificado nos cenários T1CH2 e T1CH3.

A principal consequência deste fenômeno é a redução da velocidade do ar nas áreas de interferência de esteira (ver espaços na cor azul identificados nas figuras 5.35 e 5.36). Desta forma, é importante destacar que os valores referentes à velocidade do ar especificados no gráfico do quadro 5.17, correspondem aos dados coletados nos centros dos tecidos urbanos investigados e, por isso, quando coincidem com as áreas de esteira de vento, constituem valores significativamente baixos, como ocorreu no cenário T1CH2 (velocidade do ar igual a 0,2 m/s) e no cenário T1CH3 (velocidade do ar igual a 0,84 m/s).

Desta forma, as trocas térmicas por convecção não são potencializadas neste padrão de morfologia. Comparando com os demais cenários, T1 CH2 e T1 CH3 (figuras 5.35 e 5.36), estes apresentam maior potencial para aproveitamento da estratégia bioclimática *ventilação natural*, pois favorecem a distribuição das massas de ar entre os volumes edificados evitando o efeito da canalização detectado em T1 REAL e T1CH1.

Além disso, as trocas de calor latente são otimizadas no cenário hipotético 2 e 3 a partir da presença dos elementos arbóreos capazes de incrementar a umidade relativa do ar na escala microclimática (quadro 5.18). As diferenças identificadas em relação aos dados obtidos no centro nos tecidos simulados foram acima de 25%. Como exemplo, pode-se citar os valores registrados às 12h nos cenários T1 ATUAL e T1CH3, que corresponderam a 34,93% e 62%, respectivamente, constituindo uma diferença de 27,07%.

Neste sentido, para o período avaliado (período quente e seco), a estratégia de resfriamento evaporativo, importante para a redução da temperatura do ar, foi significativa no desempenho microclimático dos cenários T1CH2 e T1CH3. Observando os mapas referentes aos resultados das simulações no modelo ENVI met, é possível verificar que em T1 ATUAL e T1 CH1, os valores de temperatura do ar, às 15h são predominantemente acima de 36°C nos pontos do tecido urbano e abaixo de 35% de umidade relativa, configurando em uma condição significativamente desfavorável à obtenção de conforto térmico (figuras 5.37 e 5.38).

Porém, nos cenários T1CH2 e T1CH3, os valores de temperatura do ar identificados na malha são predominantemente abaixo de 33°C e umidade relativa do ar acima de 55%. Estes resultados demonstram que, independente da densidade construtiva, o padrão morfológico determinado pela presença de espaços livres vegetados e de solo permeável é importante para a amenização climática nas condições do perfil climático estudado (figuras 5.39 e 5.40).

Figura 5.37: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no tecido **Tipo 1, condição atual (T1 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

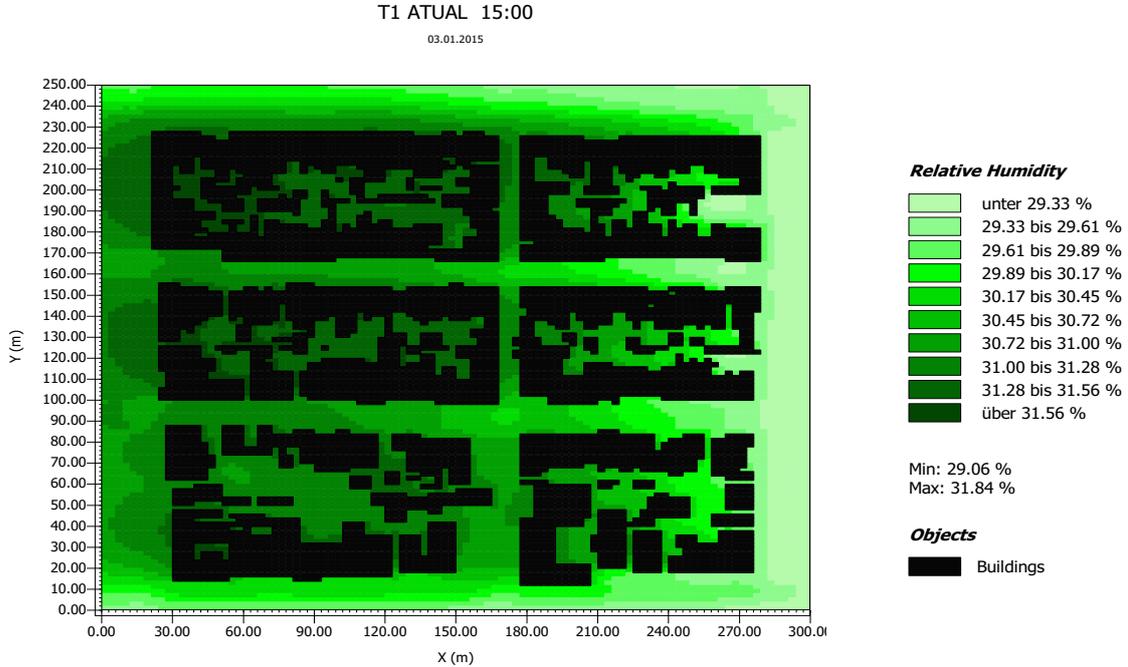


Figura 5.38: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no tecido **Tipo 1, cenário hipotético 1 (T1 CH1)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

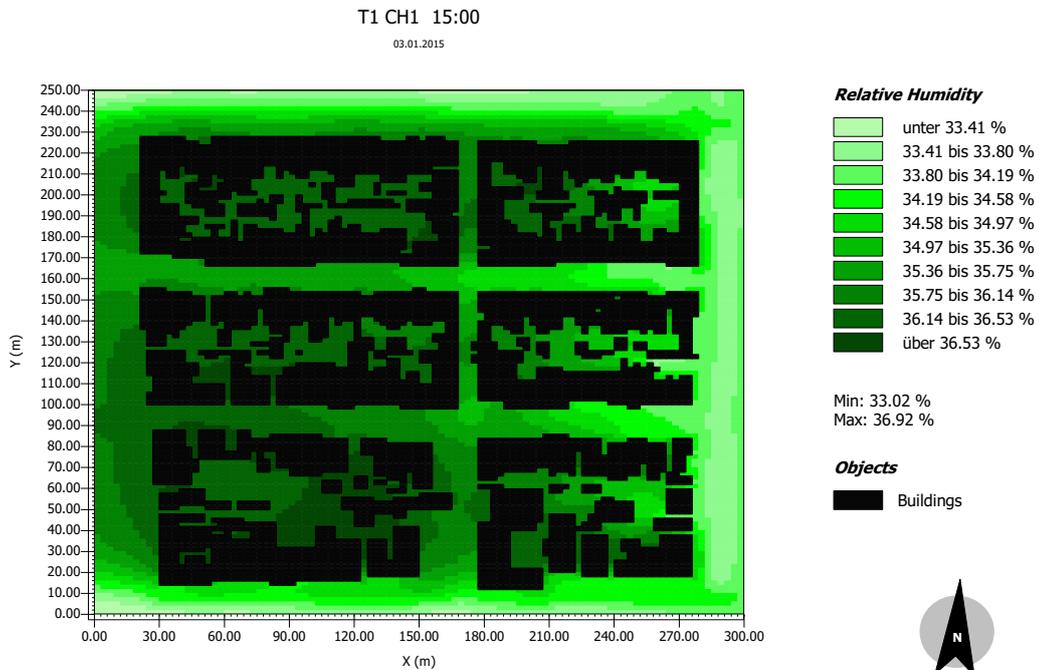


Figura 39: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no tecido **Tipo 1, cenário hipotético 2 (T1 CH2)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

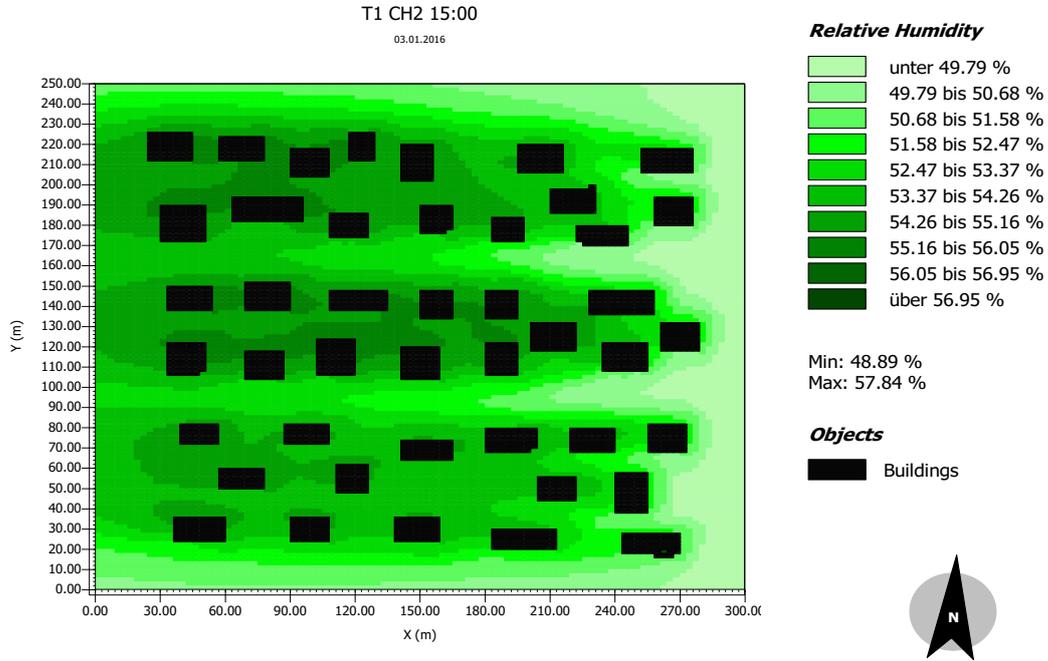
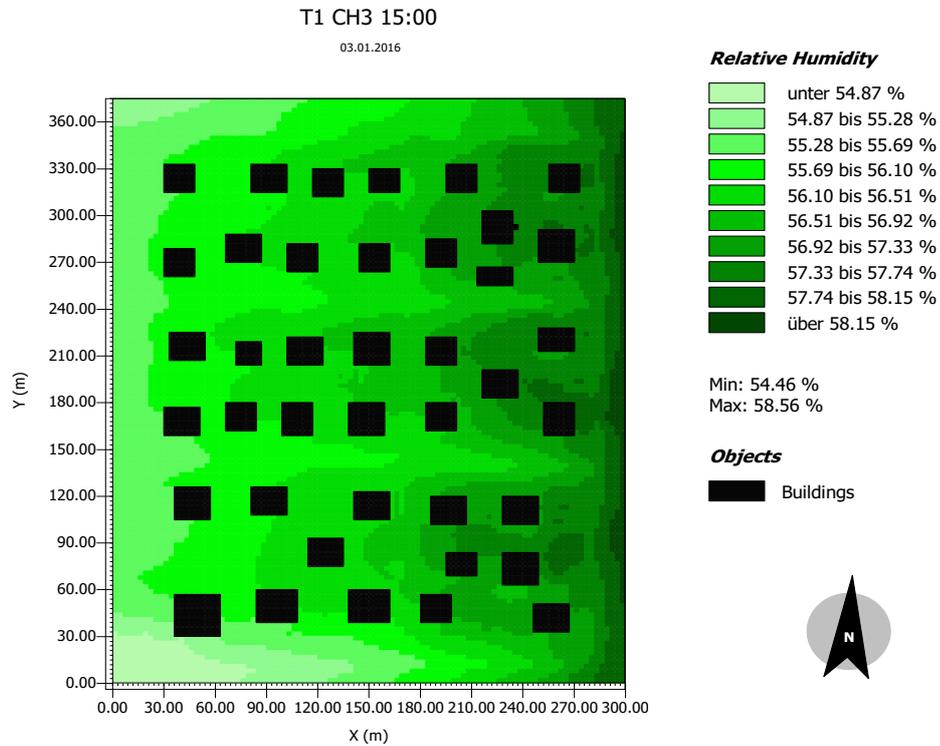


Figura 5.40: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no tecido **tipo 1, cenário hipotético 3 (T1 CH3)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Quadro 5.19: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido urbano Tipo 2 e seus cenários hipotéticos – temperatura do ar e velocidade dos ventos.

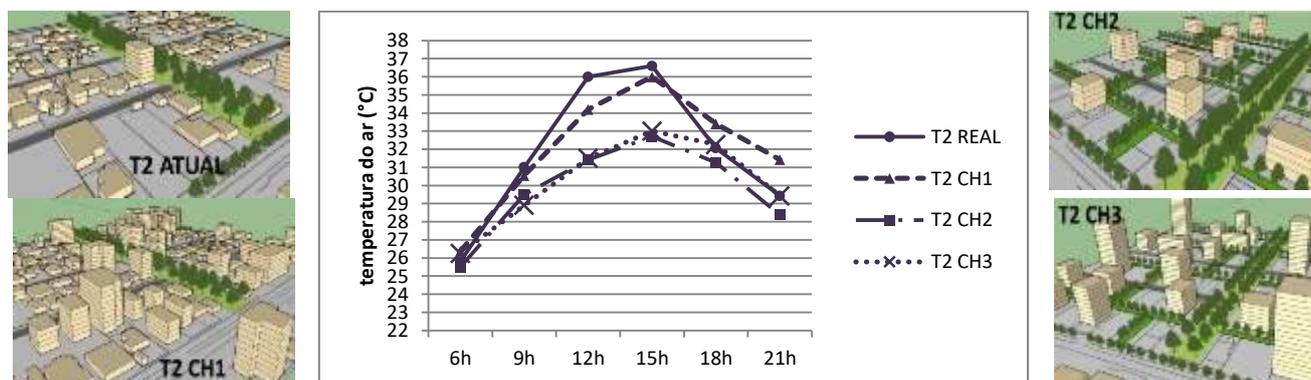
Tipo 2 e cenários hipotéticos – Temperatura do ar (°C) e velocidade dos ventos (m/s)

Dados de temperatura do ar e velocidade do ar obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido Tipo 2 e de seus cenários hipotéticos-- referente ao dia representativo de verão (03.01.2016):

Tipo 2: Novo Horizonte		Temperatura do ar (°C)									Vel. do vento (m/s) no centro	
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude Térmica		máxima no centro
T2 ATUAL	max	26,21	31,52	37,32	37,76	32,21	29,71					
	C	25,80	31,00	36,00	36,60	32,06	29,43	37,76	24,65	13,11	36,60	1,85
	min	4,65	30,46	35,63	36,59	31,79	28,89					
T2 CH1	max	26,92	31,76	35,92	37,16	33,61	31,70					
	C	26,37	30,55	34,20	36,00	33,41	31,43	37,16	25,59	11,57	36,00	0,53
	min	25,59	30,26	33,80	35,59	33,32	31,12					
T2 CH2	max	26,19	29,90	32,03	32,73	31,59	28,99					
	C	25,50	29,50	31,42	32,70	31,26	28,37	32,73	24,76	7,97	32,70	1,17
	min	24,76	28,97	30,68	32,29	31,03	27,83					
T2 CH3	max	26,60	29,16	31,91	33,04	32,41	29,84					
	C	26,25	28,91	31,50	33,00	32,26	29,43	33,04	25,63	7,41	33,00	1,63
	min	25,63	28,79	31,18	32,85	32,02	28,87					

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido urbano

Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no centro dos modelos investigados a partir do tecido urbano Tipo 2 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016):



Quadro 5.20: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido Tipo 2 e seus cenários hipotéticos – umidade relativa do ar.

Tipo 2 e cenários hipotéticos – Umidade relativa do ar (%)											
Dados de umidade relativa do ar obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido urbano Tipo 2 de seus cenários hipotéticos:											
Tipologia 2 Novo Horizonte		Umidade Relativa do Ar (%)									
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude	mínima no centro
T2 REAL	max	83,19	59,71	42,88	37,95	56,13	71,50	83,19	34,20	48,99	37,10
	C	80,00	58,52	40,58	37,10	52,91	66,57				
	min	77,82	55,88	37,69	34,20	51,38	64,63				
T2 CH1	max	77,64	67,60	48,17	44,08	51,61	69,92	77,64	40,66	36,98	42,37
	C	73,00	61,10	46,00	42,37	48,00	63,00				
	min	64,85	59,14	44,80	40,66	44,80	59,70				
T2 CH2	max	78,84	74,18	70,62	61,22	74,53	78,44	78,84	56,53	22,31	60,20
	C	78,00	73,00	68,00	60,20	72,00	78,20				
	min	68,08	66,13	62,74	56,53	65,31	68,00				
T2 CH3	max	77,21	73,09	66,85	63,14	73,01	75,49	77,21	57,93	19,28	60,00
	C	75,00	70,00	64,00	60,00	68,00	74,00				
	min	66,68	64,81	59,69	57,93	63,52	64,18				

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min**: Temperatura mínima identificada no tecido, **C**: temperatura do ar identificada no centro do tecido urbano.

Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no centro dos recintos investigados a partir do tecido Tipo 2 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016):

Horário	T2 ATUAL (%)	T2 CH1 (%)	T2 CH2 (%)	T2 CH3 (%)
6h	83,19	80,00	77,82	77,64
9h	59,71	58,52	55,88	67,60
12h	42,88	40,58	37,69	48,17
15h	37,95	37,10	34,20	44,08
18h	56,13	52,91	51,38	51,61
21h	71,50	66,57	64,63	69,92

No caso dos cenários estudados a partir do tecido urbano Tipo 2, a diferenciação quanto ao desempenho climático dos cenários simulados, também, foi evidenciada. O tecido Tipo 2, correspondente à condição atual de ocupação presente no bairro Novo Horizonte e apresenta um padrão morfológico marcado pela presença de massa vegetativa representada pelo corredor verde. A ocupação da malha é dispersa, marcada pela presença de lotes ainda não edificadas. Como a investigação microclimática, realizada a partir de dados obtidos *in loco*, indicou a amenização térmica deste tipologia em relação ao tecido Tipo 1 (capítulo 4, item 4.3), os cenários estudados foram elaborados a partir de uma variação quanto ao padrão de distribuição de massa vegetada e volume construído. Buscou-se investigar como o aumento da densidade construtiva poderia afetar este desempenho e como a distribuição da massa vegetativa na malha poderia contribuir para potencializar a amenização climática. Observou-se que, o padrão morfológico horizontal disperso (T2 ATUAL), com presença de corredor verde, pode ser ajustado para otimizar o desempenho climático de recintos urbanos, mesmo a partir do aumento da densidade construtiva. Os resultados referentes ao comportamento da temperatura do ar apontam uma diferença de até 4,58°C, às 12h, entre o tecido Tipo 2 - condição atual (T2 ATUAL) e o cenário hipotético 2 (T2CH2) considerando os dados obtidos nos pontos centrais dos cenários estudados (quadro 5.19). Às 15h, esta diferença foi de 3,9°C. Nos horários correspondentes à ausência da incidência de radiação solar direta (18h e 21h), o cenário hipotético 1 (T2CH1) apresentou valores de temperatura do ar superiores aos demais cenários. Ou seja, para uma condição referente ao aumento de densidade construtiva sem a modificação do padrão de morfologia, ocorreu uma amenização térmica no período diurno, sob a influência do sombreamento pela estrutura edificada, porém, ocorre o armazenamento da energia térmica acumulada pelas edificações.

Figura 5.41: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no **tecido Tipo 2, condição atual (T2 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016

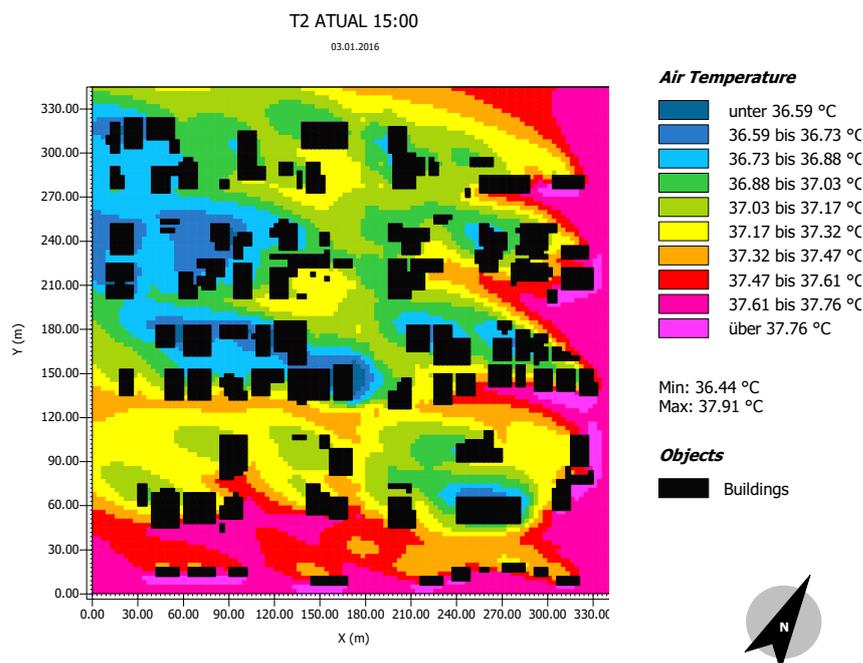


Figura 5.42: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h cenário hipotético T2 CH1** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

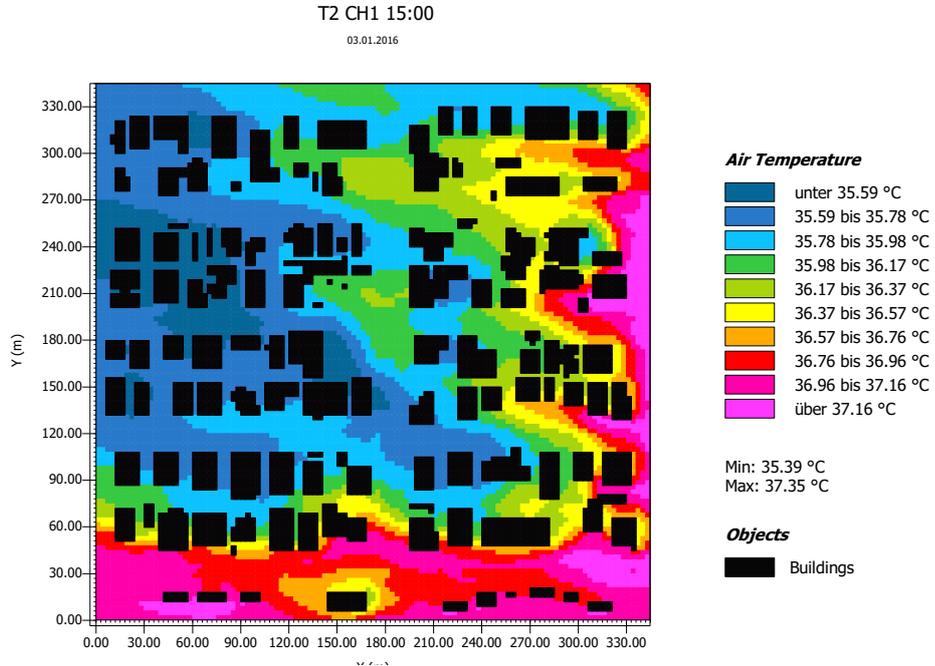


Figura 5.43: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h na tipologia 2, cenário hipotético T2 CH2**, na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

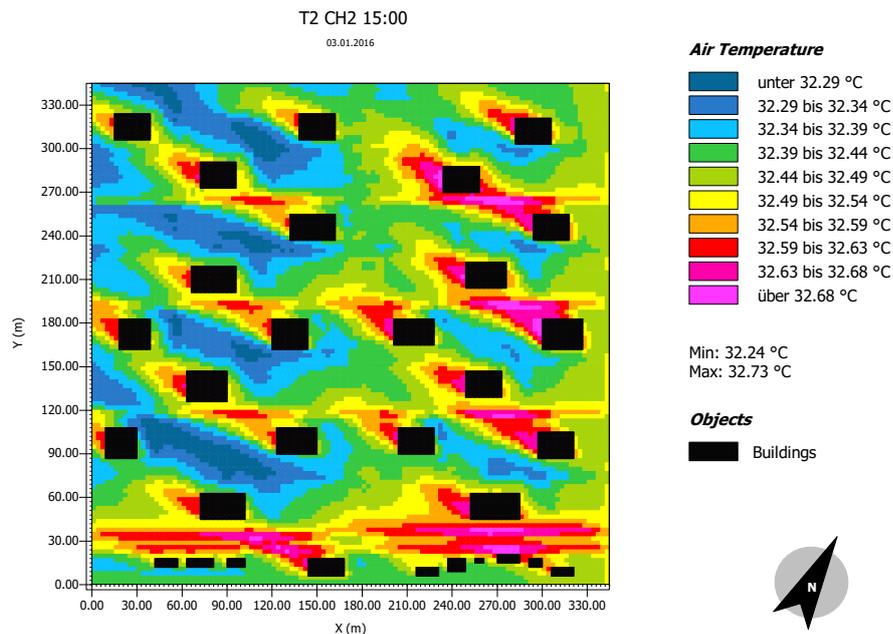
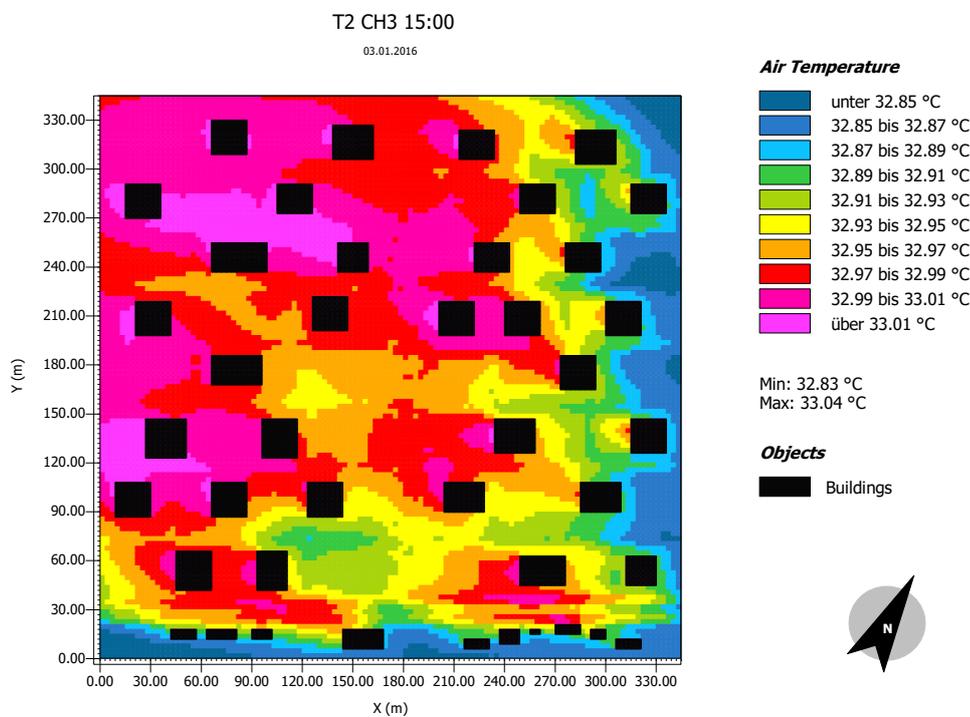


Figura 5.44: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** na **tipologia 2, cenário hipotético T2 CH3** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Analisando o padrão de distribuição dos dados de temperatura nas malhas simuladas às 15h, observa-se que os valores mínimos estão registrados não apenas no corredor verde, mas, principalmente, nas áreas sombreadas. Por isso, o cenário hipotético 2 (T2CH2) e o cenário hipotético 3 (T2CH3) apresentam melhor distribuição da amenização microclimática, configurando uma espacialização mais uniforme dos valores correspondentes à temperatura mínima identificada nestas tipologias (figuras 5.43 e 5.44). É importante destacar também, que estes cenários apresentaram menor amplitude térmica, correspondendo a 7,97°C e 7,41°C respectivamente, diferenciando-se em relação aos demais que apresentam valores superiores a 10°C (T2 ATUAL e T2CH1).

Ou seja, as tipologias: *vertical baixo disperso* (T2CH2) e *vertical alto disperso rugoso* (T2CH3), ao incorporarem espaços arborizados integrados podem contribuir significativamente para um desempenho climático adequado às condições de conforto térmico para o período quente e úmido. Os parâmetros determinantes destas morfologias são:

- para **T2CH2 (vertical baixo disperso)**: baixa taxa de ocupação do solo (T.O=0,082), alto percentual de solo natural (Tsn=0,69), alta porosidade da malha (PoMa= 0,9), baixa densidade de área frontal – FAD (0,09), presença de vegetação com distribuição integrada IDA (0,52)

- para **T2CH3 (vertical alto disperso rugoso)**: baixa taxa de ocupação do solo (T.O= 0,092), alto coeficiente de aproveitamento do solo (C.A= 8,82), alto percentual de solo natural (Tsn=0,69), alta porosidade da malha (PoMa= 0,9), alta rugosidade absoluta (RgAb= 3,0) e presença de vegetação com distribuição integrada (IDA =0,423).

Os dados referentes ao comportamento da umidade relativa do ar demonstram que os cenários T2CH2 e T2CH3 apresentam, portanto, um padrão morfológico capaz de potencializar o uso da estratégia bioclimática *resfriamento evaporativo*, pois os valores registrados nestes cenários são superiores aos demais, com diferenças acima de 20%. Às 12h a diferença entre o resultado registrado no centro do tecido T2 ATUAL e no cenário T2CH2 foi de 27,42%. Ou seja, a incorporação da massa vegetativa a partir de uma configuração integrada de arborização possibilitou o incremento da umidade do ar favorecendo, consequentemente a redução da temperatura do ar.

Figura 5.45: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no tecido **Tipo 2 (T2 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

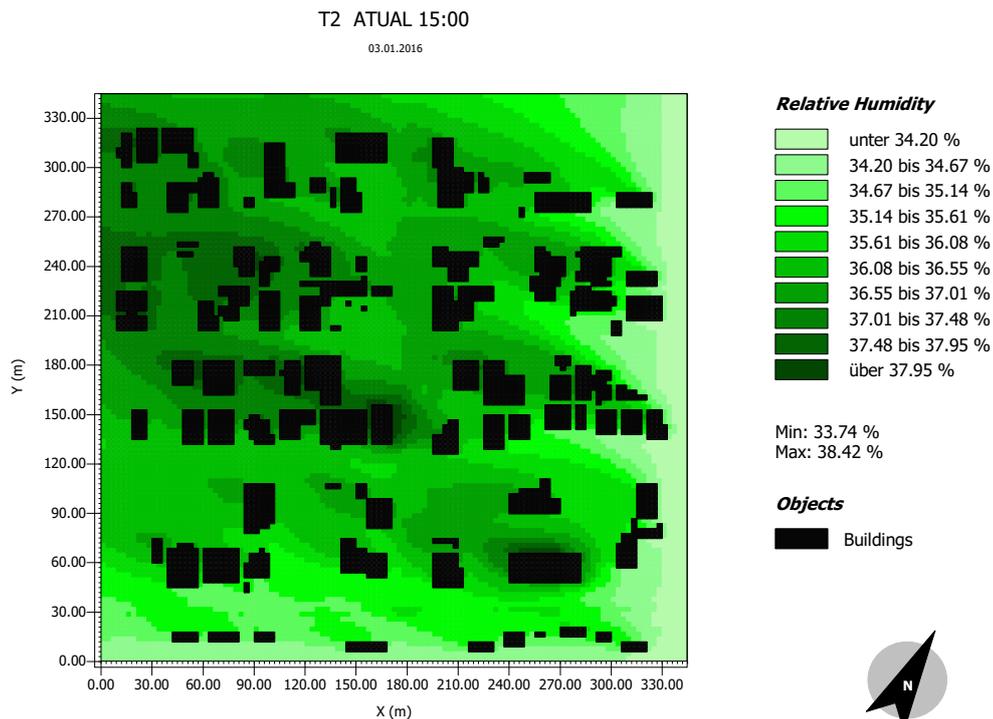


Figura 5.46: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no **cenário hipotético T2CH1** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

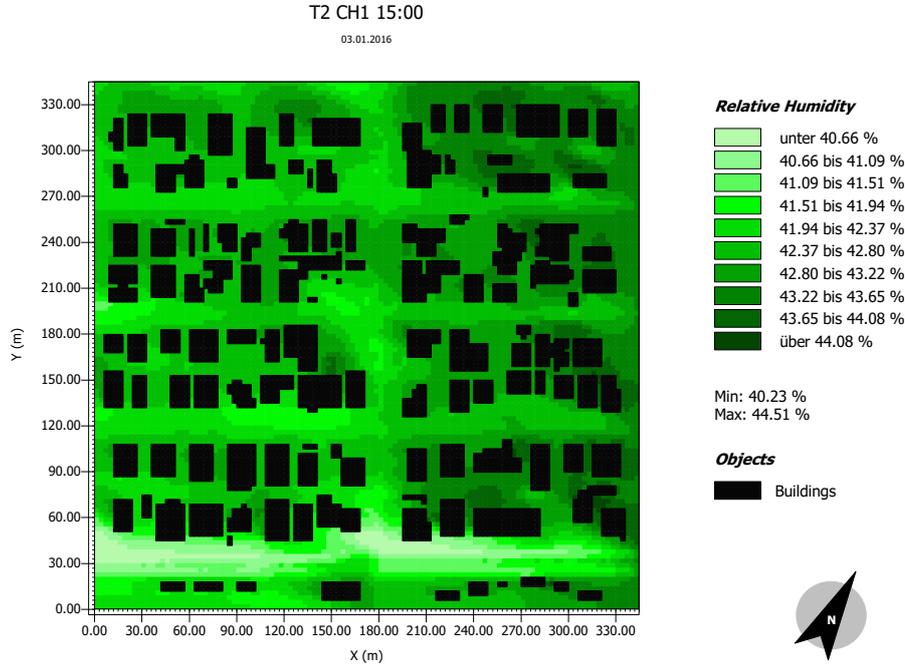


Figura 5.47: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no **cenário hipotético T2CH2** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

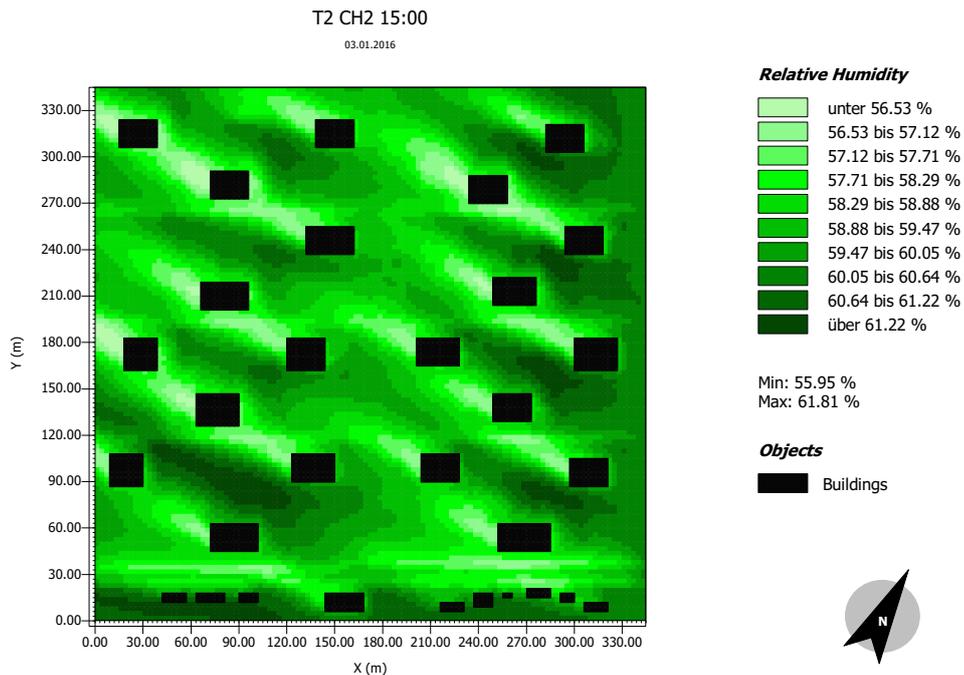
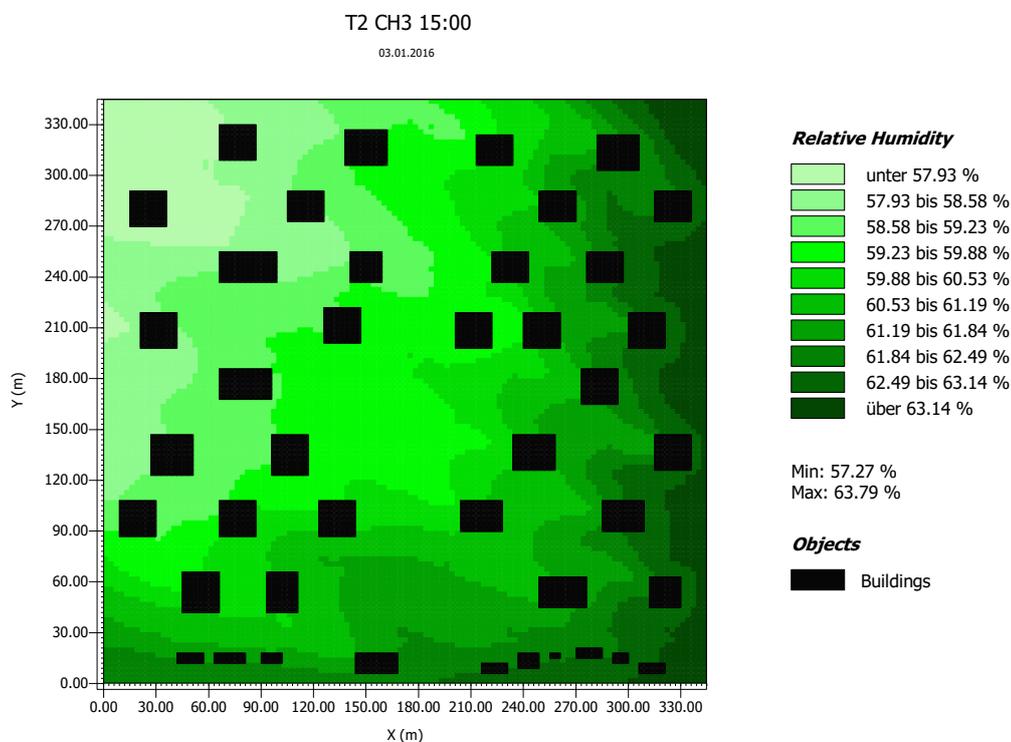


Figura 5.48: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar** às no **cenário hipotético T2CH3** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Observando o quadro 5.20, é possível verificar que as diferenciações entre o comportamento da umidade relativa do ar entre os tecidos é maior nos horários de exposição à radiação solar. Desta forma, o aumento da umidade relativa do ar nas tipologias T2CH2 e T2CH3 possibilita um equilíbrio térmico microclimático representado pela menor amplitude térmica nestes recintos (gráfico do quadro 5.19). Neste aspecto, a redução da amplitude térmica contribui significativamente para a melhoria do desempenho climático urbano otimizando as condições para a incorporação da estratégia bioclimática no interior das edificações urbanas.

Percebe-se assim, que o tratamento dos espaços livres na malha urbana torna-se um importante condicionante do desempenho climático de tecidos urbanos. Tanto para as condições de manutenção da densidade construtiva, como também, para o aumento desta variável, os cenários T2CH2 e T2CH3 demonstram que a mudança de morfologia urbana a partir da definição da quadra como elemento mínimo de projeto urbano, foi imprescindível para a incorporação eficaz das estratégias bioclimáticas na escala urbana.

Figura 5.49: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário **T2CH1**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

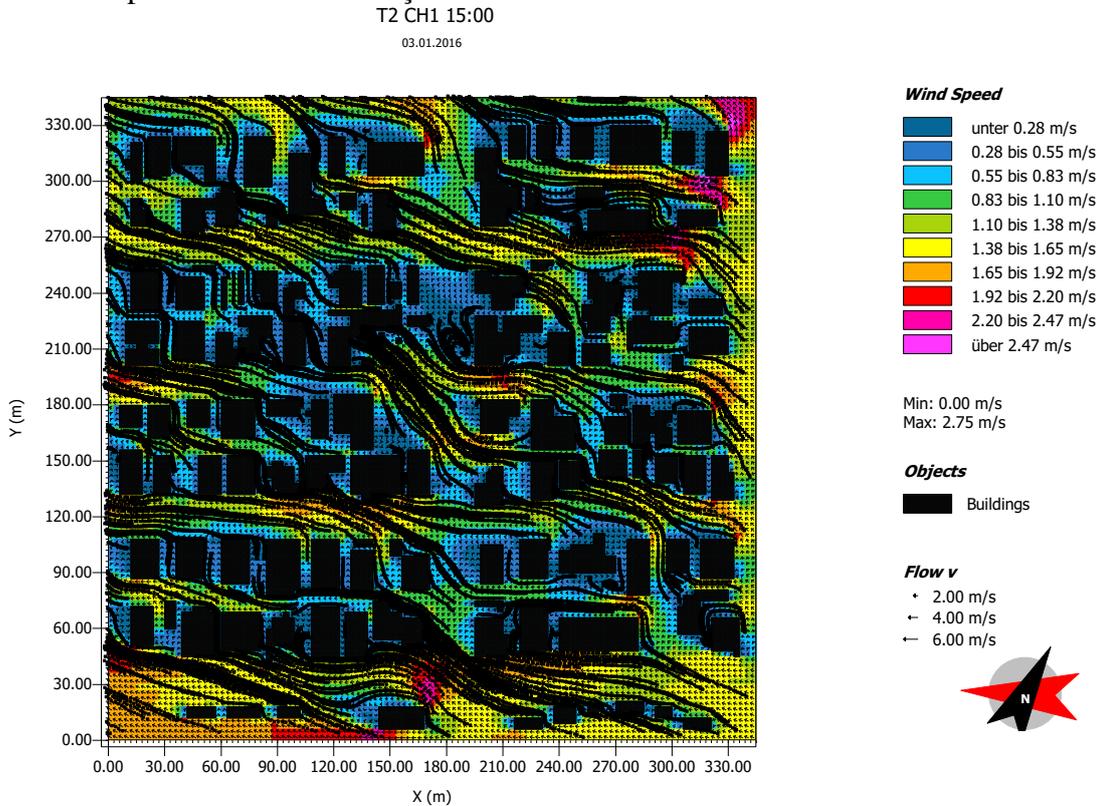


Figura 5.50: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário **T2CH2**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste

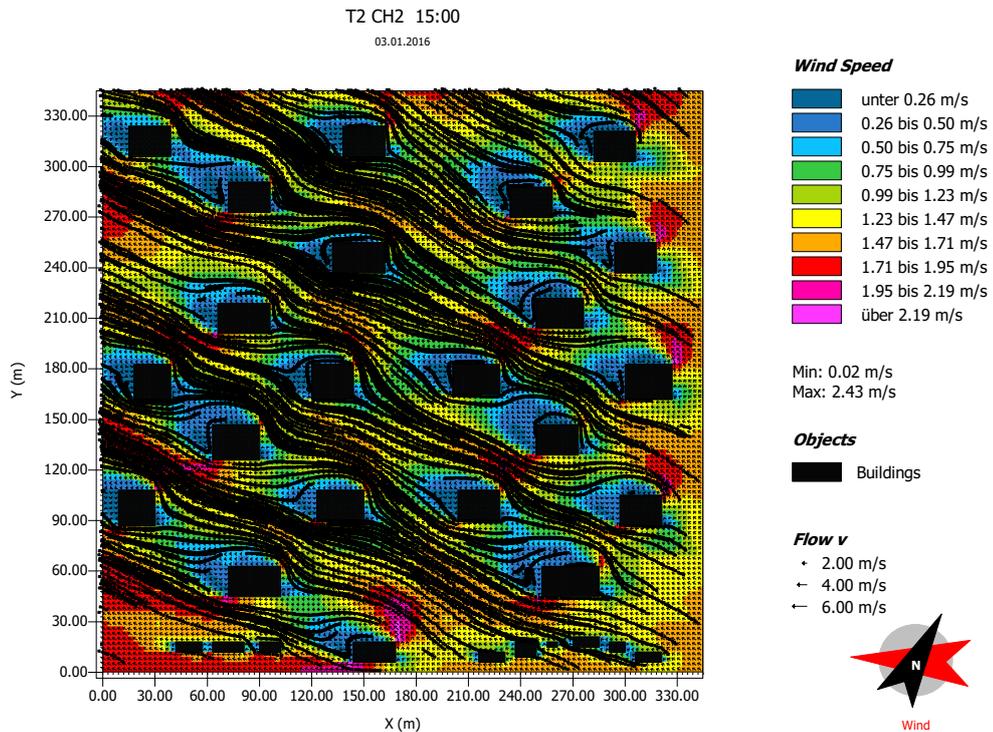
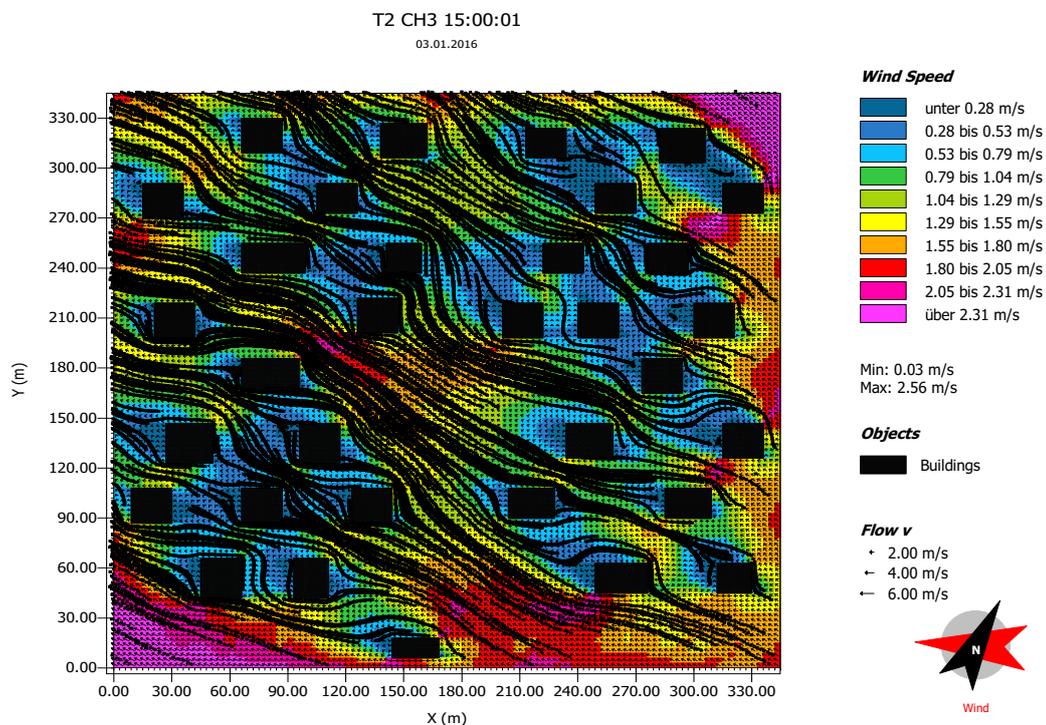


Figura 5.51: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no **cenário T2CH3**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste



Quadro 5.21: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido Tipo 3 e seus cenários hipotéticos – temperatura do ar e velocidade dos ventos.

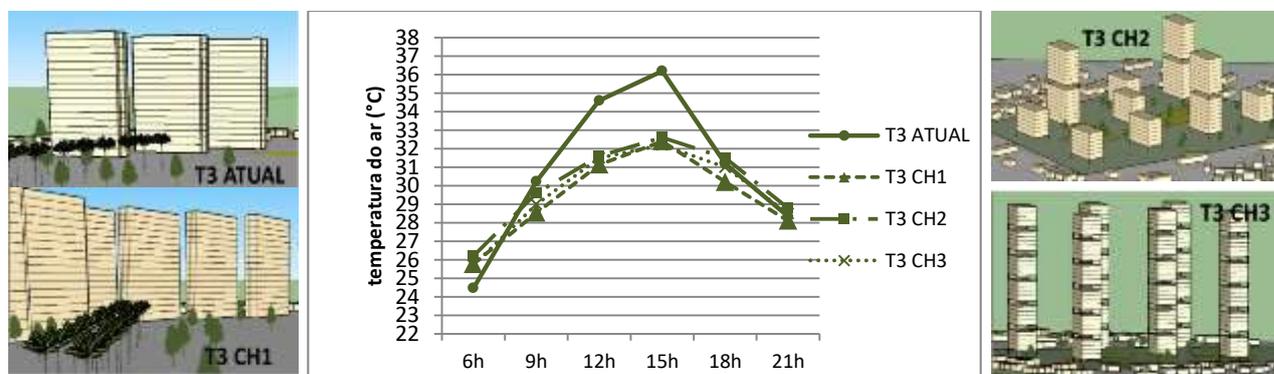
Tipo 3 e cenários hipotéticos – Temperatura do ar (°C) e velocidade dos ventos (m/s)

Dados de temperatura do ar e velocidade do ar obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido Tipo 3 de seus cenários hipotéticos-- referente ao dia representativo de verão (03.01.2016).

Tipo 3: Espace		Temperatura do ar (°C)										Vel. do vento (m/s) no centro
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude Térmica	máxima no centro	
T3 ATUAL	max	24,92	30,76	35,86	37,40	31,46	28,74					
	C	24,47	30,24	34,60	36,20	31,19	28,34	37,40	24,47	12,93	36,20	1,30
	min	23,91	29,97	34,41	36,11	30,65	27,69					
T3 CH1	max	26,56	28,61	31,36	31,91	30,63	28,77					
	C	25,77	28,54	31,14	32,40	30,20	28,11	31,91	25,14	6,77	32,40	1,40
	min	25,14	28,30	30,77	32,60	29,89	27,65					
T3 CH2	max	26,63	29,61	31,79	32,79	31,82	28,99					
	C	26,20	29,60	31,60	32,60	31,50	28,80	32,79	25,90	6,89	32,60	1,82
	min	25,90	29,36	31,31	32,27	31,53	28,31					
T3 CH3	max	26,16	29,00	31,74	32,62	31,12	28,93					
	C	25,70	29,00	31,50	32,20	31,00	28,50	32,62	25,11	7,51	32,20	1,75
	min	25,11	28,69	31,32	32,03	30,77	28,31					

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido.

Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no centro dos recintos investigados a partir do tecido Tipo 3 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Quadro 5.22: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido Tipo 3 e seus cenários hipotéticos – umidade relativa do ar.

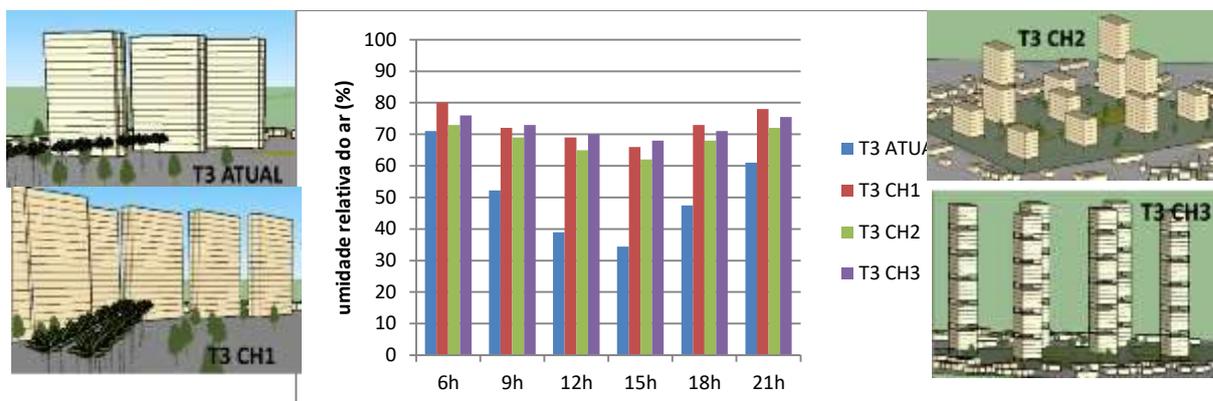
Tipologia 3 e cenários hipotéticos – Umidade relativa do ar (%)

Dados de umidade relativa do ar obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido Tipo 3 de seus cenários hipotéticos.

Tipo 3: Espace		Umidade Relativa do Ar (%)									
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude	mínima no centro
T3 REAL	max	75,75	52,76	39,41	34,42	51,60	67,64				
	C	71,00	52,20	39,00	34,38	47,48	61,00	75,75	33,13	42,62	34,38
	min	67,23	51,63	37,87	33,13	45,33	57,53				
T3 CH1	max	80,26	75,39	69,98	71,25	75,77	80,26				
	C	80,00	72,00	69,00	66,00	73,00	78,00	80,26	61,51	18,75	66,00
	min	67,98	65,70	62,11	61,51	64,71	67,98				
T3 CH2	max	76,65	73,56	69,00	64,26	72,58	75,02				
	C	73,00	69,00	65,00	62,00	68,00	72,00	76,65	59,45	17,20	62,00
	min	68,51	66,12	62,96	59,45	65,25	66,43				
T3 CH3	max	76,07	75,05	72,77	70,38	72,13	76,67				
	C	75,00	73,00	70,00	68,00	71,00	75,50	76,67	63,94	12,73	68,00
	min	66,49	68,29	66,68	64,87	63,94	68,83				

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido.

Gráfico referente ao Comportamento da umidade relativa do ar no centro dos recintos investigados a partir do tecido Tipo 3 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Os resultados referentes à avaliação dos cenários elaborados a partir do tecido Tipo 3 (Residencial Espace) também apontam para a otimização do desempenho climático a partir de diferentes formas de tecido urbano. Neste terceiro caso, correspondente às variações dos padrões de ocupação de tecidos verticalizados, os cenários foram definidos a partir de alterações na configuração do conjunto edificado e distribuição de massa vegetativa.

O tecido Tipo 3, Residencial Espace, representa um padrão de verticalização recentemente identificado na cidade de Arapiraca. O volume edificado atual (T3 ATUAL) apresenta 3 torres de 16 pavimentos de uso residencial com presença de vantajosos espaços livres no entorno imediato. Porém, o projeto do condomínio contempla um total de 6 torres, com mesma orientação e composição volumétrica. Desta forma, o primeiro cenário hipotético foi elaborado considerando a construção futura de todas as seis torres (T3 CH1- *vertical alto homogêneo*), atendendo a condição referente ao aumento de densidade e permanência do padrão de morfológico urbano.

Como um dos principais impactos causados pelos volumes edificados verticalizados urbanos refere-se à modificação no comportamento e distribuição de massas de ar na malha urbana, os demais cenários foram elaborados a partir da determinação de uma composição volumétrica que, hipoteticamente, representasse um menor impacto quanto ao aproveitamento dos ventos predominantes locais no tecido urbano.

A porosidade da malha nos cenários elaborados a partir do tipo espacial 3 apresenta valores equivalentes à condição atual (T3 ATUAL). As principais alterações sobre o padrão de morfológico foram as seguintes:

- **T3 CH2 – Vertical heterogêneo disperso:** redução da *densidade de área frontal* (FAD=0,08) e *prospecto médio* (Pm=0,58), aumento do *índice de densidade arbórea* (IDA= 0,54) e redução do *coeficiente de aproveitamento* (C.A= 9,33).
- **T3 CH3 – Vertical Alto Poroso:** aumento da *porosidade do conjunto edificado* (PoCedif=0,13) e do *índice de densidade arbórea* (IDA= 0,54), aumento do *prospecto médio* (Pm=2,0).

Considerando os dados obtidos no centro dos recintos, é possível identificar no gráfico do quadro 5.21, que os cenários hipotéticos apresentam redução da amplitude térmica em relação ao perfil da temperatura do ar diagnosticada na condição de ocupação atual (T3 ATUAL). Ou seja, todas as três condições hipotéticas estudadas favoreceram a amenização térmica em relação ao atual padrão de ocupação do Residencial Espace – tipo 3. Analisando os dados simulados para às 15h, registrados nos pontos centrais os recintos, observou-se uma diferença de 4,0°C entre o cenário T3 ATUAL (36,2°C) e o cenário hipotético T3 CH3 (32,2°C).

Figura 5.51: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no tecido **Tipo 3, condição atual (T3 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

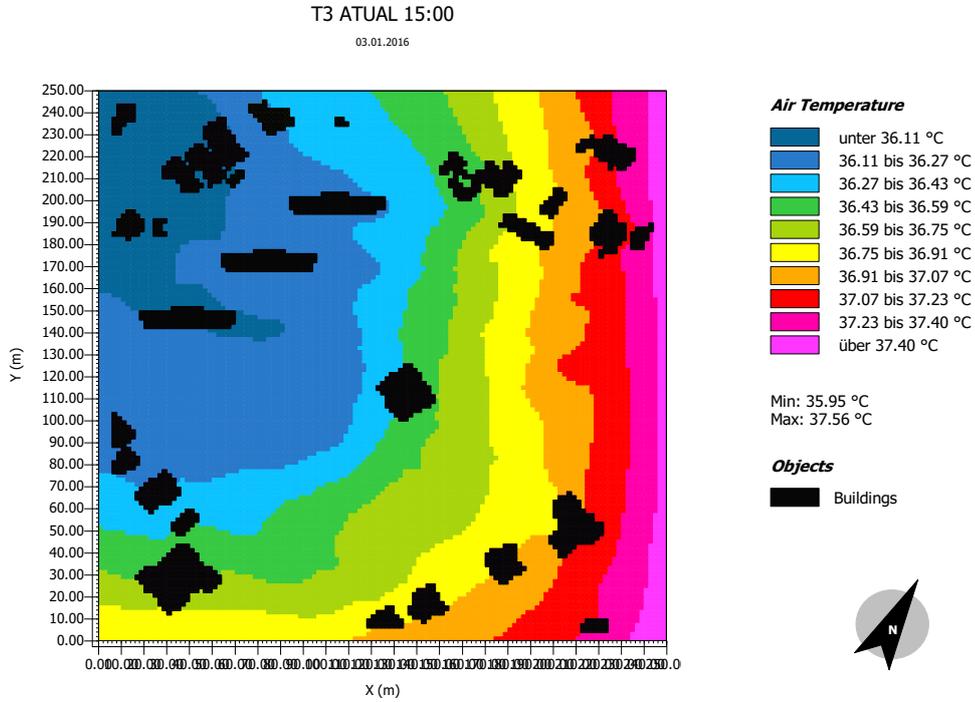


Figura 5.52: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no cenário hipotético **T3 CH1** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

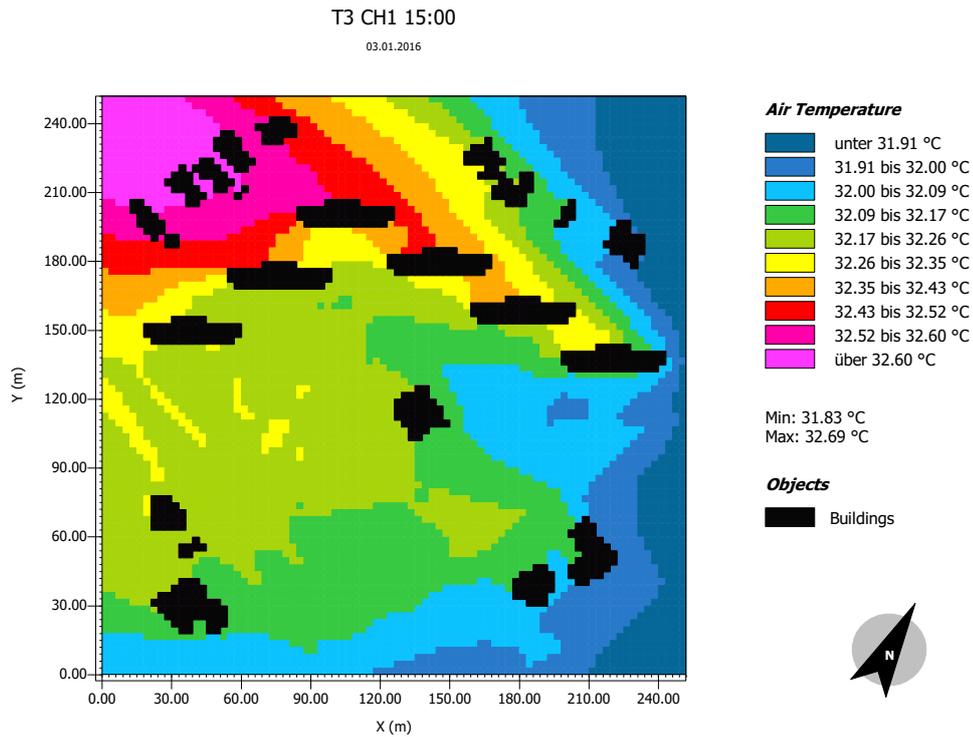


Figura 5.53: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no **cenário hipotético T3 CH2** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

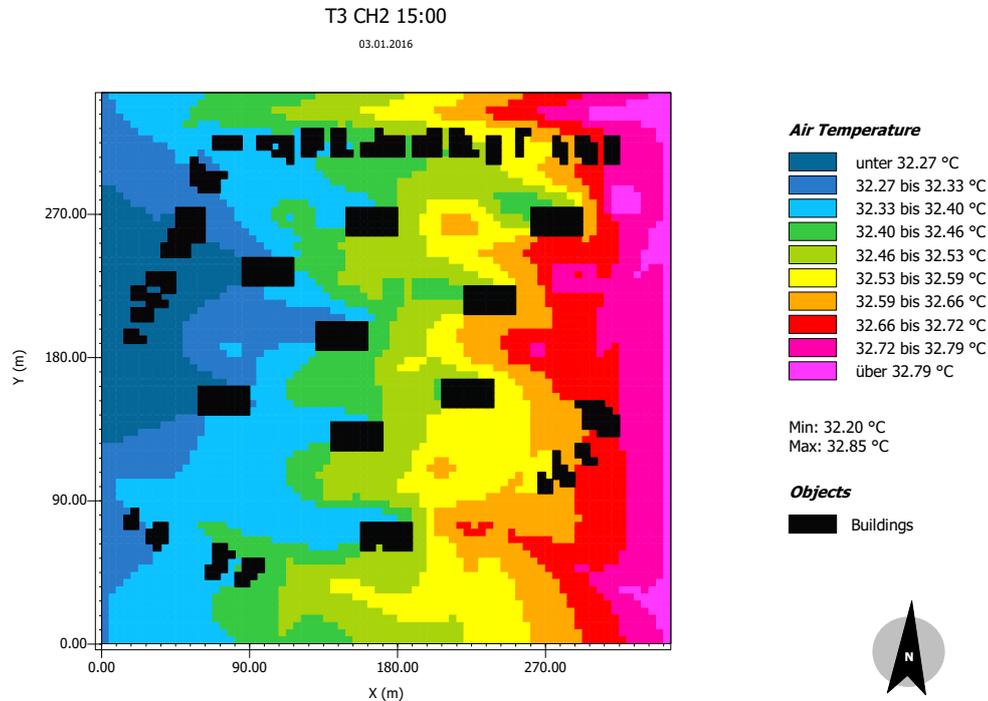
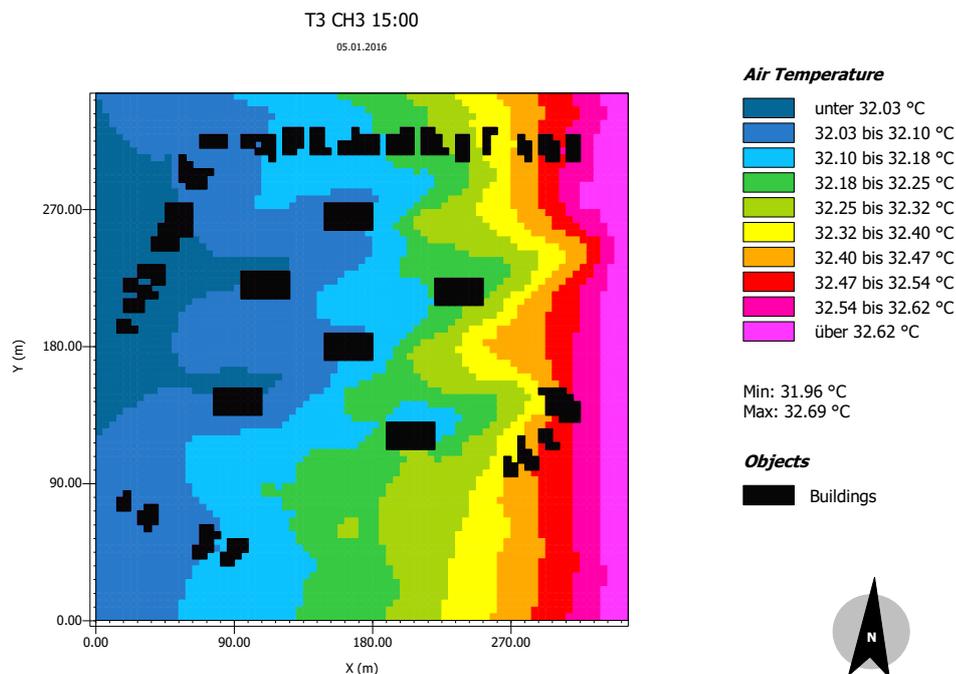


Figura 5.54: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no **cenário hipotético T3 CH3** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Em relação à umidade relativa, a maior diferença foi de 33,62%, verificada entre a condição atual (T3 ATUAL – 34,38%) e o cenário 3 (T3CH3 – 68%). Além do aumento significativo no IDA, que contribui, na escala microclimática, para o aumento da umidade relativa do ar (quadro 5.22); o cenário hipotético 3 apresenta um conjunto edificado com porosidade elevada e verticalidade que favorece o sombreamento nos horários de radiação solar intensa (comparar figuras 5.57 a 5.59).

Verifica-se, também, que excetuando a condição atual, os cenários hipotéticos apresentam comportamento similar, tanto em relação à temperatura do ar como em relação à umidade relativa. Neste caso, a maior diferença foi de 1,3°C, referente à temperatura do ar, registrada às 18h, entre o cenário T3CH2 (31,5°C) e o cenário T3CH1 (30,2°C) (quadro 5.21), e de 7% , referente à umidade relativa do ar , registrada às 6h, entre T3CH1 (80%) e T3CH2 (73%).

Figura 5.55: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no cenário **T3 ATUAL**, na escala microclimática (altura 1,5m), gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

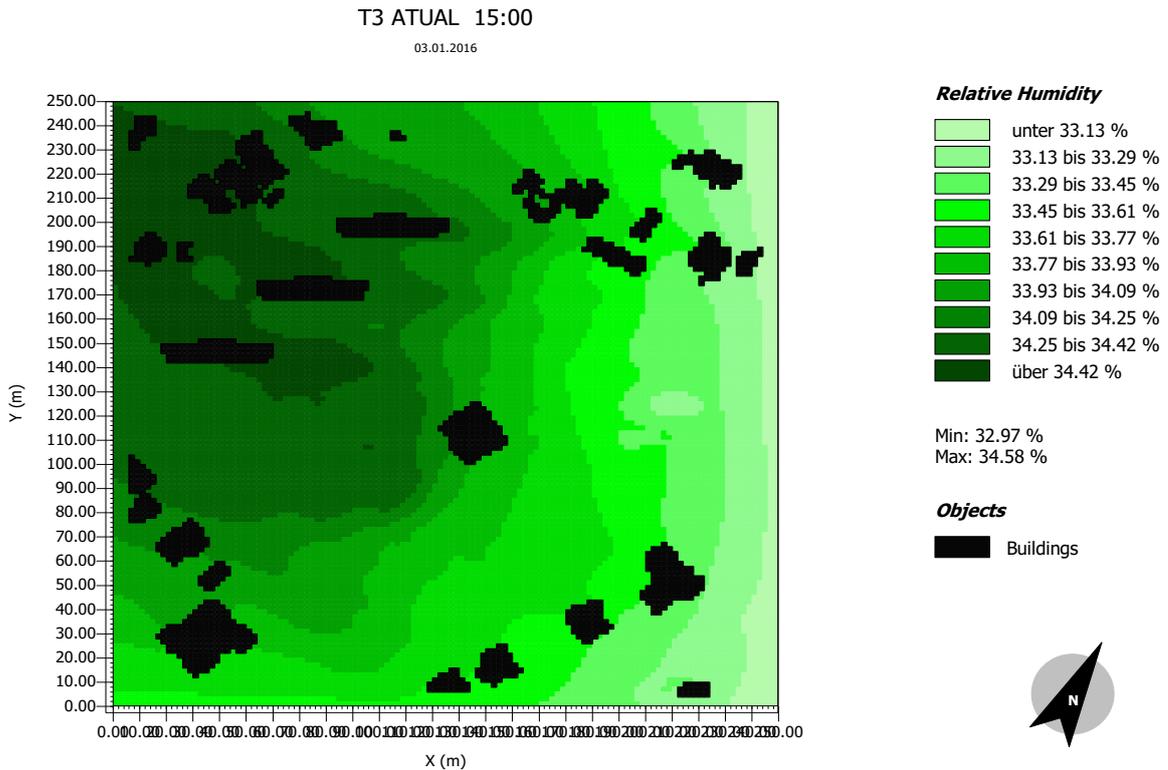
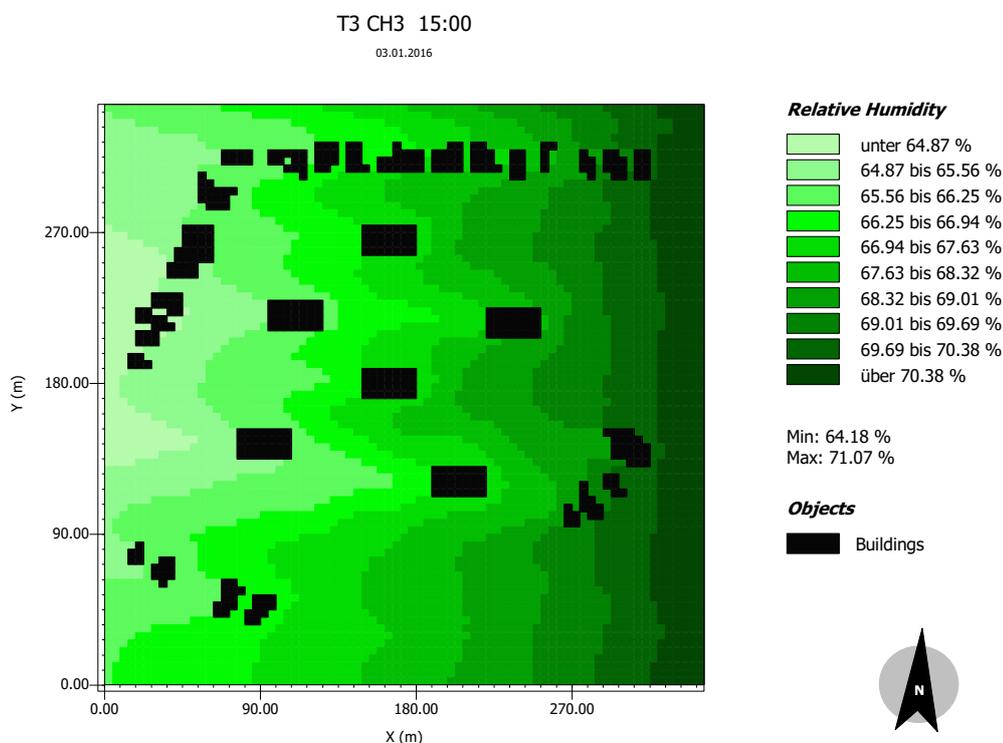


Figura 5.56: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no **cenário hipotético T3 CH3**, na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Quanto ao padrão de distribuição das massas de ar para aproveitamento da estratégia bioclimática *ventilação natural*, os cenários apresentaram comportamentos distintos. Considerando a incidência predominante da direção leste (segundo perfil climático do objeto empírico), a análise através dos mapas temáticos referentes à trajetória das massa de ar, é possível verificar que qualitativamente, os cenários T3CH2 e T3CH3 possuem significativo potencial para aproveitamento dos ventos predominantes locais.

Neste caso, é importante destacar que o tipo de implantação e orientação do volume edificado constituem os principais fatores para determinação do desempenho climático dos tecidos urbanos. Os parâmetros *densidade de área frontal* –FAD, a *porosidade da malha*, a *porosidade do conjunto edificado* e *rugosidade* e *recuos médios* são os que apresentam maior influência sobre o padrão de distribuição das massas de ar pois, quando associados, correspondem a caracterização do grau de abertura do volume edificado para as trocas térmicas de calor sensível e latente. Quanto maior a abertura do conjunto edificado, maior a possibilidade de resfriamento do arranjo construtivo quando as massas de ar estão também resfriadas. Desta forma, quando a estratégia bioclimática *resfriamento evaporativo* é incorporada, a disponibilidade de espaços livres através do aumento dos parâmetros supra citados, pode favorecer significativamente o desempenho climáticos urbano.

Figura 5.57: Resultado referente à **intensidade da radiação solar direta no tecido – Tipo 3 condição atual (T3 ATUAL)**. Destaca-se na cor escura (azul) a área sombreada na malha simulada (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

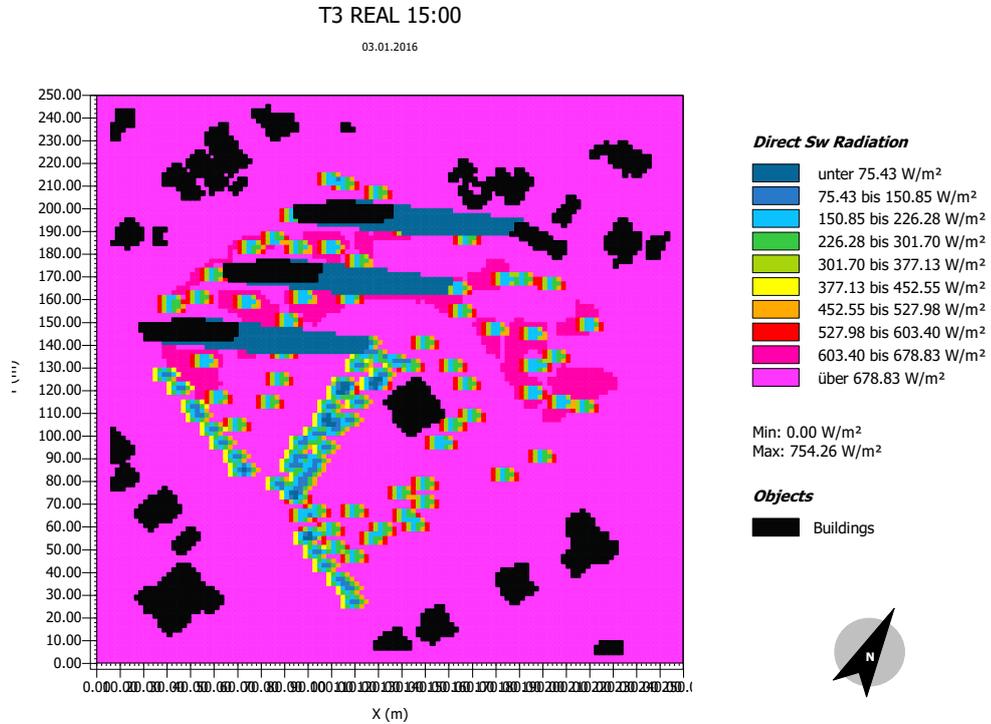


Figura 5.58: Resultado referente à **intensidade da radiação solar direta no cenário T3CH2**. Destaca-se na cor escura (azul) a área sombreada na malha simulada (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

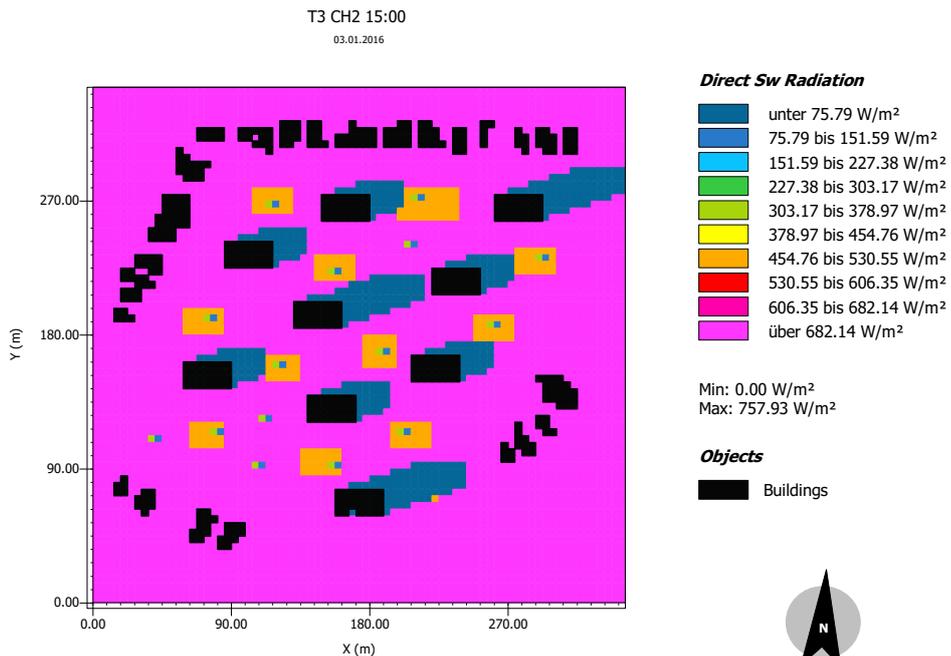


Figura 5.59: Resultado referente à **intensidade da radiação solar direta no cenário T3CH3**. Destaca-se na cor escura (azul) a área sombreada na malha simulada (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

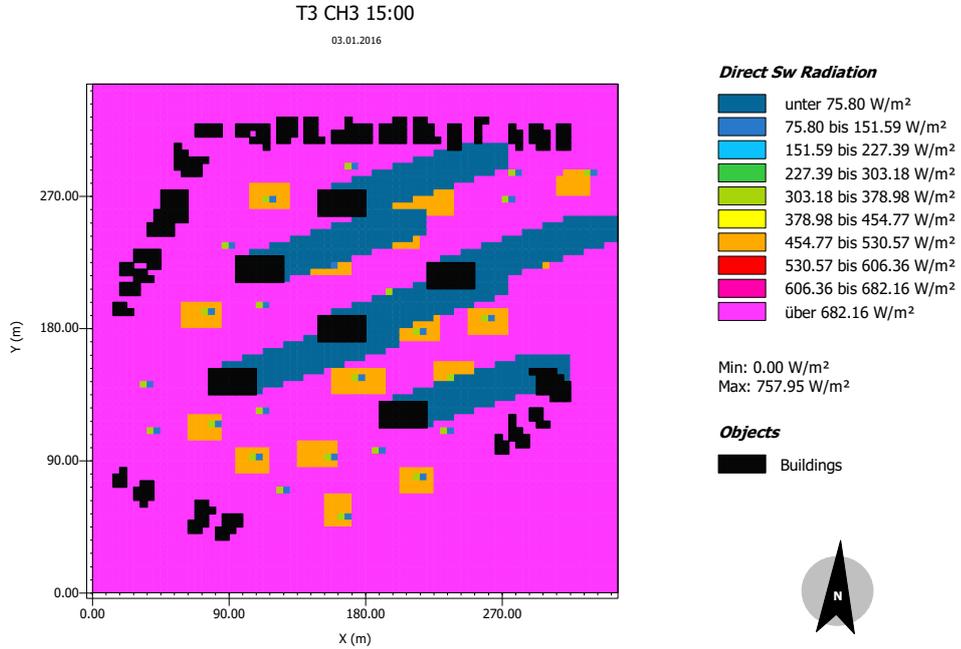


Figura 5.60: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos no tecido Tipo 3, condição atual (T3 ATUAL)** simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

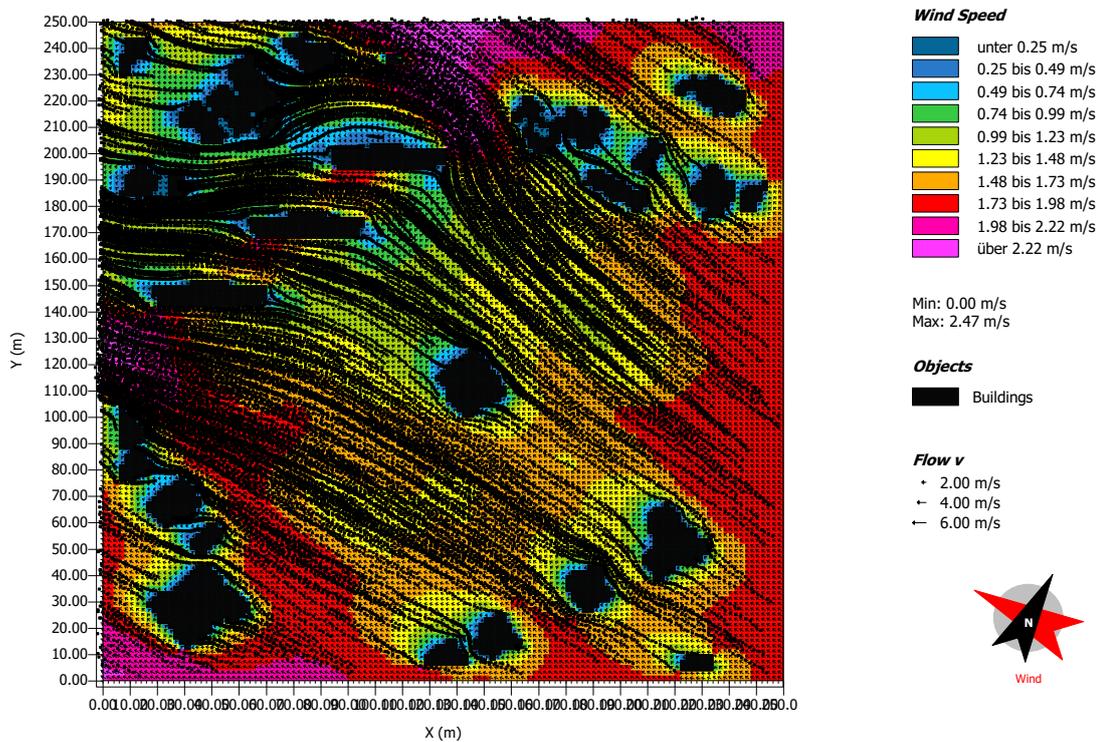


Figura 5.61: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário hipotético **T3 CH1**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

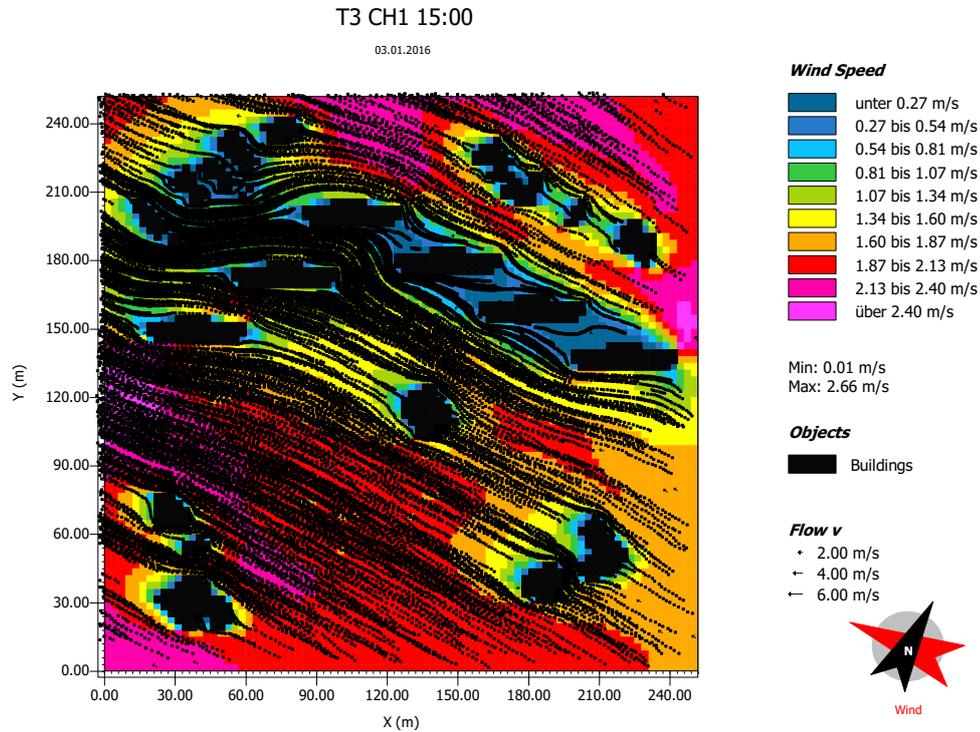


Figura 5.62: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário hipotético **T3 CH2**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

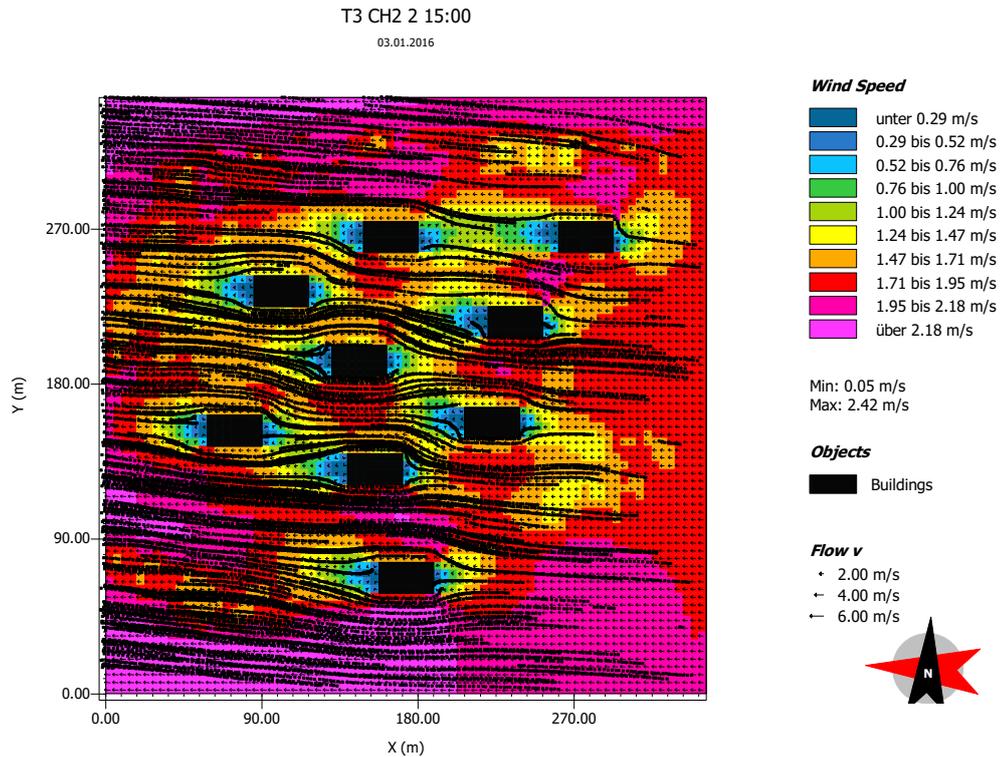


Figura 5.63: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário hipotético **T3 CH2**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

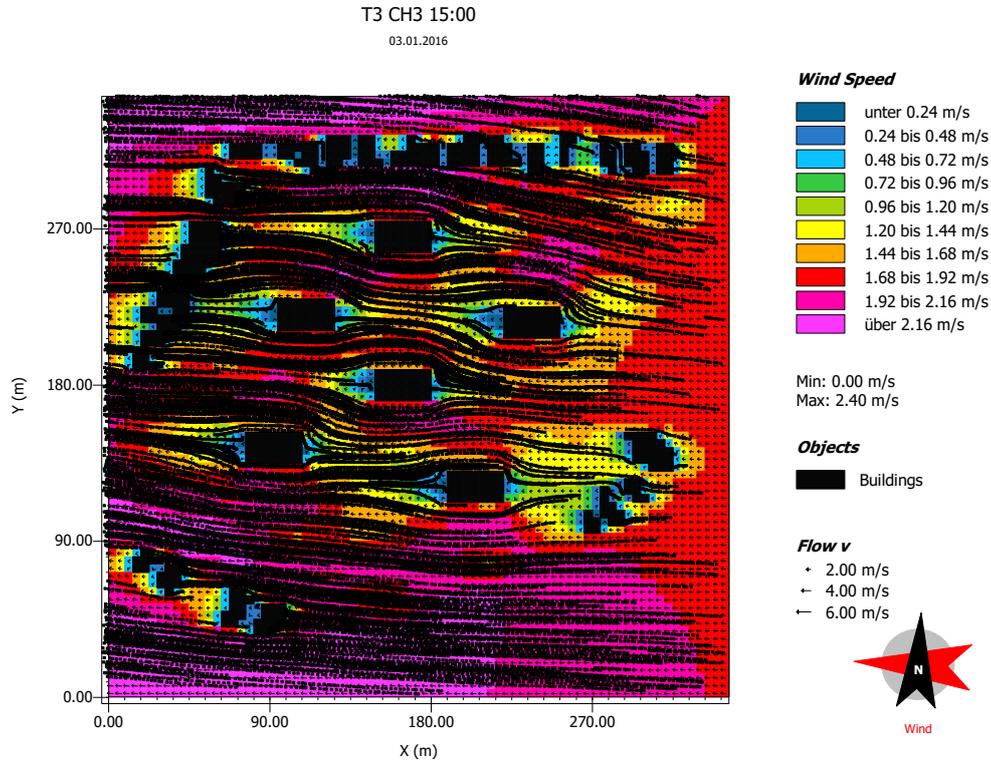
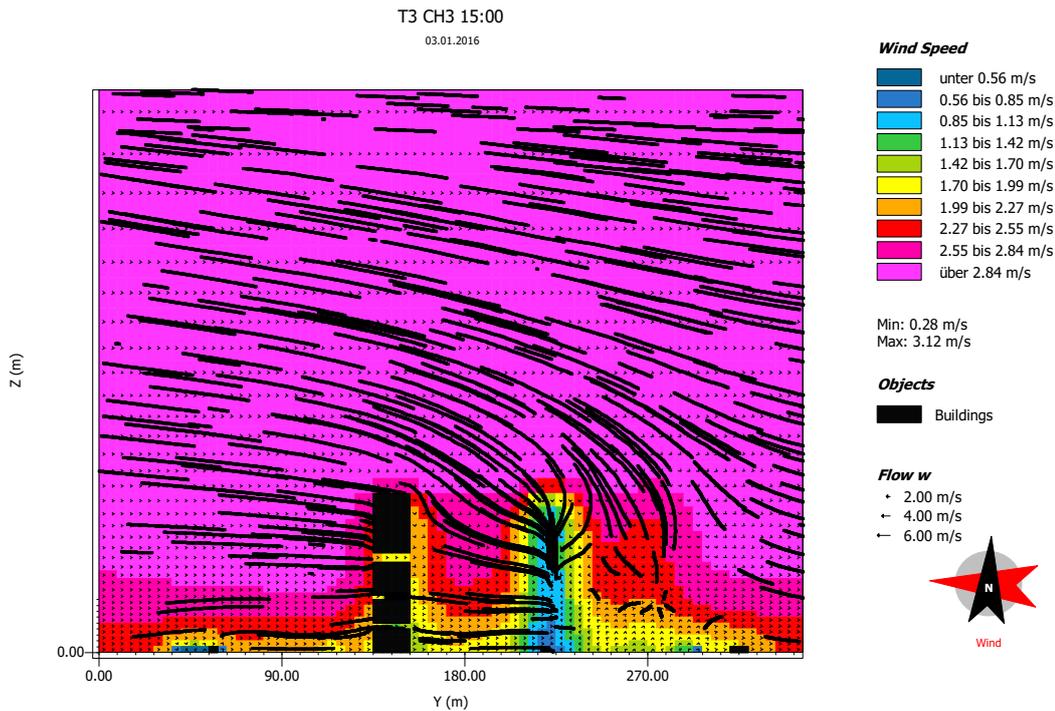


Figura 5.64: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário hipotético **T3 CH3**, corte vertical : influência da porosidade do conjunto edificado na diminuição das barreiras para aproveitamento da ventilação natural (os pavimentos vazados permitem a melhor dissipação das massas de ar).



Observando a figura 5.64, é possível verificar, através do corte vertical do tecido referente ao cenário hipotético T3CH3, o padrão de modificação do gradiente de vento, desde a microescala até acima da camada de rugosidade urbana. A modificação no direcionamento e distribuição das massas de ar em contato com o conjunto edificado é marcada pela diferença nos valores de velocidade dos ventos na escala vertical. Embora o presente estudo tenha evidenciado as alterações apenas na escala microclimática, fundamental para a promoção do conforto térmico no nível de pedestres, é importante destacar que as alterações nas variáveis climáticas diferenciadas na escala vertical são significativas.

Assim, para avaliações de desempenho climático de estruturas urbanas, o impacto quanto às interferências no entorno imediato a partir da implantação de determinada forma urbana, deve contemplar também, o estudo quanto ao padrão vertical de modificação do comportamento das variáveis climáticas, principalmente no gradiente de ventos. Para conjuntos edificados verticalizados, a avaliação de desempenho pode apontar soluções para a redução das áreas de sombra de vento (impactantes para edificações no próprio tecido ou presentes no entorno imediato) e de efeitos indesejados quanto ao comportamento das massas de ar na malha urbana como o efeito canalização.

Em relação aos cenários avaliados a partir do tipo espacial 3, o cenário T3CH3 apresentou maior uniformidade quanto à distribuição horizontal das massas de ar na malha urbana estudada (Figura 5.63), com menor perda de velocidade do ar entre os volumes construídos. Já o tecido T3 ATUAL (condição atual de ocupação do Condomínio Residencial Espace) e o cenário T3 CH1 (condição futura) apesar de permitirem uma distribuição eficaz das massas de ar no conjunto edificado, não favoreceram esta distribuição no entorno imediato. Ou seja, o tipo de implantação e orientação não favoreceu a penetração das massas de ar nos espaços a sotavento, ocorrendo grande perda de velocidade nos lotes posteriores à incidência direta dos ventos predominantes (ver figura 5.60 e 5.61). Assim, o tipo de forma adotada, segundo sua implantação, poderia ter sido ajustada para evitar esta inadequação climática, visto que nos cenários T3CH2 e T3CH3, este problema não foi detectado.

Os resultados encontrados a partir desta investigação confirmam a forte influência da implantação, orientação e volume do conjunto edificado, todos estes definidores da forma urbana, no aproveitamento da estratégia bioclimáticas *ventilação natural* e consequentemente, no comportamento da temperatura do ar e umidade relativa.

Quadro 5.23: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido Tipo 4 e seus cenários hipotéticos – temperatura do ar e velocidade dos ventos.

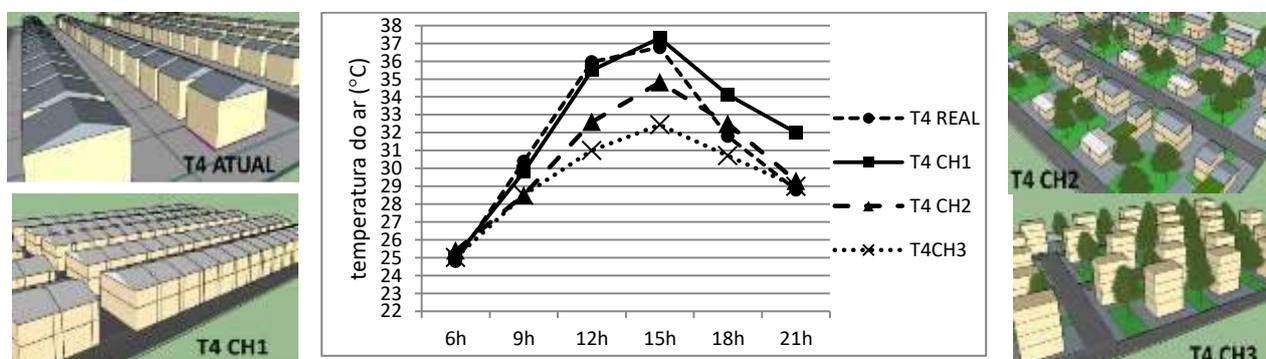
Tipo 4 e cenários hipotéticos – Temperatura do ar (°C) e velocidade dos ventos (m/s)

Dados de temperatura do ar obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido Tipo 4 de seus cenários hipotéticos:

Tipo 4: Canafístula		Temperatura do ar (°C)								Amplitude Térmica	máxima no centro	Vel. do vento (m/s) no centro
Cen	rios	6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN			
T4 ATUAL	max	25,04	31,00	36,65	38,37	31,88	29, 0	38,37				
	C	24,79	30,38	35,96	36,52	31,80	28,80			14,17	36,52	0,60
	min	24,20	30,08	34,82	36,49	31,53	28,29		24,20			
T4 CH1	max	26,18	31,40	37,84	37,84	34,14	32,02	37,84				
	C	25,04	29,79	35,80	37,30	34,12	32,00			12,98	37,30	0,17
	min	24,86	29,78	35,87	35,87	33,78	31,45		24,86			
T4 CH2	max	25,79	29,28	34,28	36,36	32,58	29,48	36,36				
	C	25,40	28,50	32,60	34,82	32,50	29,30			11,55	34,82	1,13
	min	24,81	28,59	32,51	34,72	32,22	28,76		24,81			
T4 CH3	max	25,71	29,15	32,89	32,56	31,01	29,57	32,89				
	C	25,00	28,50	31,20	32,44	30,71	29,00			8,71	32,44	0,97
	min	24,18	28,53	31,14	32,25	30,49	28,84		24,18			

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido

Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no centro dos recintos investigados a partir do tecido Tipo 4 e seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Quadro 5.24: Resultados obtidos através da simulação computacional no modelo ENVI-met 4.0 referente ao tecido Tipo 4 e seus cenários hipotéticos – umidade relativa do ar.

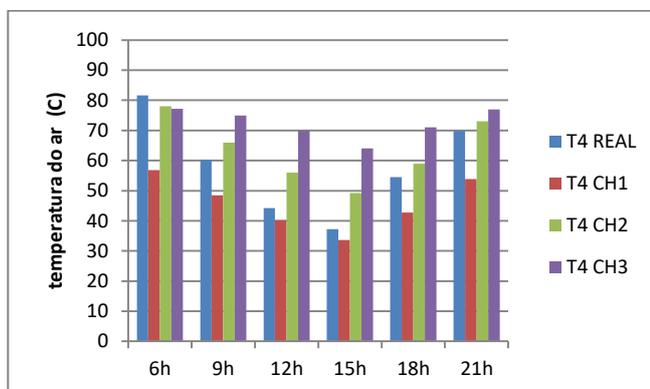
Tipologia 4 e cenários hipotéticos – Umidade relativa do ar (%)

Dados de umidade relativa do ar obtidos a partir da simulação computacional no programa ENVI-met v.4.0 a partir da caracterização do tecido Tipo 4 e de seus cenários hipotéticos.

Tipo 4: Canafístula		Umidade Relativa do Ar (%)									
Cenários		6h	9h	12h	15h	18h	21h	MAX	MIN	Amplitude	mínima no centro
T4 REAL	max	85,82	60,79	46,11	37,82	57,78	74,13	85,82			
	C	81,59	60,26	44,20	37,29	54,50	69,90			52,60	37,29
	min	80,31	58,76	40,52	33,22	53,58	68,18		33,22		
T4 CH1	max	62,25	49,72	41,40	33,58	45,87	60,54	62,25			
	C	56,80	48,50	40,20	33,61	42,78	53,90			31,15	33,61
	min	55,79	46,41	35,56	31,10	42,55	52,84		31,10		
T4 CH2	max	70,04	68,10	59,31	49,83	61,06	74,85	74,85			
	C	78,00	66,00	56,00	49,20	59,00	73,00			28,31	49,20
	min	78,71	62,32	55,07	46,54	54,26	66,97		46,54		
T4 CH3	max	78,12	76,81	72,81	69,12	73,64	77,79	78,12			
	C	77,20	75,00	70,00	64,00	71,00	77,00			16,74	64,00
	min	68,25	67,93	65,01	61,38	64,78	68,17		61,38		

Max. : Temperatura máxima identificada no tecido, **Min:** Temperatura mínima identificada no tecido, **C:** temperatura do ar identificada no centro do tecido

Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no centro dos recintos investigados a partir do tecido Tipo 4 e de seus cenários hipotéticos (dados obtidos através da simulação no modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).



Os cenários hipotéticos elaborados a partir do tecido Tipo 4 (Bairro Canafístula) referem-se às possibilidades de implantação de volumes edificados para conjuntos habitacionais. Verificando a tendência atual de aumento da taxa de ocupação do solo urbano, em lotes disponibilizados para habitação de interesse social de conjuntos horizontais, altamente difundidos no nordeste brasileiro, o cenário hipotético T4 CH1 apresenta esta perspectiva. Desta forma, são investigadas hipoteticamente a saturação solo urbano no cenário T4CH1 (morfologia: *horizontal compacto*), onde as habitações são geminadas e com dois pavimentos; composição de quadra aberta arborizada com habitações térreas e de dois pavimentos no cenário T4 CH2- morfologia: *horizontal disperso heterogêneo* e considerando o aumento da densidade construtiva com implantação vertical baixa e quadra aberta no cenário T4 CH3.

Os dados simulados, obtidos no centro dos modelos investigados, apontam que o aumento da densidade construtiva sem a alteração da forma urbana, investigada através do cenário hipotético T4 CH1, contribuiu para o aumento da temperatura do ar após às 15h e principalmente no horário após o por do sol (quadro 5.23) . Esta condição morfológica permite o sombreamento da estrutura urbana no período diurno, porém, apresenta uma configuração desfavorável à dissipação do calor armazenado, devido ausência de espaços livres no interior das quadras para penetração das massas de ar (figura 5.72).

Nos cenários T4CH2 e T4CH3 a distribuição das massas de ar, analisadas a partir da incidência predominante do quadrante leste, é mais uniforme, apresentando uma redução das áreas de esteira de vento. Foi identificada uma diferença de até 4,86°C entre o cenário T4CH1 e T4CH3. Este último apresentou maior capacidade de redução da temperatura do ar por apresentar um conjunto edificado que favorece o sombreamento do recinto, como também, o incremento da umidade relativa do ar na escala microclimática devido à presença significativa de elementos arbóreos. Assim, foi detectada uma diferença de até 30,39% entre os dois últimos cenários citados. Ou seja, o aumento da densidade construtiva estabelecido para o cenário T4 CH3 não constituiu um prejuízo para o desempenho climático deste cenário, pois a modificação no padrão morfológico possibilitou a incorporação das duas principais estratégias bioclimáticas indicadas para a realidade climática investigada: ventilação natural e resfriamento evaporativo. Estas estratégias não estão presentes nem na condição atual da tipologia (T4 ATUAL), nem no cenário T4 CH1.

Os cenários T4CH2 e T4CH3 apresentam significativo potencial para amenização térmica e adequação climática local. As principais modificações morfológicas apresentadas nestes cenários são as seguintes:

- **Cenário Hipotético T4CH2:**, aumento do recuo médio ($R_m=13$), aumento do índice de densidade arbórea ($IDA=0,11$)
- **Cenário Hipotético T4 CH3:** redução da taxa de ocupação do solo ($T.O=0,12$), aumento do coeficiente de aproveitamento ($C.A=4$), aumento da altura média das construções ($H_m=13$), aumento da porosidade da malha ($PoMa=0,72$), aumento do índice de densidade arbórea ($IDA=0,609$)

Figura 5.65: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no tecido **Tipo 4, condição atual (T4 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

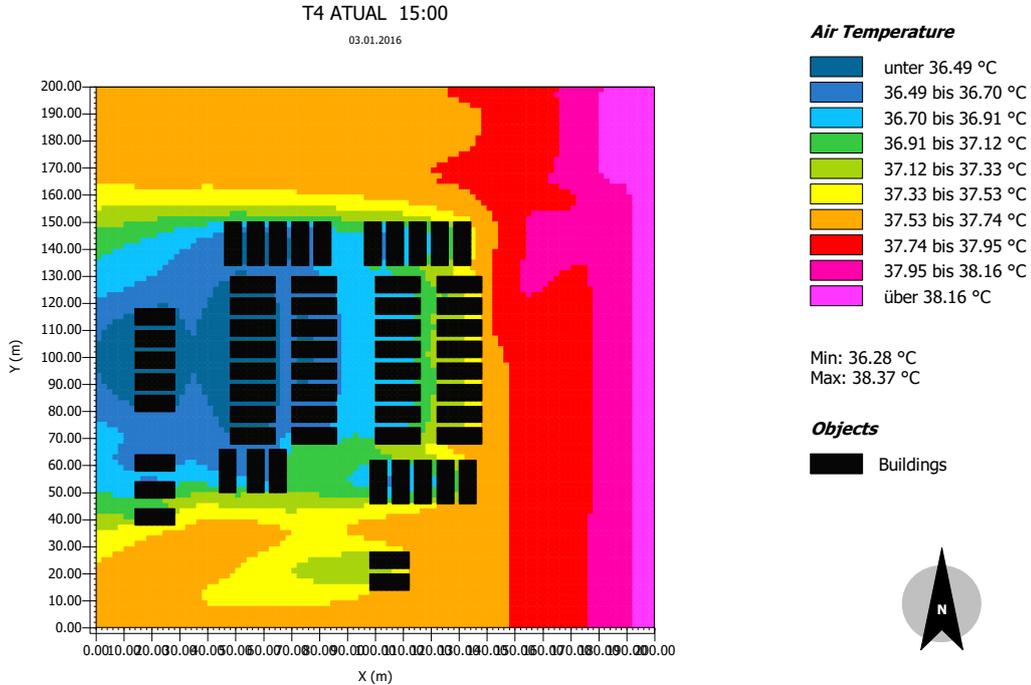


Figura 5.66: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no cenário **hipotético T4 CH1**, na escala microclimática (altura 1,5m), gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

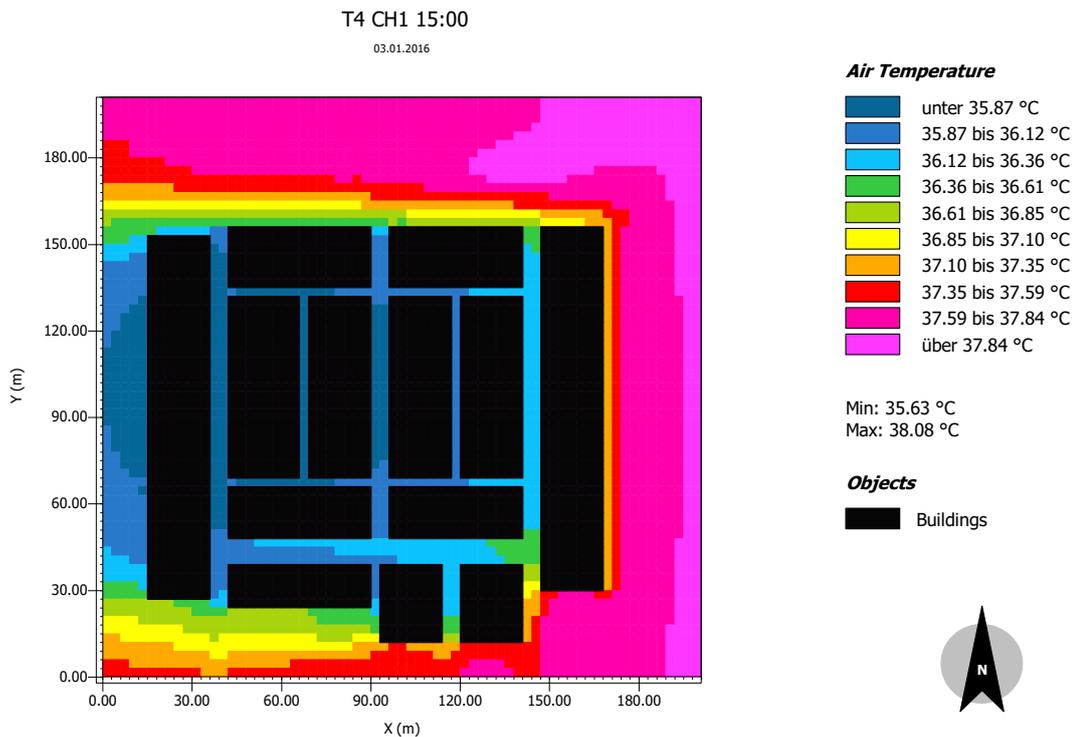


Figura 5.67: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no **cenário hipotético T4 CH2**, na escala microclimática (altura 1,5m), gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

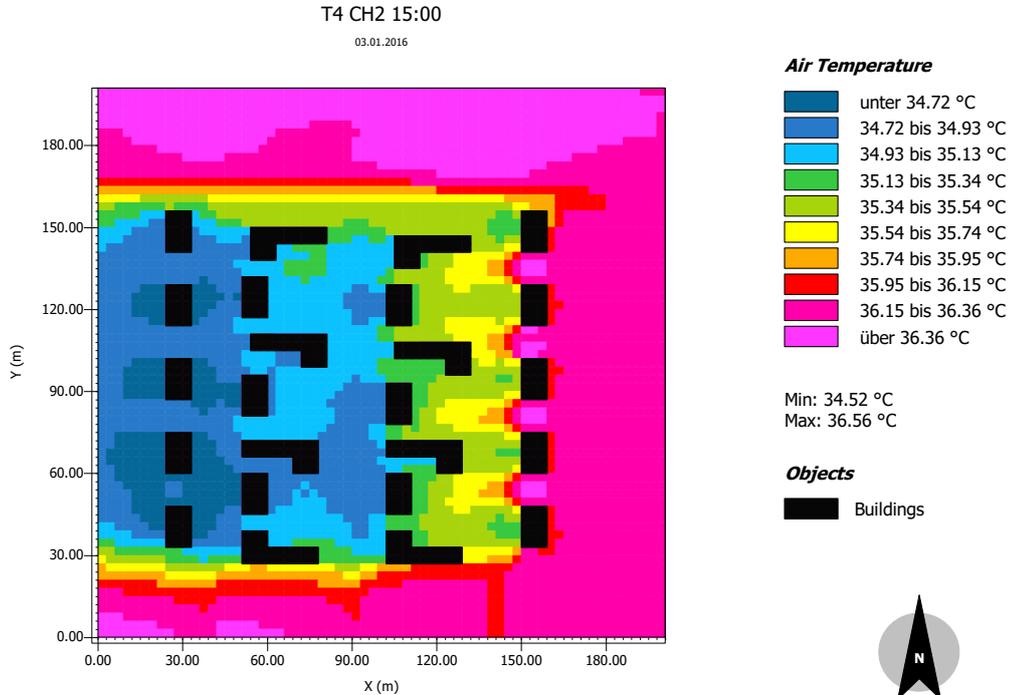


Figura 5.68: Mapa referente ao resultado da simulação da **temperatura do ar às 15h** no **cenário hipotético T4 CH3**, na escala microclimática (altura 1,5m), gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

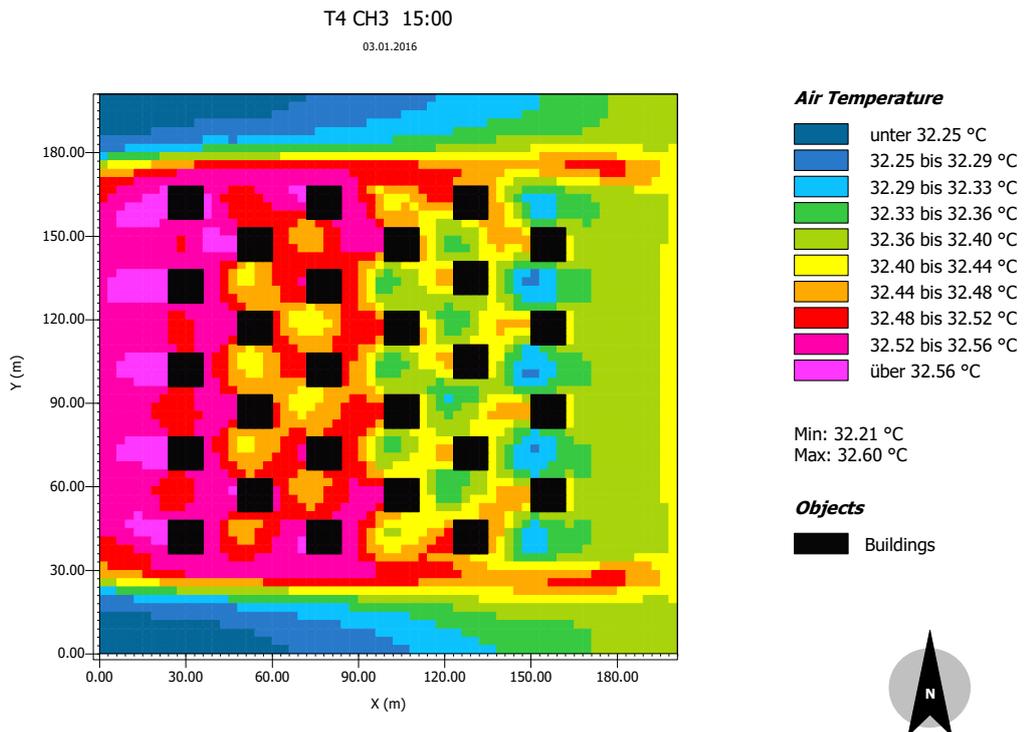


Figura 5.69: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no tecido Tipo 4, **condição atual (T4 ATUAL)** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

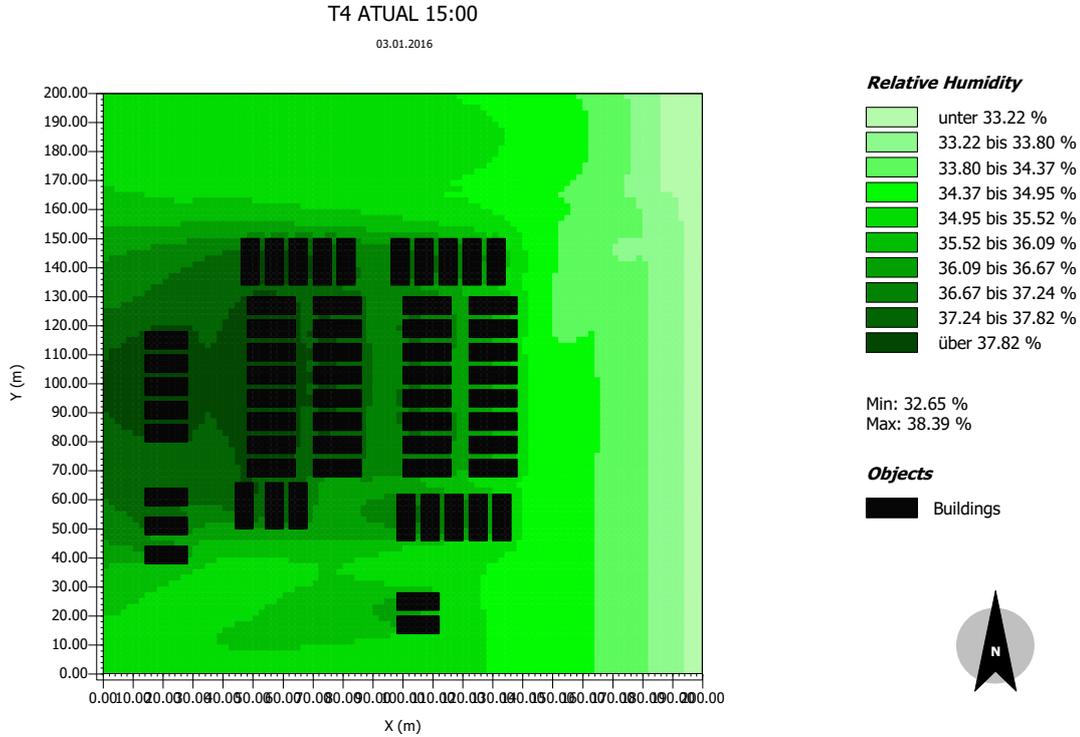


Figura 5.70: Mapa referente ao resultado da simulação da **umidade relativa do ar às 15h** no **cenário hipotético T4 CH3** na escala microclimática (altura 1,5m) gerado através do programa Leonardo 2014 (dados obtidos através do modelo ENVI-met 4.0 para a condição do dia representativo de verão: 03.01.2016).

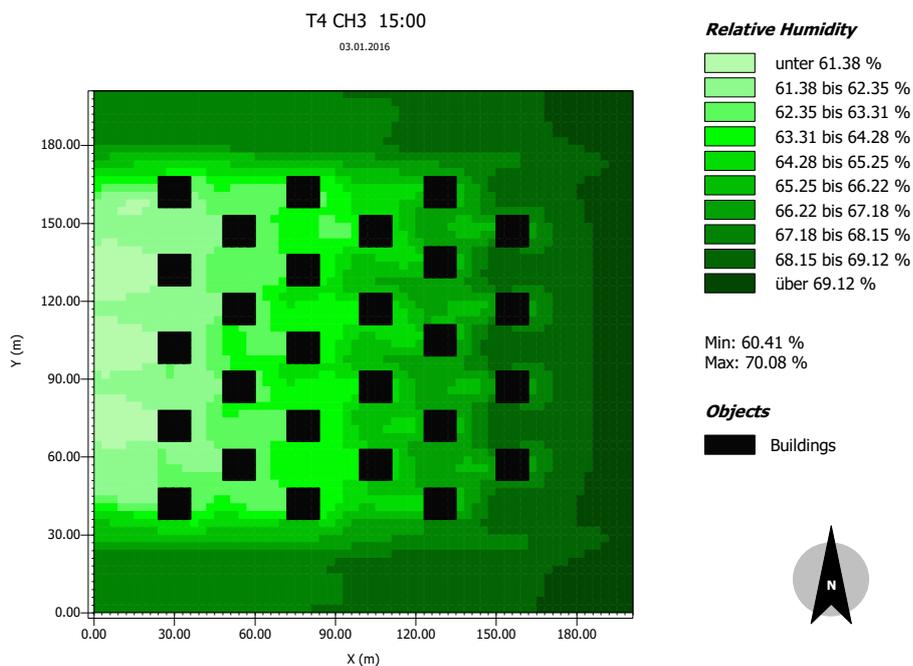


Figura 5.71: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no tecido **Tipo 4, condição atual (T4 ATUAL)**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

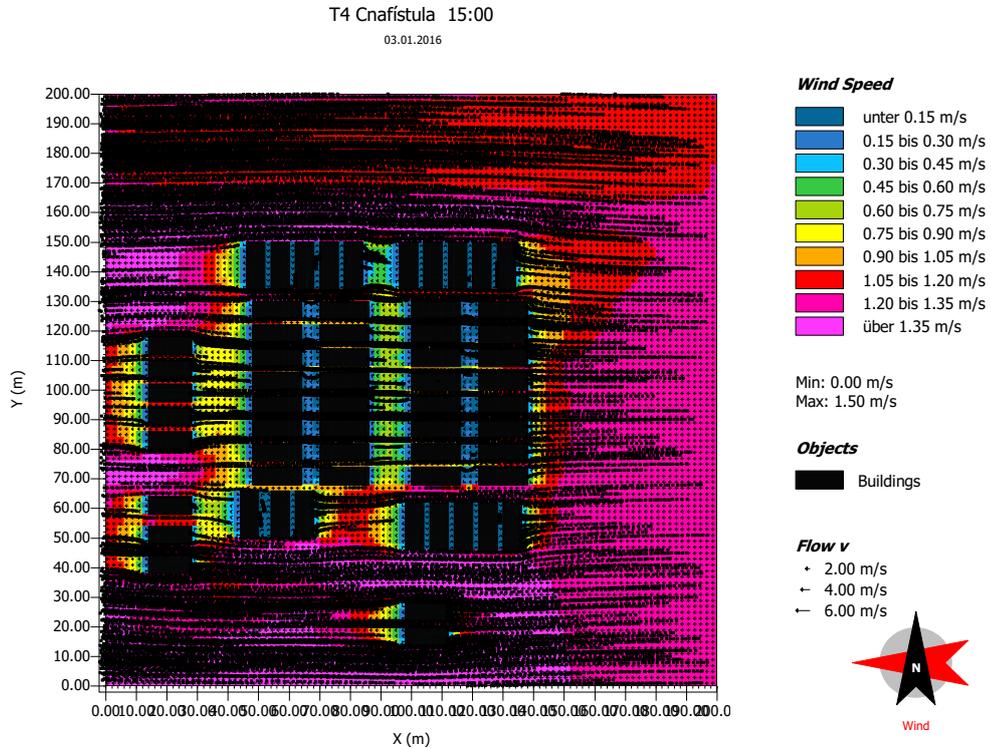


Figura 5.72: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no cenário hipotético **T4 CH1**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

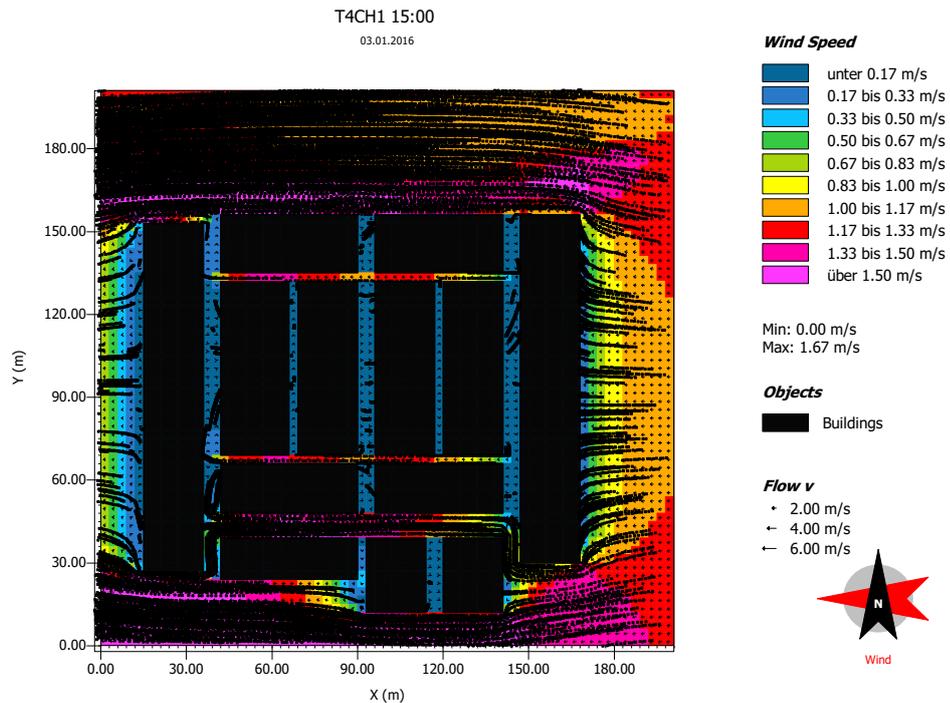


Figura 5.73: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no **cenário hipotético T4 CH2**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.

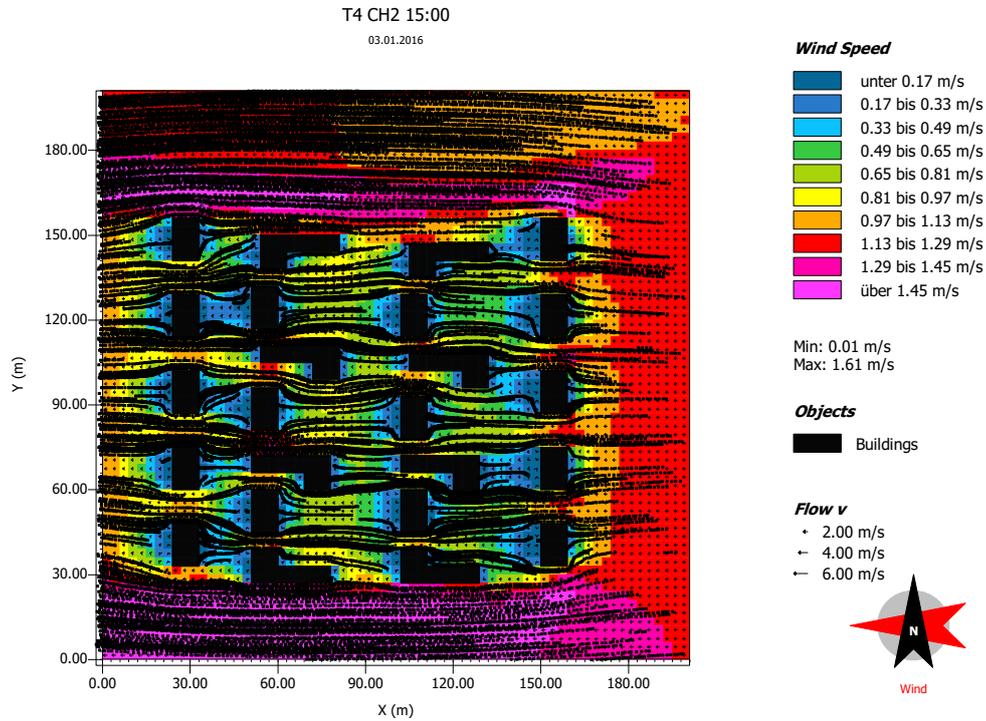
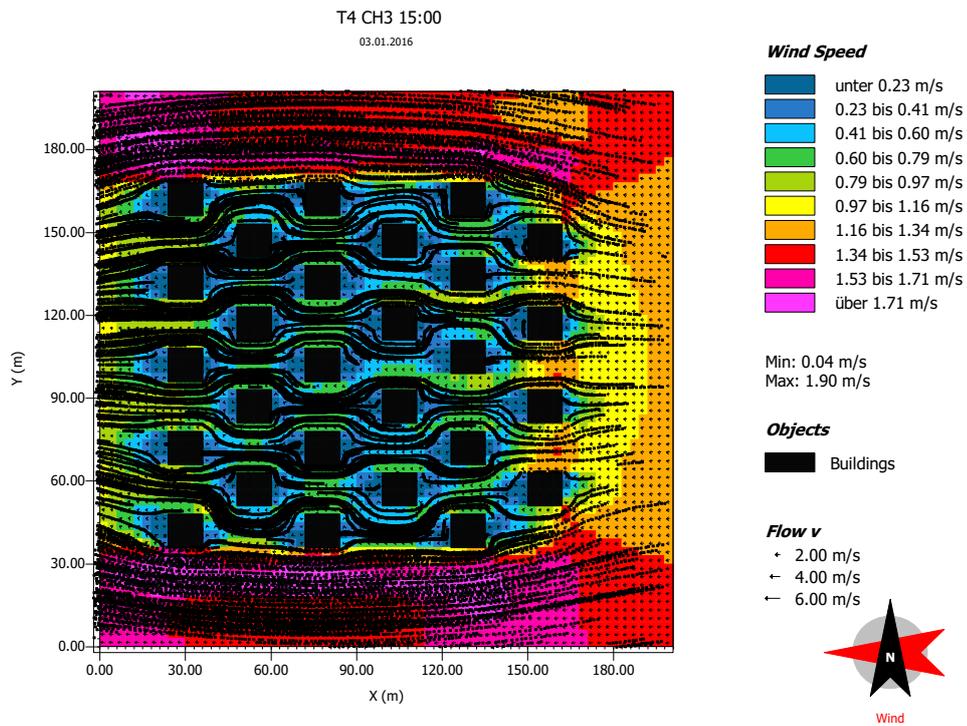


Figura 5.74: Resultado referente ao padrão de **distribuição das massas de ar e velocidade dos ventos** no **cenário hipotético T4 CH3**, simulado para às 15h (dia representativo de verão) conforme a incidência predominante da direção leste.



Em relação ao aproveitamento da estratégia bioclimática *ventilação natural*, os resultados referentes ao padrão de distribuição e velocidade das massas de ar apresentados nas figuras 5.71 a 5.72, demonstram que a forma atual do recinto no bairro Canafístula (T4 ATUAL) não favorece o uso desta estratégia na escala urbana. A proximidade entre as edificações (recuos abaixo de 2 metros) contribui para a formação de barreiras para as massas de ar gerando a formação de áreas de fluxos com interferência de esteira de vento, ocasionado a redução da velocidade do ar no centro da malha. Para a condição do cenário hipotético T4 CH1 (aumento da densidade construtiva sem modificação do padrão morfológico), esta redução da velocidade do ar é ainda maior devido ao aumento das áreas de estagnação do ar, pois, neste caso, os recuos laterais entre as edificações foram excluídos. Considerando a modificação da forma do tecido, conforme o cenário hipotético T4CH2 e T4CH3, observa-se uma melhoria quanto ao padrão de distribuição das massas de ar, resultando no aumento da velocidade dos ventos no centro dos tecidos (figuras 5.73 e 5.74).

Destaca-se, assim, o desempenho do cenário T4CH2 caracterizado pelo aumento de espaços livres e edificações baixas (até 2 pavimentos), com implantação favorável a redução das áreas de interferência de esteira de vento. Os volumes construídos que apresentaram a fachada de menor extensão voltada para a incidência direta das massas de ar proporcionaram uma redução ainda menor da extensão de esteiras. Esta fato confirma a importância da forma do volume construído no desempenho climático de estruturas urbanas.

O desempenho do cenário T4CH3, embora tenha apresentado uma maior extensão das áreas de esteira de vento quando comparadas com as detectadas no cenário T4CH2, manifestou um desempenho climático superior a este devido ao maior sombreamento do recinto urbano. O sombreamento associado à estratégia do resfriamento evaporativo em decorrência da presença de vegetação urbana, favoreceu a redução da temperatura do ar, principalmente, no horário de maior aquecimento diurno, às 15h (ver quadro 5.23). Os resultados encontrados, portanto, indicam que o padrão morfológico *Horizontal Disperso Heterogêneo* (cenário T4CH2) e *Vertical Baixo Disperso Homogêneo* (cenário T4CH3) apresentam potencial para adequação ao clima da cidade investigada, Arapiraca-AL.

5.4.2 Quais os parâmetros urbanísticos apresentam maior influência no desempenho climático de recintos urbanos?

Para verificar o grau de influência dos parâmetros urbanísticos definidores dos padrões morfológicos no desempenho climático de recintos urbanos, foram calculados os coeficientes de correlação a partir da associação entre as variáveis ambientais estudadas (temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade dos ventos) e os parâmetros quantificados para cada cenário/condição estudada. Para análise das hipóteses descritas no quadro 5.16, primeiramente, foram obtidos os valores a partir de uma avaliação isolada de cada variável dependente e independente. Os coeficientes de correlação foram obtidos a partir da ferramenta *EXCEL*, utilizando o suplemento análise de dados.

É importante destacar que quando o valor do coeficiente de correlação (r) está próximo de 0 (zero), não significa que não há relação entre as variáveis, significa apenas que a relação não é linear. No presente estudo, apenas a avaliação de correlação linear foi investigada. Em estudos futuros, outros tipos de relação podem ainda ser realizadas para o aprofundamento desta temática de pesquisa.

Como foi explicado anteriormente, o conceito de associação, representado pelo coeficiente de correlação (r) é fundamental na análise de regressão. Para o alcance dos objetivos da presente pesquisa a análise de regressão múltipla pode subsidiar o desenvolvimento de um modelo (equação matemática) para prever o comportamento de uma variável dependente (variável resposta) a partir do conhecimento das variáveis independentes (variáveis explanatórias/preditoras). Por isso, os valores obtidos para cada par de variáveis dependentes e independentes de forma isolada (ex: temperatura do ar/ variável dependente e taxa de ocupação/variável independente) foi identificado para subsidiar a seleção das variáveis mais significativas para a construção de um possível modelo preditivo. Podemos selecionar as variáveis independentes mais importantes para o modelo com base nos coeficientes de correlação, pois quanto maior este coeficiente, mais forte a relação, e portanto, maior a precisão preditiva (HAIR et al., 2009).

Para as variáveis ambientais foram considerados apenas os valores identificados no centro dos tecidos (cenários hipotéticos) simulados através do modelo ENVI-met 4.0 para o horário de 15h, em decorrência do maior aquecimento ocorrido neste período. Portanto, para a temperatura do ar foram analisados os valores máximos identificados no centro, porém, para correlação com a umidade relativa do ar, com comportamento inversamente proporcional à temperatura, foram considerados os valores mínimos desta variável (tabela 5.11). Para ventilação natural foram adotados os valores médios de velocidade do ar na área central dos cenários. Na cor verde estão destacados os valores que confirmaram as hipóteses iniciais, indicando correlação moderada ou forte, ou a esperada correlação fraca ou nula.

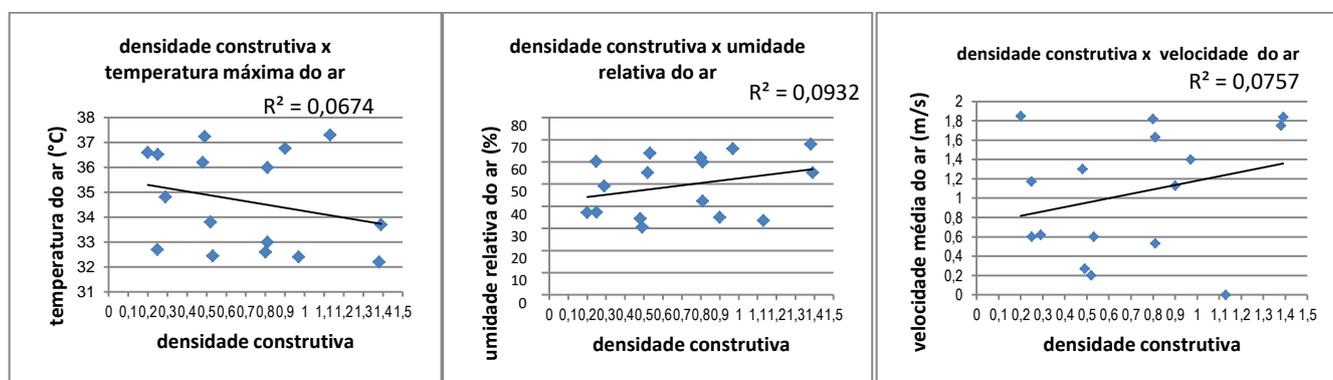
Tabela 5.11: Coeficientes de correlação obtidos a partir das variáveis dependentes (variáveis resposta – variáveis ambientais – dados registrados em pontos centrais dos recintos simulados) e as variáveis independentes (parâmetros urbanísticos urbanos) quantificados em relação à ocupação das quadras

Variáveis dependentes	Variáveis independentes											
	T.O	C.A	Tsn	Hm	Rm	Po Ma	Po Vedif	Pm	Rg Ab	DAF	IDA	Densi. Const.
Temperatura do ar máxima	0,7562	-0,5328	-0,6057	-0,5502	-0,7880	-0,7826	-0,5513	-0,3051	-0,1927	-0,3620	-0,9514	-0,2596
Umidade relativa do ar mínima	-0,7181	0,5187	0,5909	0,5417	0,7639	0,7538	0,5021	0,3039	0,2359	0,3389	0,9526	0,3053
Velocidade média dos ventos	-0,576	0,564	0,515	0,573	0,591	0,501	0,493	0,385	0,251	0,532	0,472	0,275

Destacam-se nos resultados apresentados na tabela 5.11, os valores referentes à correlação das variáveis ambientais e a densidade construtiva, indicando correlação fraca e confirmando a hipótese inicial de que o aumento da densidade construtiva não possui relação direta com o aumento da temperatura do ar ou redução da umidade relativa e velocidade média dos ventos. Estes resultados condescendem com conclusões de outras pesquisas em ambientes de realidades climáticas diferenciadas, como os estudos desenvolvidos por FREITAS (2008). Ou seja, o aumento da densidade construtiva de tecidos urbanos não foi determinante no aumento da temperatura do ar, nem na redução da umidade relativa do ar e velocidade do ar, pois, o comportamento destas variáveis ambientais será diferenciado a partir de outras condições de ocupação e forma urbana, como será destacado a seguir. A densidade construtiva por si só, não deve ser apontada como principal determinante de desempenho climático. Como foi visto nos resultados comentados anteriormente, recintos urbanos como mesma densidade construtiva apresentaram comportamentos térmicos diferenciados.

Para explicitar este resultado foram elaborados os gráficos de dispersão (figura 5.75) para identificação do coeficiente de determinação (R^2) entre as variáveis ambientais e os dados de densidade construtiva dos cenários estudados. Os dados foram correlacionados a partir da análise de regressão linear sendo destacada a alta dispersão e fraca correlação com todos as variáveis ambientais analisadas (baixos coeficientes de determinação- R^2). O coeficiente de determinação³² (R^2) é a relação da variação explicada com a variação total e também pode variar de 0 a 1. Pode-se dizer que quanto maior o valor do coeficiente de determinação (R^2), maior é o poder de explicação da equação gerada pela regressão linear e, portanto, melhor é a previsão da variável dependente. Como exemplo, no caso da temperatura do ar (gráfico 1, figura 5.75), o coeficiente de determinação (R^2) foi igual a 0,0674, significando que 6,74% da variação da temperatura podem ser explicados pela relação entre esta variável e a densidade construtiva e os 93,26% restante de variação é **não explicada** e é em razão de outros fatores.

Figura 5.75: Gráficos de dispersão dos dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade média dos ventos correlacionados com a densidade construtiva dos recintos urbanos estudados.



³² O coeficiente de determinação (r^2) é a medida da proporção da variância da variável dependente em torno de sua média que é explicada pelas variáveis independentes ou preditoras. Quanto maior o valor de r^2 , maior o poder de explicação da equação de regressão (HAIR et al, 2009).

Desta forma, outros valores especificados na tabela 5.11, que indicam correlação forte e moderada confirmam que os parâmetros urbanísticos, fundamentais para a caracterização morfológica dos recintos urbanos, possuem importância quanto à compreensão e determinação do desempenho climático de estruturas urbanas.

De acordo com os resultados obtidos a partir da avaliação isolada por variável, foram confirmadas as hipóteses iniciais referentes ao comportamento da temperatura do ar:

- **correlação positiva moderada** com a *taxa de ocupação da malha* (0,756): ou seja, quanto maior a taxa de ocupação do solo do recinto urbano maior a probabilidade de aumento da temperatura do ar no nível microclimático;
- **correlação negativa moderada** com os demais parâmetros: *coeficiente de aproveitamento, taxa de solo natural, recuo médio, porosidade da malha e porosidade do conjunto edificado*, ou seja quanto maior os valores correspondentes a estes parâmetros maior a probabilidade de redução da temperatura do ar no nível microclimático.
- **correlação forte negativa** : com o *índice de densidade arbórea-IDA*, indicando que quanto maior o IDA menor será a temperatura do ar no nível microclimático, confirmando, portanto, a importância da inserção de elementos arbóreos na malha urbana.
- **correlação fraca ou nula**: com *prospecto médio*, já que se esperava que este parâmetro apresentasse maior influência no padrão de distribuição das massas de ar e, também, na velocidade do ar na malha urbana.

Em relação ao parâmetro *altura média das construções* (Hm), a hipótese inicial referente à correlação com a temperatura do ar era a correlação nula/ausente. Porém, o resultado do presente estudo aponta correlação negativa moderada. Assim, os dados assinalam uma probabilidade de redução da temperatura do ar associado ao aumento da altura média das edificações do recinto urbano. Este resultado indica a possibilidade de aproveitamento do sombreamento das estruturas urbanas como estratégia para minimização do acúmulo de energia térmica no nível microclimático. Observando os valores das demais correlações esta probabilidade pode estar vinculada à quantificação de outros parâmetros, como o aumento da porosidade da malha e/ou redução da taxa de ocupação do solo.

Os valores de coeficiente de correlação dos parâmetros *rugosidade absoluta* (RgAb) e *densidade de área frontal* (DAF) também não corresponderam às hipóteses iniciais, pois, não apresentaram correlação esperada: negativa e positiva, respectivamente. Como outros estudos destacados no referencial teórico deste documento já demonstraram a forte correlação destes parâmetros com as variáveis ambientais, principalmente com a velocidade do ar, verifica-se a necessidade da ampliação de pesquisas sobre a interferência destes índices, a partir de uma amostra maior, como também, através de desenvolvimento de ferramentas que possibilitem a quantificação mais precisa dos mesmos, principalmente no que se refere à densidade de área frontal (DAF). No caso da avaliação da rugosidade, sugere-se, também, o desenvolvimento de

estudos futuros abordando o conceito divulgado por Grimmond; Oke (1999); Lopes (2003) e Ferreira (2009).

Em relação à análise de correlação com a umidade relativa do ar, com comportamento inversamente proporcional à temperatura, são destacados os seguintes resultados:

- **correlação negativa moderada** com a *taxa de ocupação da malha* (-0,7181): ou seja, quanto maior a taxa de ocupação do solo do tecido urbano maior a probabilidade de redução da umidade relativa do ar no nível microclimático;
- **correlação positiva moderada** com os demais parâmetros: *coeficiente de aproveitamento, taxa de solo natural, recuo médio, porosidade da malha e porosidade do conjunto edificado*, ou seja quanto maior os valores correspondentes a estes parâmetros maior a probabilidade de aumento da umidade relativa do ar no nível microclimático.
- **correlação forte positiva** : com o *índice de densidade arbórea-IDA*, indicando que quanto maior o IDA maior será umidade relativa do ar no nível microclimático.
- **correlação fraca ou nula**: com *prospecto médio*, já que se esperava que este parâmetro apresentasse maior influência no padrão de distribuição das massas de ar e, também, na velocidade do ar na malha urbana.

Assim como ocorreu com a temperatura do ar, foi identificada correlação com o parâmetro *altura média* das edificações (Hm), sendo neste caso, com a umidade relativa do ar, positiva moderada. Ou seja, com o aumento da altura das edificações e sombreamento do recinto urbano, aponta-se a probabilidade de aumento da umidade relativa do ar no nível microclimático. Em relação aos parâmetros *rugosidade absoluta* (RgAb) e *densidade de área frontal* (DAF) também não foram confirmadas correlações esperadas.

A análise de correlação com a velocidade média do ar confirmou as seguintes hipóteses:

- **Correlação negativa moderada**: com taxa de ocupação do solo (-0,576) indicando que o aumento da taxa de ocupação do solo da malha urbana aumenta a probabilidade de redução da velocidade do ar
- **Correlação positiva moderada: com os parâmetros**: taxa de ocupação (0,515), recuo médio (0,591) e porosidade da malha (0,501) indicando que o aumento destes índices contribui para o aumento da velocidade do ar nos tecidos urbanos.
- **Correlação nula**: com o índice de densidade arbórea (IDA) confirmada através do resultado referente à fraca correlação com a velocidade do ar (0,472). A expectativa quando ao desempenho deste parâmetro foi apenas sua influência na temperatura e umidade relativa do ar.

Ainda sobre o estudo de correlações com a velocidade do ar, as seguintes hipóteses foram refutadas:

- **Correlação negativa com coeficiente de aproveitamento (C.A):**

O resultado apontou correlação positiva moderada com este parâmetro (0,564) apresentando a possibilidade de aumento da velocidade do ar a partir do aumento do coeficiente de aproveitamento. Neste sentido, pode-se concluir que o aumento de C.A pode ser associado ao aumento de espaços livres na malha urbana o que contribui para a redução das barreiras para as massas de ar, evitando consequentemente, a redução da velocidade dos ventos.

- **Correlação nula com a altura média das edificações (Hm)**

O resultado assinalou correlação positiva moderada com este parâmetro (0,573), indicando que o aumento da altura média das edificações pode contribuir para o aumento da velocidade do ar. Como na amostra da presente pesquisa o aumento das construções nos cenários avaliados estava vinculado ao aumento, também, de espaços livres, entende-se, como com o C.A, que esta associação contribui para o aumento da velocidade das massas de ar no nível microclimático.

- **Correlação positiva com a porosidade do conjunto edificado (PoCed)**

O resultado apontou correlação positiva com este índice, porém, a correlação é fraca (0,493). Estima-se que o aumento da amostra pode, em estudos futuros, apontar outras conclusões. Na presente pesquisa, este parâmetro demonstrou importância quanto à melhor distribuição das massas de ar nos cenários que incorporaram edifícios porosos, sendo esta estratégia fundamental para minimização do impacto de edificações verticais na estrutura urbana.

- **Correlação negativa com a rugosidade absoluta (RugAb) e DAF**

Como o resultado não confirmou a correlação positiva quanto à rugosidade absoluta e negativa quanto à densidade de área frontal, sugere-se, como explicitado anteriormente, uma ampliação da amostra a partir de uma maior variação de cenários para o alcance de conclusões mais precisas para a realidade climática investigada.

Para Larson e Faber (2010) é possível avaliar se o coeficiente de correlação é significativo a partir do número de pares de dados de uma amostra. Para 16 pares de dados, como corresponde a amostra desta pesquisa, o valor crítico para um coeficiente de correlação significativo é 0,497 ($\alpha= 0,05$) e 0,623 ($\alpha= 0,01$). Ou seja, para uma análise de pares de dados a correlação com nível de significância³³ de 95% ($\alpha= 0,05$), o coeficiente de correlação (r)

³³ Representa a probabilidade que o pesquisador deseja aceitar de que o coeficiente estimado seja classificado como diferente de zero quando realmente não é. O nível de significância mais amplamente usado é 0,05, apesar de pesquisadores utilizarem níveis que variam de 0,01 (mais exigentes) até 0,10 (menos conservador e mais fácil de descobrir significância) (HAIR et al, 2009),.

deve ser maior que 0,497 e para o nível de significância de 99% ($\alpha = 0,01$), o coeficiente de correlação deve ser maior que 0,623 (LARSON, FABER, 2010; p. 401).

Os resultados apresentados na tabela 5.11 referentes aos coeficientes de correlação entre as variáveis climáticas (variáveis dependentes) e os parâmetros urbanísticos (variáveis independentes) podem ser denominados como significantes, exceto os valores correspondentes aos coeficientes identificados a partir da *rugosidade absoluta* ($RgAb$) e *densidade construtiva* em relação a todas as variáveis climáticas estudadas, como também, da *densidade de área frontal* (DAF), em relação à correlação com temperatura do ar e umidade relativa do ar, pois os valores obtidos foram inferiores ao valor crítico para a amostra da pesquisa (0,497). Assim, foi confirmada a influência dos parâmetros urbanísticos estudados no comportamento microclimático de recintos urbanos segundo a realidade climática de Arapiraca-AL.

Compreende-se que para análise de desempenho climático, a diversidade de fatores que interferem no comportamento das variáveis ambientais é alta e complexa. A presente pesquisa limita-se à avaliação dos fatores relacionados à morfologia urbana, porém, buscou a compreensão de um modelo que contemple algumas principais variáveis para futuras investigações preditivas. O modelo teórico adotado ENVI-met já demonstrou significativa capacidade de simulação das condições microclimáticas de estruturas urbanas, verificada neste trabalho, a partir da calibração do mesmo abordada no início deste capítulo. Este estudo pretende, portanto, destacar a importância dos parâmetros urbanísticos como determinantes dos padrões de morfologia urbana e, conseqüentemente, como significativos definidores do desempenho climático de recintos urbanos. Desta forma, os mesmos podem ser ajustados para atender às diversas solicitações climáticas locais quanto ao alcance das condições de conforto térmico humano, fundamentais para a manutenção da qualidade de vida nos centros urbanos.

A amostra desta pesquisa foi reduzida devido ao elevado tempo para obtenção de dados a partir das simulações computacionais. Mesmo assim, os dados coletados a partir dos 16 padrões morfológicos resultantes dos quatro tipos de tecido urbanos estudados, foram utilizados para uma avaliação estatística simplificada a partir de análise de modelos de regressão linear e regressão múltipla. Sugere-se que em estudos futuros esta investigação referente à correlação de variáveis climáticas e variáveis morfológicas possa ser aprimorada.

Para o alcance do modelo preditivo, foram elaborados, primeiramente, através da ferramenta EXCEL, os gráficos de dispersão para identificação dos coeficientes de determinação (R^2), como também, das equações de regressão linear (equações preditivas), considerando as variáveis climáticas e parâmetros urbanísticos de forma isolada. Sabe-se que quanto maior o valor do coeficiente de determinação (r^2), maior o poder de explicação da equação de regressão, e, portanto, melhor é a previsão da variável dependente (HAIR et al, 2009). Assim, foram selecionados os pares de dados que apresentaram coeficientes de determinação acima de 0,5.

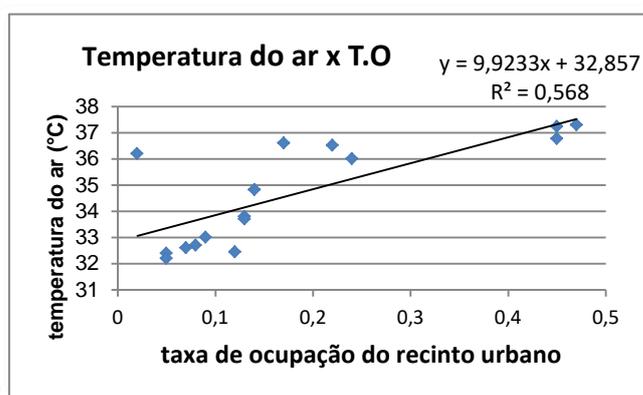
A seguir são apresentados os gráficos e as equações referentes à análise de regressão linear (figuras 5.75 a 5.82). As linhas de regressão e suas respectivas equações são utilizadas

para prever os valores de y (variável dependente – variável climática) para um dado valor de x (variável independente – parâmetro urbanístico). Cada gráfico é acompanhado das informações estatísticas para análise da regressão. Além da identificação do coeficiente de correlação (r) e coeficiente de determinação (r^2), são especificados os valores do coeficiente de determinação ajustado³⁴ (r^2 ajustado) e do erro padrão³⁵.

Os resultados obtidos destacam a importância dos seguintes parâmetros urbanísticos quanto à interferência no comportamento da temperatura do ar e da umidade relativa: *taxa de ocupação (T.O)*, *recuos médios (Rm)*, como parâmetros tradicionais e *porosidade da malha (PoMa)* e *índice de densidade arbórea (IDA)*, como parâmetros avançados.

Não foram constatadas equações referentes à regressão linear com coeficientes de determinação acima de 0,5 para as correlações com a variável velocidade média do ar. Porém, é importante explicitar que, quanto à análise referente à ventilação, os resultados demonstram que uma avaliação qualitativa quanto ao padrão de distribuição das massas de ar é tão importante quanto uma verificação quantitativa sobre a velocidade do ar nos recintos urbanos. O modelo ENVI-met pode ser aplicado para os dois propósitos e apresenta potencial para explorações futuras quanto ao desenvolvimento de investigações de parâmetros de maior impacto do comportamento das massas de ar como a *rugosidade absoluta* e a *densidade de área frontal (DAF)*.

Figura 5.75: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a temperatura do ar (variável dependente) e a taxa de ocupação do solo (T.O) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,568.

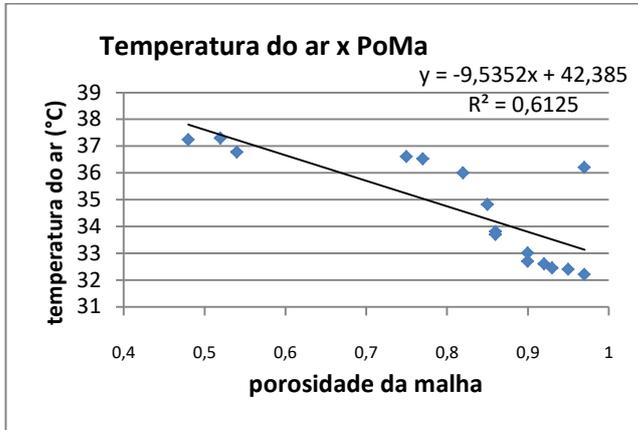


<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,753646529
R ²	0,567983091
R ² ajustado	0,537124741
Erro padrão	1,33874067
Observações	16

³⁴ O coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) é a medida modificada do coeficiente de determinação que considera o tamanho da amostra e o número de variáveis independentes incluídas na equação de regressão (HAIR et al, 2009).

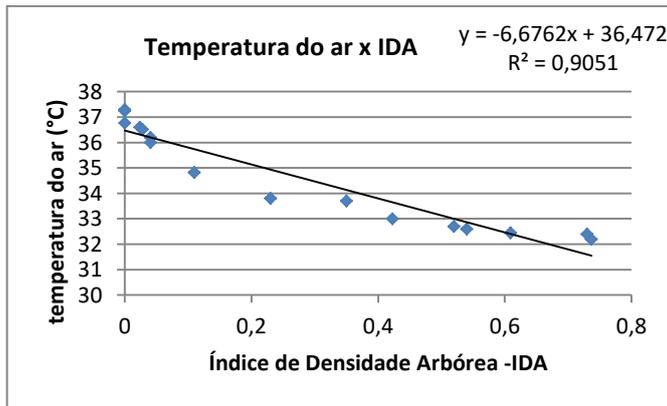
³⁵ O erro padrão corresponde à distribuição esperada de um coeficiente de regressão estimado. O erro padrão é semelhante ao desvio padrão de qualquer conjunto de dados, mas denota a amplitude esperada do coeficiente em múltiplas amostras dos dados. O coeficiente de regressão é o valor numérico da estimativa do parâmetro diretamente associado com uma variável independente; por exemplo: no modelo $y = b_0 + b_1 \cdot x_1$, o valor de b_1 é o coeficiente de regressão para a variável x_1 . O coeficiente de regressão representa o montante de variação na variável dependente em relação a uma unidade de variação na variável independente (HAIR et al, 2009).

Figura 5.76: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a temperatura do ar (variável dependente) e a porosidade da malha (PoMa) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,612.



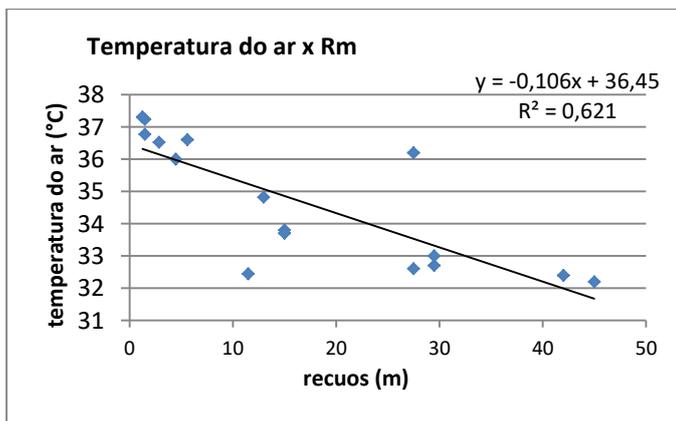
<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,782608
R ²	0,612475
R ² ajustado	0,584795
Erro padrão	1,267932
Observações	16

Figura 5.77: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a temperatura do ar (variável dependente) e o índice de densidade arbórea (IDA) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,905.



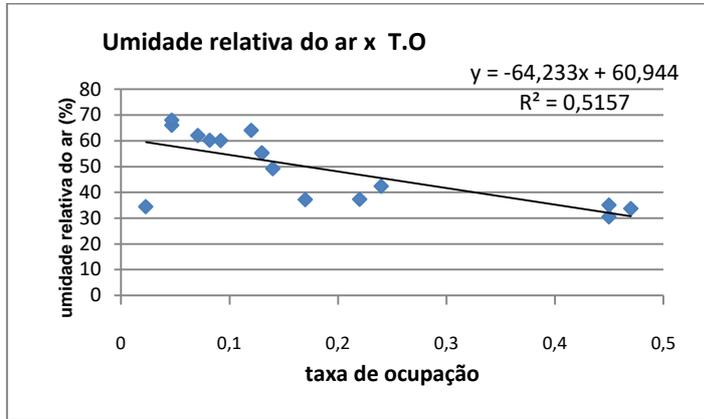
<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,95138
R ²	0,905124
R ² ajustado	0,898347
Erro padrão	0,627371
Observações	16

Figura 5.78: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a temperatura do ar (variável dependente) e o recuo médio (Rm) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,621.



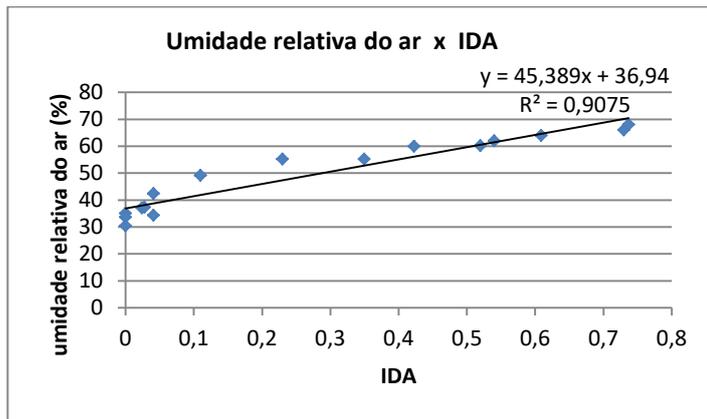
<i>Estatística de regressão</i>	
R	0,788019
R ²	0,620974
R ² ajustado	0,593901
Erro padrão	1,253951
Observações	16

Figura 5.79: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a umidade relativa do ar (variável dependente) e taxa de ocupação do solo (T.O) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,515.



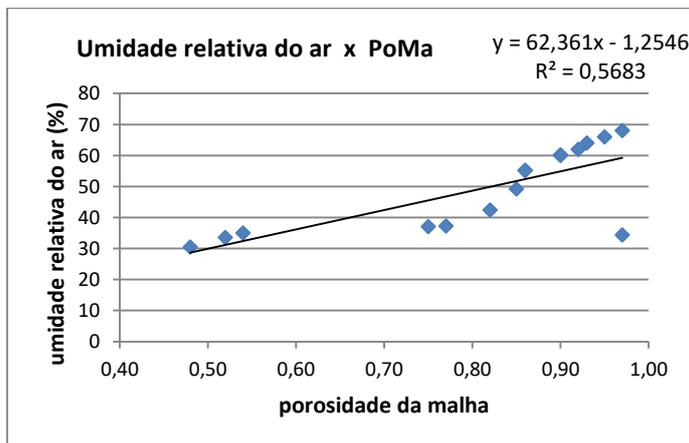
<i>Estadística de regressão</i>	
R	0,718126
R ²	0,515704
R ² ajustado	0,481112
Erro padrão	9,623818
Observações	16

Figura 5.80: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a umidade relativa do ar (variável dependente) e Índice de densidade arbórea (IDA) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,907.



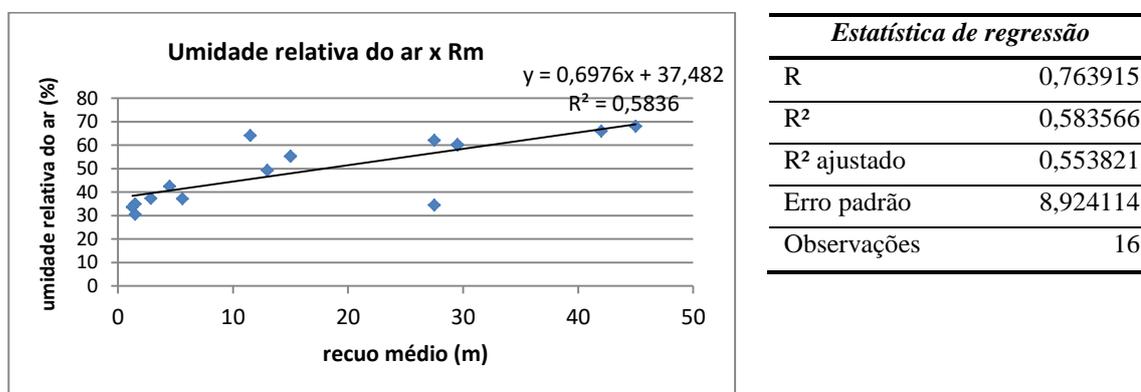
<i>Estadística de regressão</i>	
R	0,952608
R ²	0,907462
R ² ajustado	0,900852
Erro padrão	4,206813
Observações	16

Figura 5.81: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a umidade relativa do ar (variável dependente) e porosidade da malha (PoMa) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,568.



<i>Estadística de regressão</i>	
R	0,753837
R ²	0,56827
R ² ajustado	0,537432
Erro padrão	9,086536
Observações	16

Figura 5.82: Diagrama de dispersão – representação da regressão linear a partir da correlação entre a umidade relativa do ar (variável dependente) e recuo médio (Rm) (variável independente): coeficiente de determinação (R^2)= 0,583.



Os gráficos de dispersão apresentados anteriormente confirmam a forte influência dos parâmetros tradicionais, como também, dos parâmetros avançados no comportamento da temperatura do ar (dados considerando os valores máximos obtidos no centro dos recintos simulados) e da umidade relativa do ar (dados considerando os valores mínimos obtidos no centro dos recintos simulados).

Os maiores valores de coeficientes de determinação (r^2) foram identificados a partir da correlação entre as variáveis climáticas (temperatura e umidade relativa) e os parâmetros avançados *índice de densidade arborea (IDA)* e *porosidade da malha (PoMa)*, e os parâmetros tradicionais *recuos médios (Rm)* e *taxa de ocupação do solo (T.O)*. Os valores de R^2 identificados a partir da influência do *índice de densidade arborea (IDA)* foram acima de 0,9, confirmando a forte associação entre as variáveis e o potencial de explicação da equação gerada a partir da regressão linear. Como o coeficiente de determinação (R^2) foi igual a 0,907, no caso da associação com a umidade relativa do ar (figura 5.80), significa que 90,7% da variação da umidade relativa do ar mínima podem ser explicados pela relação entre esta variável e o *índice de densidade arborea (IDA)* e os 9,3% restante de variação é **não explicada** e é em razão de outros fatores. Como os dados considerados na análise (temperatura do ar e umidade relativa) referem-se ao nível microclimático, os resultados apresentados reforçam a importância deste parâmetro para o alcance da estratégia bioclimática *resfriamento evaporativo*, potencializando o papel de amenização térmica, já que a correlação é negativa.

Porém, em termos práticos, é importante destacar que os demais parâmetros acima citados, apresentam coeficiente de correlação acima de 0,6 com o *parâmetro índice de densidade arborea (IDA)* (tabela 5.11), portanto, são parâmetros determinantes para a implantação e alcance de um maior IDA, pois contribuem para a delimitação de espaços livres passíveis de implantação de arborização urbana, como também, de solo permeável (recuos, porosidade da malha e taxa de ocupação). Desta forma, para uma análise mais aprimorada, é fundamental que a forma urbana seja estudada a partir da avaliação integrada destes parâmetros. Por isso, foram testadas equações geradas a partir do processo de regressão múltipla.

A regressão múltipla é fundamentada no uso de duas ou mais variáveis independentes na previsão de uma variável dependente. Para isso, é necessário expandir o modelo de regressão simples acrescentando variáveis independentes que tenham o maior poder preditivo adicional. Mesmo determinando a associação de qualquer variável independente com a dependente, através do coeficiente de correlação, a amplitude do poder preditivo incremental para qualquer variável adicional é muitas vezes determinada por sua multicolinearidade³⁶ com outras variáveis já presentes na equação de regressão (HAIR et al, 2009, p.161).

Para elaboração do modelo de regressão múltipla foi realizada uma abordagem sequencial de seleção das variáveis independentes. A variável independente inicial foi selecionada a partir do dado de maior correlação com a variável dependente. As variáveis dependentes consideradas para gerar o modelo de regressão foram: temperatura do ar máxima e umidade relativa do ar mínima (no centro do recinto). Não foi investigado modelo de regressão múltipla para a variável dependente velocidade do ar devido aos baixos valores de coeficiente de correlação (valores inferiores a 0,6) obtidos entre esta variável e as demais variáveis independentes (parâmetros urbanísticos).

Desta forma, a variável independente inicial adotada para os modelos de regressão para previsão da temperatura do ar máxima e umidade relativa do ar mínima foi o *índice de densidade arbórea* (IDA). Foi utilizada a ferramenta EXCEL para a obtenção dos dados da regressão múltipla (r , R^2 , erro padrão, ANOVA, valor $-p$). As demais variáveis independentes foram acrescentadas ao modelo de forma sequenciada, avaliando-se a adição estatisticamente significativa para a equação gerada. Um dos principais indicadores avaliados para obtenção do modelo estatisticamente significativo foi o *valor-p* que deve apresentar valor menor que o nível de significância escolhido para o desenvolvimento do modelo (no presente estudo foi adotado o valor crítico de *valor-p* menor ou igual a 0,05, considerando o nível de significância adotado para o cálculo estatístico do modelo, ou seja, aceita-se até 5% de erro e 95% de chance de acerto para o modelo preditivo). Quando a adição da variável independente acarreta em redução do coeficiente de determinação ou na obtenção do *valor-p* superior a 0,05 a variável é excluída do modelo preditivo. Este processo é continuado, adicionando-se as variáveis independentes até que nenhuma das candidatas remanescentes para a inclusão possa contribuir em melhora estatisticamente significativa na precisão preditiva.

Para maximizar a previsão a partir de um dado número de variáveis independentes, deve-se procurar variáveis independentes que tenham baixa multicolinearidade com as outras variáveis independentes, mas também, apresentem correlações elevadas com a variável dependente (HAIR et al, 2009, p.161).

Embora todos os parâmetros estudados tenham apresentado uma influência no comportamento da temperatura do ar e da umidade relativa, as equações de melhor ajuste contemplou apenas os parâmetros *porosidade da malha* e *índice de densidade arbórea* (IDA)

³⁶ A multicolinearidade refere-se à correlação entre três ou mais variáveis independentes. Ocorre quando qualquer variável independente é altamente correlacionada com um conjunto de outras variáveis independentes. O impacto da multicolinearidade é reduzir o poder preditivo de qualquer variável independente na medida em que ela é associada com as outras variáveis independentes .

(Eqs. 01 e 02; Tabelas 5.12 e 5.13). A multicolinearidade entre os parâmetros urbanísticos desfavoreceu a elaboração de um modelo preditivo caracterizado por um maior número de variáveis independentes. Para predição da temperatura máxima do ar no centro do recinto apresenta-se a equação 01 (tabela 5.12) e para predição da umidade relativa do ar mínima no centro do recinto, apresenta-se a equação 02 (tabela 5.13). Os dados para os demais índices estatísticos estão especificados nas tabelas 11 e 12 no apêndice B.

$$\text{Temp. máx} = 38,56 - 2,96 \cdot \text{PoMa} - 5,50 \cdot \text{IDA} \quad \text{Eq. [01]}$$

Tabela 5.12: Dados de regressão múltipla considerando um modelo preditivo para a temperatura do ar máxima (variável dependente), a partir dos parâmetros *índice de densidade arbórea (IDA)* e *porosidade da malha (PoMa)* (variáveis independentes).

<i>Estatística de regressão</i>			<i>Coefficientes</i>	<i>valor-P</i>
R múltiplo	0,96769			
R-Quadrado	0,93640	Interseção	38,55996	0,00%
R-quadrado ajustado	0,92660	Po Ma	-2,96826	2,51%
Erro padrão	0,532949	IDA	-5,50093	0,00%
Observações	16			

$$\text{Umid. Min.} = 26,03 + 39,247 \cdot \text{IDA} + 15,50 \cdot \text{Po Ma} \quad \text{Eq. [02]}$$

Tabela 5.13: Dados de regressão múltipla considerando um modelo preditivo para a umidade relativa mínima (variável dependente), a partir dos parâmetros *índice de densidade arbórea (IDA)* e *porosidade da malha (PoMa)* (variáveis independentes).

<i>Estatística de regressão</i>			<i>Coefficientes</i>	<i>valor-P</i>
R múltiplo	0,9623			
R-Quadrado	0,9260	Interseção	26,03273	0,105%
R-quadrado ajustado	0,9146	IDA	39,24766	0,000%
Erro padrão	3,904248	Po Ma	15,50701	9,446%
Observações	16			

Apesar do *valor-p* obtido para o parâmetro *PoMa* na equação 02, ter apresentado valor superior a 5% a equação foi considerada estatisticamente significativa pois, o valor foi inferior a 10% (limite estatístico) e os demais os coeficientes de determinação foram superiores a 0,9.

A previsão da temperatura máxima do ar e da umidade relativa mínima pode auxiliar na identificação dos impactos referentes aos padrões de ocupação e da forma urbana em realidades climáticas semelhantes à estudada (cidade de Arapiraca-AL). Pode assim, subsidiar a identificação de soluções de intervenções urbanísticas apropriadas para a adequação climática de conjuntos edificados urbanos. Além disso, os procedimentos adotados para a avaliação dos tecidos urbanos e cenários hipotéticos, como também, para o desenvolvimento de modelos preditivos podem ser reaplicados para investigações climáticas em realidades climáticas diferenciadas.

Em relação aos limites máximos para o alcance das condições de conforto térmico, segundo Givoni (1992), o valor da temperatura do ar exterior acima de 32°C inviabiliza o

aproveitamento da estratégia *ventilação natural*, pois pode acarretar ganhos térmicos para os volumes edificados por convecção. A umidade relativa do ar menor do que 30% compromete as condições de saúde humana e impossibilita a redução da temperatura do ar no nível microclimático indicando a necessidade de incorporação da estratégia bioclimática *resfriamento evaporativo*. Assim, é necessário em estudos futuros, a ampliação da discussão e investigação a cerca os limites de conforto humano a partir da calibração de índices para a realidade climática estudada, a fim de contribuir para a discussão a respeito das necessidades de adequação climática de tecidos urbanos.

Sabe-se que a avaliação da temperatura do ar e da umidade relativa corresponde apenas um indicativo para análise da qualidade climática, com influencia consequente nas condições de conforto térmico em espaços urbanos. Apesar disso, o entendimento sobre o comportamento das variáveis climáticas é imprescindível para o desenvolvimento de estratégias e diretrizes de ocupação urbana que evitem futuros impactos negativos na qualidade de vida humana e no processo de produção e consumo do espaço urbano.

Soluções corretivas para adequação climática de espaços urbanos podem ser extremamente onerosas a ponto de se tornarem economicamente inviáveis, por isso, a avaliação de desempenho climático deve ser entendida como processo inerente ao planejamento urbano. Diante das atuais necessidades e demandas dos cenários urbanos quanto ao imperativo da sustentabilidade e as possibilidades de adensamento construtivo urbano, o presente estudo possibilitou a identificação de alguns dos aspectos relacionados ao desempenho climático a partir do estudo dos parâmetros urbanísticos e sua relação com a morfologia urbana. Ou seja, o estudo da **forma** urbana (morfologia) pode otimizar seu **desempenho**, entendido aqui como a resposta termo-energética do conjunto edificado e sua adequação climática.

Demonstrada a forte influencia da *porosidade da malha* e do *IDA* através do presente estudo, verifica-se que ambos são importantes para a incorporação das estratégias bioclimáticas identificadas nesta pesquisa para a realidade climática investigada: *ventilação natural* e *resfriamento evaporativo*. Ou seja, quando estes parâmetros são ajustados de forma associada podem contribuir muito para a otimização do desempenho climático das estruturas urbanas.

A avaliação realizada a partir dos cenários simulados apontou, portanto, a importância dos espaços livres no interior das quadras para o incorporação de massa arbórea e para o aumento da porosidade da malha. Desta forma, para todas as variações morfológicas investigadas, os cenários que foram elaborados a partir da consideração da quadra como elemento mínimo (ou seja, não foram consideradas as limitações de lotes - quadra aberta) apresentaram desempenho satisfatório e otimizado, mesmo aplicando o aumento da densidade construtiva. Assim, a hipótese principal da presente pesquisa pôde ser confirmada. Nos quadros a seguir, são descritas sinteticamente as informações referentes ao desempenho dos cenários avaliados (quadros 5.25 a 5.28).

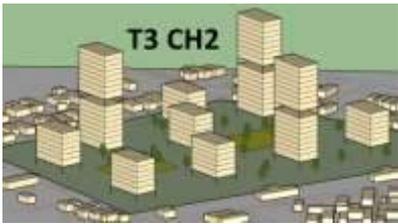
Quadro 5.25: Síntese dos resultados referentes ao desempenho climático dos cenários investigados a partir do tecido Tipo 1- Bairro Brasília.

FORMA		Principais características	Adequação Climática
Classificação Morfológica			
T1 ATUAL	 <p>Horizontal geminado</p>	<p>Alta taxa de ocupação do solo do tecido ($T.O=0,45$) baixa porosidade de malha ($Po Ma=0,48$, a menor dentre todos os cenários avaliados), recuos médios de apenas 1,5m entre edificações e ausência de arborização ($IDA=0$).</p>	<p>Adequação não alcançada. O recinto apresentou temperatura do ar acima dos $38^{\circ}C$ às 15h e umidade relativa do ar próxima aos 30%. Não possui elementos para amenização térmica, acarretando em significativo aquecimento nos horários de maior intensidade de radiação. O calor acumulado não é dissipado devido à canalização dos ventos predominantes nas vias, pois os volumes de construção são geminados</p>
T1 CH1	 <p>Horizontal rugoso geminado</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva com mesmo padrão morfológico de quadra do tecido Tipo 1- Atual.</p> <p>Alta taxa de ocupação do solo do tecido ($T.O=0,45$) baixa porosidade de malha ($Po Ma=0,54$), recuos médios de apenas 1,5m entre edificações e ausência de arborização ($IDA=0$).</p>	<p>Adequação não alcançada. Apesar deste cenário apresentar temperatura do ar inferior à condição atual nos horários de maior intensidade de radiação solar (sombreamento da malha devido ao aumento da altura das edificações), após às 17h, a temperatura do ar torna-se superior, indicando maior acúmulo de calor devido ao aumento da densidade construtiva e ausência de elementos de amenização térmica</p>
T1CH2	 <p>Vertical baixo disperso arborizado</p>	<p>O cenário apresenta densidade construtiva semelhante a do tecido Tipo 1-Atual, porém, com padrão morfológico diferenciado.</p> <p>Menor taxa de ocupação do solo ($T.O=0,13$), maior percentual de solo natural ($Tsn=0,67$), alta porosidade da malha ($PoMa=0,86$), baixa densidade de área frontal – FAD (0,1), presença de vegetação IDA (0,23).</p>	<p>Desempenho otimizado: redução da temperatura máxima do ar. Exceto às 15h apresentou valores de temperatura do ar inferiores aos demais cenários em todos os demais horários. Às 12h, foi identificada uma diferença de $4,54^{\circ}C$ em relação a condição atual de ocupação. (T1 ATUAL)</p>
T1CH3	 <p>Vertical alto rugoso</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva e com padrão morfológico diferenciado do tecido Tipo 1- Atual.</p> <p>Maior coeficiente de aproveitamento ($C.A =10$), menor taxa de ocupação do solo ($T.O=0,13$), maior percentual de solo natural ($Tsn=0,69$), alta porosidade da malha ($PoMa=0,86$), maior presença de vegetação IDA (0,35).</p>	<p>Desempenho otimizado: redução da temperatura máxima em até $3,54^{\circ}C$ e aumento da umidade relativa do ar em 27,07%, em relação à condição atual de ocupação. Comportamento higratérmico semelhante ao cenário T1CH2, porém, com temperatura superior a este (aproximadamente $1^{\circ}C$), principalmente após às 18h, devido a maior carga térmica acumulada pela presença de maior volume de construções. Porém, o padrão de distribuição das massas de ar foi consideravelmente melhorado em relação à T1 ATUAL (ausência do efeito de canalização dos ventos).</p>

Quadro 5.26: Síntese dos resultados referentes ao desempenho climático dos cenários investigados a partir do tecido Tipo 2- Bairro Novo Horizonte

FORMA		Principais características	Adequação Climática
Classificação Morfológica			
T2 ATUAL	 <p>T2 ATUAL Horizontal disperso</p>	<p>Baixa taxa de ocupação do solo (T.O=0,17), alto percentual de solo natural (Tsn=0,78), alta porosidade da malha (PoMa= 0,75), baixa densidade de área frontal – FAD (0,052), presença de arborização, porém, de modo concentrado no corredor verde IDA (0,024).</p>	<p>O recinto apresentou amenização térmica em relação à condição atual da tipologia 1, devido a presença de arborização urbana, importante para redução da temperatura do ar e aumento da umidade relativa. Porém, esta diferença não foi significativa (apenas 0,64°C às 15h), pois, o efeito microclimático da vegetação é concentrado apenas no corredor verde</p>
T2CH1	 <p>T2 CH1 Vertical rugoso</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva com mesmo padrão morfológico de quadra do tecido Tipo 2- Atual.</p> <p>Aumento da taxa de ocupação do solo (T.O=0,24), redução do percentual de solo natural (Tsn=0,60), alta porosidade da malha (PoMa= 0,82), baixa densidade de área frontal – FAD (0,06), presença de arborização, porém, de modo concentrado no corredor verde IDA (0,041).</p>	<p>Desempenho equivalente: Nos horários correspondentes à ausência da incidência de radiação solar direta, apresentou valores de temperatura do ar superiores aos demais cenários. Ou seja, ocorreu uma amenização térmica no período diurno, sob a influência do sombreamento pela estrutura edificada, porém, ocorre o armazenamento da energia térmica acumulada pelas edificações.</p>
T2CH2	 <p>T2 CH2 Vertical baixo disperso arborizado</p>	<p>O cenário apresenta densidade construtiva semelhante a do tecido Tipo 2-Atual, porém, com padrão morfológico diferenciado</p> <p>Baixa taxa de ocupação do solo (T.O=0,082), alto percentual de solo natural (Tsn=0,69), alta porosidade da malha (PoMa= 0,9), baixa densidade de área frontal – FAD (0,09), presença de vegetação com distribuição integrada IDA (0,52).</p>	<p>Desempenho otimizado: apresentou menor amplitude térmica, correspondendo a 7,97°C diferenciando-se em relação à T2 ATUAL e T2CH1 que apresentam valores superiores a 10°C. Redução da temperatura do ar em relação à condição atual (variação de 4,58°C, às 12h).</p>
T2CH3	 <p>T2 CH3 Vertical alto disperso rugoso</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva e com padrão morfológico diferenciado do tecido Tipo 2-Atual.</p> <p>Baixa taxa de ocupação do solo (T.O= 0,092), alto coeficiente de aproveitamento do solo (C.A= 8,82), alto percentual de solo natural (Tsn=0,69), alta porosidade da malha (PoMa= 0,9), alta rugosidade absoluta (RgAb= 3,0) e presença de vegetação com distribuição integrada (IDA =0,423).</p>	<p>Desempenho otimizado: apresentou menor amplitude térmica, correspondendo a 7,41°C diferenciando-se em relação à T2 ATUAL e T2CH1 que apresentam valores superiores a 10°C. Redução da temperatura do ar em relação à condição atual (variação de 4,50°C, às 12h).</p>

Quadro 5.27: Síntese dos resultados referentes ao desempenho climático dos cenários investigados a partir do tecido urbano Tipo 3- Condomínio Residencial Espace.

FORMA		Principais características	Adequação Climática
Classificação Morfológica			
T3 ATUAL	 <p>Vertical alto homogêneo</p>	<p>Baixa taxa de ocupação (T.O=0,02), alta porosidade da malha (PoMa= 0,97), baixo índice de densidade arbórea (IDA=0,041), densidade de área frontal (DAF) igual a 0,34.</p>	<p>O recinto apresentou amenização térmica em relação à condição atual da tipologia 1, devido ao sombreamento dos edifícios e maior percentual de solo natural e existência de arborização no interior da quadra. A diferença correspondeu a até 1°C</p>
T3 CH1	 <p>Vertical alto homogêneo</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva com mesmo padrão morfológico de quadra do tecido Tipo 3 Atual.</p> <p>Aumento da taxa de ocupação do solo (T.O=0,05).alta porosidade da malha (PoMa = 0,95), aumento de espécies arbóreas (IDA= 0,73), aumento da densidade de área frontal (DAF=0,41).</p>	<p>Adequação não alcançada. Apesar de apresentar temperatura do ar inferior á condição atual devido ao maior sombreamento da malha urbana e maior arborização, este cenário apresentou maior impacto para o entorno imediato quanto ao padrão de distribuição das massas de ar. No interior da malha, a distribuição é adequada, porém, nos espaços à sotavento, ocorre grande redução da velocidade do ar afetando o aproveitamento da ventilação natural nestas áreas adjacentes.</p>
T3 CH2	 <p>Vertical heterogêneo disperso</p>	<p>O Cenário apresenta densidade construtiva semelhante a do tecido T3-Atual, porém com padrão morfológico diferenciado.</p> <p>Redução da densidade de área frontal (DAF=0,08) e prospecto médio (Pm=0,58), aumento do índice de densidade arbórea (IDA= 0,54) e redução do coeficiente de aproveitamento (C.A= 9,33)..</p>	<p>Desempenho otimizado: às 15h, observa-se uma diferença de 3,6°C em relação à condição atual de ocupação (T3 ATUAL). O padrão de distribuição das massas de ar foi significativamente aprimorado, com redução das áreas de sombra de vento e apresentando menor impacto para o entorno imediato</p>
T3CH3	 <p>Vertical alto poroso</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva e com padrão morfológico diferenciado do tecido Tipo 3-Atual para incorporação de estratégias bioclimáticas.</p> <p>Aumento da porosidade do conjunto edificado (PoCedif=0,13) e do índice de densidade arbórea (IDA= 0,54), aumento do prospecto médio (Pm=2,0).</p>	<p>Desempenho otimizado: às 15h, observa-se uma diferença de 4,0°C em relação à condição atual de ocupação (T3 ATUAL). O padrão de distribuição das massas de ar foi significativamente aprimorado, com redução das áreas de sombra de vento e apresentando menor impacto para o entorno imediato</p>

Quadro 5.28: Síntese dos resultados referentes ao desempenho climático dos cenários investigados a partir do tecido Tipo 4- Bairro Canafístula.

FORMA		Principais características	Adequação Climática
Classificação Morfológica			
T4 ATUAL	 <p>Horizontal geminado</p>	<p>Taxa de ocupação média (T.O= 0,22), baixo coeficiente de aproveitamento (C.A=1), porosidade da malha (PoMa=0,52), ausência de arborização urbana (IDA=0).</p>	<p>Apresentou desempenho climático similar aos tecidos Tipo 2 e Tipo 3. Porém, possui pouco potencial para aproveitamento da ventilação natural na escala do edifício devido a proximidade das edificações.</p>
T4 CH1	 <p>Horizontal geminado</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva com mesmo padrão morfológico de quadra do tecido Tipo 4 Atual.</p> <p>Aumento da taxa de ocupação (T.O= 0,47), aumento do coeficiente de aproveitamento (C.A=2), aumento da altura média (Hm=7), redução da porosidade da malha (PoMa=0,52), ausência de arborização urbana (IDA=0)..</p>	<p>Adequação não alcançada. Apresentou comportamento higrotérmico semelhante à condição atual de ocupação (T4 ATUAL), porém após às 15h a temperatura do ar manifesta-se em valores superiores à T4 ATUAL, devido ao aumento de acúmulo de calor a partir da ampliação da densidade construtiva e baixa capacidade de dissipação de energia térmica acumulada (ausência de estratégias bioclimáticas)</p>
T4 CH2	 <p>Horizontal disperso heterogêneo</p>	<p>O Cenário apresenta densidade construtiva semelhante a do tecido T4-Atual, porém, com padrão morfológico diferenciado.</p> <p>Aumento do recuo médio (Rm= 13), aumento do índice de densidade arbórea (IDA=0,11).</p>	<p>Desempenho otimizado Pouca capacidade de sombreamento da malha, porém, apresenta arborização significativa e permeabilidade aos ventos. Foi detectada uma diferença de até 3,36°C em relação à condição atual.</p>
T4CH3	 <p>Vertical baixo disperso arborizado</p>	<p>Cenário caracterizado pelo aumento de densidade construtiva, e com padrão morfológico diferenciado do tecido Tipo 3-Atual .</p> <p>Redução da taxa de ocupação do solo (T.O= 0,12), aumento do coeficiente de aproveitamento (C.A =4), aumento da altura média das construções (Hm= 13), aumento da porosidade da malha (PoMa=0,72), aumento do índice de densidade arbórea (IDA=0,609)..</p>	<p>Desempenho otimizado: Apresentou maior capacidade de redução da temperatura do ar (até 4,86°C às 15h, em relação ao cenário hipotético 1 – T4CH1) por apresentar um conjunto edificado que favorece o sombreamento do recinto como também o incremento da umidade relativa do ar na escala microclimática devido à presença significativa de elementos arbóreos</p>

Confirma-se que para o incremento da densidade construtiva urbana, a adoção da quadra como elemento mínimo de planejamento urbano favorece o desempenho ambiental urbano, pois, a forma do tecido pode ser ajustada para atender as solicitações climáticas locais a partir da incorporação de estratégias bioclimáticas na escala urbana, sendo assim maximizado este potencial de adequação. Em todos os cenários hipotéticos estudados, o desempenho climático foi otimizado nas situações tipo 3 (T1CH3, T2CH3, T3CH3 e T4CH3) devido à possibilidade de incremento das condições microclimáticas a partir da redução das barreiras para distribuição eficaz das massas de ar, como também, incluindo a liberação de solo para adoção da vegetação urbana e solo permeável. As diferenças diagnosticadas quanto aos valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar nos horários de maior intensidade de radiação solar foram significativas (acima de 3°C e 25% respectivamente), reforçando o potencial de amenização térmica a partir dos padrões morfológicos destes conjuntos edificados, mesmo com o aumento da densidade construtiva. Nos cenários tipo 1 (T1CH1, T2CH1, T3CH1 e T4CH1), como o aumento da densidade construtiva não foi baseado na modificação e ajuste da morfologia urbana, os problemas de aquecimento urbano identificados após os horários de insolação ocorreram devido a baixa capacidade de resfriamento destes cenários, principalmente, em decorrência de problemas quanto a inserção das massas de ar para resfriamento da malha urbana, como também, devido à ausência de solo em potencial para incorporação efetiva de elementos de amenização térmica como a arborização.

Para os conjuntos edificados verticalizados, o sombreamento das quadras favoreceu a redução da temperatura do ar nos horários de maior intensidade de radiação solar, porém, as avaliações quanto ao padrão de distribuição das massas de ar apontaram a importância do tipo de implantação do volume edificado devido a sua influência direta na formação das áreas de sombra de vento. Desta forma, os benefícios quanto ao padrão verticalizado para o aumento da densidade construtiva e ampliação de espaços livres, deve ser criteriosamente analisados quanto à formação de barreiras para o aproveitamento das massas de ar na camada intra-urbana, afetando o aproveitamento da estratégia bioclimática *ventilação natural* no nível dos edifícios, como também, no entorno imediato urbano. É importante destacar, também, que para soluções verticalizadas é imprescindível uma análise integrada quanto aos impactos relacionados com a falta de escala humana e interferências com a paisagem local.

As previsões quanto os impactos de possíveis ocupações a partir da saturação do solo fundamentada nos parâmetros urbanísticos são importantes para evitar futuros impactos climáticos e ambientais na qualidade dos cenários urbanos. Porém, enquanto as respostas e soluções forem estabelecidas de forma fragmentada e desintegrada, o potencial de adequação climática de conjuntos edificados urbanos continuará sendo desprezado no processo de planejamento urbano. A importância dos parâmetros urbanísticos avançados para o entendimento da morfologia urbana e para seu ajuste quanto à adequação climática de assentamentos urbanos foi evidenciada a partir do estudo sobre o grau de correlação com o comportamento das variáveis climáticas estudadas e revelam a necessidade de entendimento e incorporação dos mesmos, no processo de elaboração dos instrumentos de ordenamento territorial urbanos.

Os resultados do presente estudo demonstram a necessidade do alcance da adequação climática a partir de um planejamento integrado, ou seja, da mesma maneira que as estratégias bioclimáticas não podem ser estudadas a partir de uma análise isolada da edificação (devido à interferência do entorno imediato no desempenho da mesma) os recintos urbanos devem ser analisados e planejados considerando o conjunto dos lotes, ou seja, considerando a ocupação e morfologia edificada do conjunto das quadras.

Como abordam Gonçalves et al (2015) é necessário repensar propositivamente os espaços existentes no limite da calçada com os lotes, borda esta, hoje, definida pelo tradicional entendimento do que é público em oposição ao privado. A introdução de critérios de desempenho ambiental não restringirá soluções de desenho urbano, nem apontará uma solução ideal para adequação climática, mas valorizará o processo de projeto por agregar mecanismos de verificação da qualidade do ambiente urbano (GONÇALVES et al 2015).

Neste sentido dois grandes desafios são lançados: a revisão de políticas e instrumentos de planejamento urbano que avancem sobre as questões atreladas sobre a relação público e privada (ultrapassando a gestão e planejamento do lote para alcance da gestão e planejamento da quadra); e a necessidade de capacitação e qualificação profissional dos atores que atuam nesse processo de planejamento urbano, incluindo o papel dos currículos acadêmicos das instituições de formação profissional, como dos cursos de Arquitetura e Urbanismo, para inserção destas questões nas suas atividades e práticas .

6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa fundamentou-se no debate sobre os impactos e possibilidades relacionados com o processo de adensamento construtivo com enfoque no desempenho climático urbano. A abordagem preditiva para a realização da avaliação de desempenho climático de tipos espaciais urbanos foi escolhida no intuito de verificar a influência da forma urbana e de diferentes padrões de ocupação de quadras no comportamento microclimático e no aproveitamento de estratégias bioclimáticas para adequação de tecidos urbanos. A importância desta temática está relacionada com o alcance da qualidade ambiental urbana, com impacto direto sobre as condições de conforto ambiental e consumo de energia, como foi explicitado nos primeiros capítulos deste documento que compuseram a fundamentação teórica da tese.

Nos capítulos teóricos, foram apresentados os conteúdos relacionados com os três temas principais da pesquisa: Clima Urbano, Bioclimatologia e Urbanismo Bioclimático. O debate conduziu para uma reflexão acerca do processo de planejamento urbano e dos imperativos da sustentabilidade urbana, através da compreensão das interfaces conceituais entre estas disciplinas e os preceitos e diretrizes necessários para o alcance da otimização de desempenho climático urbano. Dentre os principais aspectos citados pelas pesquisas consultadas, destaca-se a necessidade de controle do adensamento construtivo urbano, para fins de definição de seus limites, considerando os princípios de adequação climática de conjuntos edificados. Como a densidade construtiva urbana pode ser implementada a partir de diferentes padrões morfológicos, os procedimentos metodológicos foram estruturados para permitir a avaliação de cenários hipotéticos estudados, a partir do objeto empírico selecionado, a cidade de Arapiraca-AL. Sendo os parâmetros urbanísticos os principais recursos de quantificação do processo de ocupação do solo urbano e definidores da densidade construtiva de tecidos urbanos, os mesmos foram estudados a partir da correlação com os dados das variáveis climáticas investigadas, na etapa preditiva desta pesquisa.

O objetivo geral do trabalho, referente à realização de uma avaliação preditiva sobre o desempenho climático de tipologias espaciais urbanas determinadas por diferentes densidades construtivas e padrões morfológicos, foi alcançado. Para isso, foi imprescindível a caracterização do perfil climático do objeto empírico, a cidade de Arapiraca-AL. Esta caracterização possibilitou a identificação de dados de entrada sobre o comportamento das variáveis ambientais locais necessários para a calibração do modelo ENVI-met, como também, para a identificação das estratégias bioclimáticas locais que subsidiaram o processo de elaboração dos cenários hipotéticos. Os procedimentos adotados nesta etapa podem ser aplicados em realidades climáticas distintas e podem subsidiar o entendimento e definição de diretrizes para adequação climática das mesmas. Esta caracterização climática constituiu em importante contribuição deste estudo, visto que a cidade de Arapiraca-AL, como também, suas cidades circunvizinhas, ainda não apresentam estudo consolidado baseado em dados

históricos para delimitação precisa de seu perfil climático.

Foi demonstrado que, embora as pesquisas da climatologia urbana apontem como solução o uso de vegetação urbana e de materiais de baixa capacidade calorífica para a minimização dos efeitos negativos climáticos do processo de urbanização, são imprescindíveis, além disso, a avaliação da forma e arranjo espacial para potencializar o uso dos recursos naturais de amenização térmica. Por isso, foram evidenciados os parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados que são definidores da forma de tecidos urbanos.

Os resultados referentes à primeira etapa da pesquisa (caracterização climática do objeto empírico) apontaram que o sítio urbano de Arapiraca-AL apresenta estrutura inadequada às condições climáticas locais. O diagnóstico foi alcançado a partir da identificação das estratégias bioclimáticas e do levantamento e análise das variáveis climáticas locais e de técnicas de caracterização climática, já que a localidade não possui, ainda, uma série histórica de dados climáticos (normais climatológicas). As principais estratégias correspondem ao uso da *ventilação natural* (incluindo, principalmente, ventilação noturna); *resfriamento evaporativo* e *inércia térmica* nas edificações. Com uma estrutura urbana de baixa *porosidade da malha urbana* e *baixa rugosidade*, os resultados revelaram a necessidade de revisão dos instrumentos de controle e ocupação do solo urbano local. Os tipos espaciais selecionados como ponto de partida para a investigação de cenários hipotéticos foram monitorados em diferentes períodos (quente e seco, quente e úmido) e apresentaram desempenho microclimático diferenciado, destacando a influência do padrão morfológico no comportamento higrótérmico de tecidos urbanos. Este levantamento microclimático possibilitou a identificação de dias representativos para calibração do modelo micrometeorológico escolhido para a avaliação de cenários hipotéticos, o ENVI-met.

Os resultados encontrados na segunda etapa da pesquisa confirmaram que o modelo micrometeorológico ENVI-met pode ser aplicado para avaliar o desempenho climático do objeto empírico da pesquisa, Arapiraca-AL, e para avaliação preditiva de cenários hipotéticos. Para todas os tipos de padrão morfológico estudado, foram identificados os indicadores estatísticos MBE e RMSE a partir dos dados do levantamento microclimático e dos dados simulados no modelo ENVI-met. Para os dados de temperatura do ar, os valores do MBE variaram entre -0,646 a 0,279, sendo, portanto, um resultado satisfatório para a validação do modelo. Para os dados de umidade relativa do ar, os valores identificados para MBE estão entre os intervalos de 1,82 a 9,43, que também podem ser considerados satisfatórios, visto que a escala de variação da umidade é elevada (entre 30% e 75%).

A etapa referente à avaliação preditiva fundamentada na avaliação de cenários hipotéticos proporcionou a confirmação de significativas diferenças quanto ao desempenho climático de tecidos urbanos determinados por formas diferenciadas. Ou seja, o estudo da **forma** (morfologia urbana) favoreceu a identificação diferentes **desempenhos** e de padrões de adequação climática distintos. Este estudo destacou, portanto, a necessidade de revisão e refinamento de parâmetros urbanísticos para o alcance da adequação ambiental de espaços construídos, como forma de garantir boas condições de conforto térmico nos espaços urbanos e ambientes internos das edificações, enfatizando a possibilidade do estímulo a adensamentos

construtivos fundamentados na capacidade de carga do sistema urbano a partir da análise de seus impactos climáticos

Sabe-se que, para o alcance da sustentabilidade urbana, recomenda-se o estímulo à compactidade urbana como configuração espacial e legal, porém, devem-se respeitar os condicionantes locais, como o clima, a topografia e outros que precisam ser analisados, através de pesquisas urbanísticas específicas. Assim, aponta-se, como contribuição teórica da pesquisa, a confirmação da hipótese principal do estudo, destacando-se que para o incremento da densidade construtiva urbana, a adoção da quadra como elemento mínimo de planejamento urbano favorece desempenho ambiental urbano, pois a forma do tecido urbano pode ser ajustada para atender as solicitações climáticas locais, a partir da incorporação de estratégias bioclimáticas na escala urbana. Os cenários hipotéticos avaliados apontaram diferenças no comportamento da temperatura do ar de até 4,5°C e 25% na umidade relativa do ar (no nível microclimático), quando comparadas às condições de aumento de densidade construtiva urbana a partir da modificação do padrão morfológico urbano adequado à incorporação de estratégias bioclimáticas locais, como *ventilação natural* e *resfriamento evaporativo*. Esta modificação no padrão de morfologia foi fundamentada no estabelecimento da quadra como unidade mínima de planejamento para que as condições de aproveitamento das estratégias fossem maximizadas.

A escala de análise adotada para este estudo foi a microclimática, por ser a que apresenta maior interferência nas condições de conforto em espaços externos, extrapolando os efeitos para os espaços internos construídos (afetando as condições de saúde e bem-estar humanos e, conseqüentemente, também, o consumo de energia).

A presente pesquisa não pretende defender um determinado padrão de forma urbana, até porque como foi verificado, o efeito de amenização térmica pode ser alcançado a partir de diferentes condições morfológicas, sendo imprescindível o aproveitamento das estratégias bioclimáticas locais. Ou seja, para cada localidade (clima) devem ser ajustados os padrões de morfologia para adequação climática do conjunto edificado urbano. Como cada elemento construído apresenta influência no entorno imediato, a quadra quando adotada como unidade mínima de planejamento pode potencializar a incorporação destas estratégias, subsidiando significativamente a adequação climática de tecidos urbanos. O ajuste da forma deve ser feito através do entendimento e da consideração dos parâmetros urbanísticos tradicionais e avançados discutidos no presente estudo, como também, outros destacados pela literatura especializada, como o fator de visão do céu, compactidade urbana, contigüidade etc.

Sabe-se que, para a adoção da quadra como unidade mínima de planejamento, é necessário o aprimoramento do aparato legal e jurídico referente à lei da propriedade privada (modo de ocupação por lotes urbanos), hoje principal barreira para o alcance da flexibilidade nos padrões de produção do espaço edificado urbano. O presente estudo não contempla as considerações referentes às viabilidades legais para o alcance deste novo modo de planejar o tecido urbano, apenas aponta o potencial ambiental e os benefícios quanto à melhoria da qualidade climática urbana a partir dos estudos de ocupação de quadras. Confirmados os benefícios, destaca-se assim, a necessidade de estudos futuros tangenciáveis aos aspectos

jurídicos do tema estudado.

A principal limitação dos parâmetros urbanísticos tradicionais é a tendência à homogeneização das estruturas urbanas e a baixa flexibilidade quanto às respostas do volume edificado das quadras urbanas, podendo acarretar além de outros problemas, a inadequação climática de tecidos urbanos. Assim, foi destacada a importância dos parâmetros urbanísticos avançados na contribuição para a identificação e a especificação de soluções para a efetiva adequação climática de estruturas urbanas, a partir do entendimento e da aplicação de estratégias bioclimáticas locais.

Confirmando a hipótese de que os parâmetros avançados apresentam significativa influência no desempenho climático de recintos urbanos, foram verificados coeficientes de determinação com valor acima de 0,6 em análise de regressão linear simples (correlação com a temperatura do ar), como a *porosidade da malha* (PoMa) e o *índice de densidade arbórea* (IDA). O estudo para o desenvolvimento de um modelo preditivo segundo a análise dos parâmetros apontaram coeficientes de correlação (r) e de determinação (R^2) acima de 0,9, através da análise de regressão múltipla, considerando estes dois parâmetros citados. Estes resultados reforçam a necessidade urgente de incorporação de parâmetros urbanísticos avançados e integrados aos tradicionais no processo de planejamento e gestão dos cenários urbanos.

As equações geradas através da análise de regressão múltipla linear, considerando apenas dois parâmetros urbanísticos (PoMa e IDA), para predição da temperatura máxima do ar e da umidade relativa mínima, corresponde a uma limitação da presente pesquisa, pois a inclusão dos demais parâmetros no desenvolvimento do modelo preditivo acarretou na diminuição da significância estatística do mesmo. Este fato ocorreu devido à multicolinearidade entre as variáveis independentes estudadas (parâmetros urbanísticos). Sugere-se, em estudos futuros, a ampliação da amostra, a partir de estudos empíricos ou através de simulações computacionais (uso do modelo ENVI-met), incluindo outros parâmetros não investigados no presente estudo, para o alcance de um modelo preditivo que aborde uma diversidade maior de variáveis de ocupação urbana, determinantes da forma de tecidos urbanos. Outra limitação é que a equação gerada corresponde apenas ao modelo de predição para condição de verão na realidade climática de Arapiraca-AL, correspondendo a um período quente e seco, determinado por temperatura do ar diurna elevada e baixa umidade relativa do ar. Porém, a metodologia de identificação pode ser aplicada em realidades climáticas distintas e as equações em realidades climáticas semelhantes, como ferramenta para estimar possíveis impactos climáticos a partir da modificação da *porosidade da malha urbana* (PoMa) e do *índice de densidade arbórea* (IDA).

Quanto aos resultados referentes ao grau de correlação entre os parâmetros urbanísticos estudados e o desempenho referente à velocidade dos ventos nos tecidos simulados, aponta-se a necessidade de ampliação de pesquisas e amostras, pois, as hipóteses iniciais não foram confirmadas. Os valores dos coeficientes de correlação e determinação para esta variável ambiental foram baixos, tanto para os parâmetros tradicionais, como para os parâmetros avançados, como DAF e porosidade do volume edificado. Sugere-se, portanto, o

aprofundamento deste estudo em investigações futuras para alcance do melhor entendimento quanto aos aspectos da interferência da forma urbana no comportamento das massas de ar incidentes em conjuntos edificados.

A análise integrada de parâmetros urbanísticos é fundamental para a compreensão dos aspectos relacionados com os impactos do adensamento construtivo no desempenho climático de recintos urbanos. O estudo sobre o grau de correlação entre as variáveis ambientais e os parâmetros urbanísticos evidenciou o papel destes instrumentos de controle e ordenamento sobre a ocupação do solo urbano e os resultados apontam a necessidade de desenvolvimento de diretrizes para o controle do adensamento urbano com enfoque no *urbanismo bioclimático*.

Assim, deve-se atentar para os atuais discursos defendidos nos documentos e legislações urbanísticas, quanto à defesa do processo de adensamento construtivo urbano e estímulo à ocupação de vazios urbanos, como estratégia para otimizar a utilização de infraestrutura urbana já instalada. Essa diretriz de planejamento, fundamentada nas questões ligadas aos imperativos da sustentabilidade e da mobilidade urbana, deve ser definida a partir de estudos e avaliações de desempenho para que os resultados de futuras ocupações sejam realmente positivos e condizentes com as solicitações climáticas locais. Portanto, torna-se importante uma avaliação dos espaços intra-urbanos e dos espaços livres para a amenização térmica local, antes da realização de intervenções urbanas.

Quanto ao controle do adensamento construtivo, observa-se que o mesmo tem sido desconsiderado no processo de planejamento urbano, inviabilizando também, a incorporação dos princípios do urbanismo bioclimático. Sobre isso, é importante destacar que a verticalização dos espaços construídos não constitui um problema. Sabe-se, que para atingir a compactidade urbana, a verticalização é até necessária. Porém, é preciso que o seu processo seja acompanhado pela análise de suporte da infraestrutura e pelo aproveitamento das estratégias de adequação climática, o que não tem sido constatado na cidade de Arapiraca.

Uma análise do Plano Diretor de Arapiraca demonstrou que a incorporação dos preceitos para o alcance da sustentabilidade urbana ainda esbarra em diversos obstáculos de ordem sócio-política e econômica. Assim, torna-se evidente que o Plano Diretor, como instrumento de política urbana, por si só, não garantirá os avanços necessários para a melhoria da qualidade de vida nos espaços urbanos, sendo imprescindível a busca pela integração de políticas setoriais, um verdadeiro desafio no cenário brasileiro.

Conclui-se, portanto, que a bioclimatologia exerce um papel fundamental no estabelecimento dos limites para o adensamento construtivo urbano e a avaliação de desempenho climático deve ser entendida como procedimento integrado ao planejamento urbano. As soluções urbanísticas bioclimáticas devem ser integradas aos instrumentos de regulamentação/ aprovação de projetos arquitetônicos, como os códigos de obra e edificações, para que a adequação climática dos assentamentos construtivos seja alcançada tanto na escala urbana, como na escala do edifício.

REFERÊNCIAS

- ACSELRAD, Henri (org.). **A duração das cidades: sustentabilidade e risco nas políticas urbanas.** Coleção espaços do desenvolvimento. Rio de Janeiro: Editora Lamparina. 2009
- ADOLPHE, L et al. **SAGA Cites: systeme d'aide a la gestion des ambiances urbaines.** Relatório Final MENPT, Action Concertée Incitative Ville, Toulouse, 2002.
- ADOLPHE, L. A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. *Environment performance of cities. Environment and Planning B: Planning and Design* v. 28. N.2, p.183-200, 2001.
- ALLEGRI, J., DORER, V., CARMELIET, J. Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol.144, Issue null, p. 108-117. 2015
- ALUCCI, M. P. **Conforto Térmico, Conforto Luminoso e Conservação de Energia Elétrica – Procedimentos para Desenvolvimento e Avaliação de Projeto de Edificações.** 1993. 225p. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993.
- AMORIM FILHO, O; SERRA, R. V. Evolução e perspectivas do papel das cidades médias no planejamento urbano e regional. In: ANDRADE, T. A.; SERRA, R. V. (org.) **Cidades médias brasileiras.** Rio de Janeiro: IPEA, p.1-34. 2001.
- AMORIM FILHO, Osvaldo Cidades médias e a organização do espaço no Brasil. **Revista Geografia e Ensino**, Belo Horizonte, v.2, n.5, p.5-34, 1984.
- ANDRADE, Henrique O Clima Urbano- natureza, escalas de análise e aplicabilidade. **Finestra**. XL, 80, pp. 67-91.2005,.
- ASSIS, E. S. de Aplicações da climatologia urbana no planejamento da cidade: revisão dos estudos brasileiros. **RUA. Revista de Arquitetura e Urbanismo**, v. 9, p. 20-25, 2007.
- ASSIS, E. S. de. A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade: reflexões sobre uma trajetória. In: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 2005, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, p.92-101. 2005..
- ASSIS, E. S. de; RAMOS, J.G.L.; SOUZA, R.W.; CORNACCHIA, G.M.M. Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras. In: IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. **Anais...** Ouro Preto. 2007.
- ASSIS, E. S.de. **Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano.** São Paulo, 253 p. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo.2000.
- ASSIS, E.S. Estudo integrado da ilha de calor em áreas urbanas e sua contribuição ao planejamento: o caso de Belo Horizonte, MG . **Fórum Mudanças Climáticas V4 (N.1)**. 2011

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social: NBR 15220-3.** Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Edificações Habitacionais-Desempenho: NBR 15575.** Rio de Janeiro, 2013.

AUER, Jr. A.H.,: Correlation of land use and cover with meteorological anomalies **Journal of Applied Meteorology**, **17**, pp. 636-643.1978

BARBIRATO, G. M. . Modelo de balanço de energia aplicado ao caso da cidade de Maceió - AL, e suas implicações para o planejamento urbano ISSN 1982-9531. **Fórum Patrimônio : Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável** (UFMG. Online), v. 3, p. artigo 8. 2010

BARBIRATO, G. M. **Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió – AL.** Tese de Doutorado (Departamento de Hidráulica e Saneamento, SHS, EESC) - Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 1998. 173 f.

BARBIRATO, G.M; TORRES, S.C., PASSOS, I. C.S.; BARBOSA, R. V. R. Diretrizes bioclimáticas para o planejamento urbano a Partir da aplicação de metodologias de análise do clima local. 4º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável. **Anais do PLURIS 2010.** Faro. 2010

BARBOSA, R.V. R.. **Áreas Verdes e Qualidade Térmica em Ambientes Urbanos: Estudo em Microclimas de Maceió (AL).** Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, (Dissertação de Mestrado). São Carlos, 2005.

BARNETT, J. **An introduction to urban design.** Nova Iorque: Harper & Row Publishers. 1982.

BERTAGNOLIO; LEMORT. **Simulation assisted audit and evidence based calibration methodoly.** Laboratoire de thermodynamique. Universite de Liege. 2010. 31p.

BITAN, A. The methodology of applied climatology in planning and building. **Energy and buildings** .11, p. 1-10. 1988

BITTENCOURT, L. S. et al. A influência da relação entre taxa de ocupação x nº de pavimentos no potencial de ventilação natural dos ambientes internos e externos. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, 1997, Salvador. **Anais ...** Salvador: ANTAC. 1997 p.102-106.

BITTENCOURT, L. S. et al. O efeito da verticalização das edificações na ventilação natural do tecido urbano: o caso da orla marítima de Maceió. In: ENCONTRO NACIONAL de TECNOLOGIA do AMBIENTE CONSTRUÍDO, 8., 2000, Salvador. **Anais ...** Salvador: ANTAC 2000.

BORNSTEIN, R. D. Urban climate models: nature, limitations and applications, in T.R. Oke (ed.), Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas. Mexico. **Proceedings...** WMO, Geneva, p.199-236 (WMO n.652), 1986.

BORNSTEIN, R. D. Urban climate models: nature, limitations and applications, in T.R. Oke (ed.), Urban climatology and its applications with special regard to tropical areas. Mexico, 1984. **Proceedings...** WMO, Geneva, p.199-236 (WMO n.652), 1986.

BOURIKAS; JAMES; BAHAI; JENTSCH; SHEN; CHOW; DARKWA. A simplified 3D urban unit representation for urban microclimate simulations: A case study in China's 'Hot Summer and Cold Winter' climate zone. 14th International Conference on Sustainable Energy Technologies, **Proceedings...** Nottingham, UK, 2015.

BRANDÃO, Rafael (2009) **As interações espaciais urbanas e o clima**. São Paulo, 2009. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo — Faculdade de Arquitetura e Urbanismo), Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

BRASIL. Ministério da Integração Nacional. **Relatório Final**: grupo de trabalho interministerial para redelimitação do semi-árido nordestino e do polígono das secas. Brasília, 2005.

BROWN, GILLESPIE. **Microclimatic Landscape design**: creating thermal comfort and energy efficiency. New York: John Wiley & Sons, 1995.

BRUSE M; FLEER H. Simulating surface–plant–air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, vol. 13 (3–4), p.p. 373-384. 1998

BRUSE, M. **ENVI-met 4.0 Updated Model Overview**. 2015. Disponível em: www.ENVI-met.com. Acesso em: Dezembro, 2015

BRUSE, M.; HUTTNER, S.; GUTENBERG, J. **Numerical Modeling Of The Urban Climate – A Preview On Envi-Met 4.0**. The seventh International Conference on Urban Climate, Yokohama, Japan 29 June - 3 July 2009.

BRUSE, Michael **ENVI-met 3.1 Online Manual 2010**. Available from: <http://www.envi-met.com>

_____. **ENVI-Met® model homepage 2007**. . Disponível em: <http://www.envi-met.com/> Acesso em junho 2013.

_____. **ENVI-Met® model homepage 2016** . Disponível em: <http://www.envi-met.com/> Acesso em fevereiro 2016.

BUSTOS ROMERO, M.A. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. São Paulo: Proeditores, 1988.128p.

BUSTOS ROMERO. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço residencial de Brasília. **Fórum Patrimônio**: Mudanças climáticas e o impacto das cidades, v.4, n.1, p.9-22. 2011,

CASTELO BRANCO, L. M. B. **Microclimas urbanos no plano piloto de Brasília – o caso da Superquadra 108 Sul**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

CETAT -CENTRE D'ETUDES TECHNIQUES POUR L'AMENAGEMENT DU

TERRITOIRE. **Morphologie Urbaine, Indicateurs Quantitatifs de 59 Formes Urbaines Choisies dans les Villes Suisses**, Georg (ed), CETAT, Geneva. 1986.

CHANDLER, T. J. **Urban Climatology and its Relevance to Urban Design**. Geneva: WMO Technical Note 149, 1976

CHAPMAN, L.; THORNES, J. E. Real-Time Sky-View Factor Calculation and Approximation. **Journal of Atmospheric and Oceanic Technology**, v. 21, n. 5, p. 730-742, 2004.

CHEN, Liang, EDWARD NG Quantitative urban climate mapping based on a geographical database: A simulation approach using Hong Kong as a case study. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation** v.13, p.586–594. 2011

CHENG, L. Y. **Quantificação de variáveis subjetivas no projeto**. São Paulo, s.ed, n.p./ material didático de pós-graduação ‘PCC 5015’ . São Paulo: Escola Politécnica, Universidade de São Paulo , 2001

DACANAL, C.; PEZZUTO, C. C.; LABAKI, L.; MATSUMOTO, E. Avaliação do efeito da ventilação nos espaços urbanos abertos através de simulações e medições experimentais. In: XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Canela-RS, 2010. **Anais...Canela**, 2010.

DEL RIO, V. **Introdução ao Desenho Urbano no Processo de Planejamento**. São Paulo: Pini, 1990.

DIMOUDI, A; NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits. **Energy and Buildings**, v. 35, n.1, p69-76, 2003.

DUARTE, D. Densidade e qualidade ambiental: o inevitável, o desejável e o possível. In: GALICIA,S.; FREIXANET, V. **Hábitat Sustentable**. México , D.F.: UAM Azcapotzalco, 2012. p.85-99.

DUARTE, Denise. O clima urbano e o ambiente construído. In: GONÇALVES, J.C.S; BODE, K. (Org.) **Edifício Ambiental**. São Paulo: Oficina de textos, 2015. p..155-179

DUARTE, Denise. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese (Doutorado em Arquitetura) —Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo 2000.

DUARTE, Denise. SERRA, Geraldo. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental. Correlações e proposta de um indicador. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 3, n. 2,. p. 17-30. 2003.

DUARTE, F. **Planejamento Urbano**. Curitiba: Ed. IBPEX,. 2007.

DUARTE, H. S. Variáveis urbanísticas e microclimas urbanos: modelo empírico e proposta de um indicador. **Fórum Patrimônio: Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável** (UFMG. Online), v. 4, n.1 Belo Horizonte, jan/jun 2010.

ECHENIQUE, M. Modelos: una discusión, In: MARTIN, L. MARCH L.; ECHENIQUE M. **La estructura del espacio urbano**. Barcelona: G. Gili.1975 p.235-248.

EDUSSURIYA, CHAN, A. YE Urban morphology and air quality in dense residential environments in Hong Kong. Part I: District-level analysis. **Atmospheric Environment** v.45 4789–4803. 2011

EDWARDS, B.; HYETT, P. (Coord). **Rough guide to sustainability**. London: RIBA, 2002.

ELETROBRAS- PROCEL PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA. **Guia Técnico PROCEL Edifica: elaboração e atualização de código de obras e edificações**. Rio de Janeiro: PROCEL. 2012.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. **Landscape and urban planning**, 48, p. 31-44. 2000.

ELLEFSEN, R., Mapping and measuring buildings in the urban canopy boundary layer in ten US cities. **Energy and Buildings**, 15-16, p. 1025-1049.1990.

EMMANUEL, M.R. **An urban approach to climate-sensitive design: strategies for the tropics**. New York: Spon Press, 2005.

ERELL; PEARLMUTTER. **Urban microclimate: Designing the Spaces Between Buildings**. London, Earthscan. 2011.

FARR, D. **Urbanismo Sustentável: desenho urbano com a natureza**. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FERREIRA, D. G. **O uso do solo e os padrões de vento: o caso da cidade de Belo Horizonte**. Belo Horizonte, 2009. Dissertação (Mestrado em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável) - Escola de Arquitetura, Universidade Federal de Minas Gerais.

FERREIRA, D. G.; ASSIS, E. S. de A influência da cidade sobre os padrões locais do vento, analisada a partir de simulação dinâmica do clima. **Fórum Patrimônio** : Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG. Online), v. 3, p. 179, 2009.

FREITAS, R. **Entre Mitos e Limites: as possibilidades de adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. Recife: Ed Universitária da UFPE. 2008. 270p.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo: Oficina de textos, 2010.

GEHL, J. **Cities for people**, Island Press, 2010

GIRARDET, H. **Sustainable cities**. Madrid: Editorial Celestial, 2001.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design** . New York: John Wiley & Sons. 1998.

GIVONI, B. Comfort climate analysis and building design guidelines, **Energy and Buildings**, 18(1), p.11-23.1992.

GIVONI, Baruch **Passive and low energy cooling of buildings**. New York : John Wile & Sons, 1994, 263p.

GIVONI, Baruch. Climatic aspects of urban design in tropical climates. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.26B, n.3,. p.397-406. 1992.

GIVONI, Baruch. Impact of planted areas on urban environmental quality: a review. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.25B, n.2, p.289-299. 1991.

GOLANY, G. S. Urban design morphology and thermal performance. **Atmospheric Environment** v.30, .1996. p.455-465

GONÇALVES, J. C. S.; MULFARTH, R. K.; MONTEIRO, L. M; MOURA, N. C.; PRATA, A. R.; MIANNA, A. C. ; CAVALCANTE, R. Adensamento Urbano e Desempenho Ambiental no Centro da Cidade de São Paulo. XI Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, VII Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Búzios-RJ **Anais...**2011.

GONZALEZ, E.; HINZ,E.; OTEIZA,P.; QUIROS,C. **Proyeto clima y arquitectura**. México: Ediciones Gustavo Gili, S.A., 1986.

GOULART, S.V G.; BARBOSA, M.J.; PIETROBON, C.E; BOGO, A.; PITTA, T **Bioclimatologia aplicada ao projeto de edificações visando o conforto térmico**. Relatório Interno nº2/94. Núcleo de Pesquisa em Construção. UFSC. Florianópolis, SC. 1994.

GRIMMOND, C.S.B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere . **Theoretical and Applied Climatology**, n. 84, p.3-22, 2005 .

GRIMMOND, C.S.B., OKE, T.R., 1999. Aerodynamic properties of urban areas derived from analysis of surface form. **Journal of Applied Meteorology**. v. 38,. p. 1262–1292. 1999.

GUSSON, C dos S. **Efeito da densidade construída sobre o microclima urbano: construção de diferentes cenários possíveis e seus efeitos no microclima para a cidade de São Paulo –SP**. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 2014. 154p.

HAIR; BLACK; BABIN, ANDERSON; TATHAM. **Análise multivariada de dados**. 6º Edição Porto Alegre: Bookman, 2009. 699p.

HARRIS, A.L.N.C **Metodologias baseadas na teoria dos sistemas nebulosos (*Fuzzy Systems Theory*) para o tratamento das informações subjetivas do projeto arquitetônico**. São Paulo,. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1999. 160p

HARRIS, A.L.N.C; CHENG, L.Y.; LABAKI, L.C. Remodelagem dos Grupos Climáticos dos “Quadros de Mahoney” Utilizando a Teoria dos Sistemas Nebulosos. In: NUTAU’ 2000 – TECNOLOGIA & DESENVOLVIMENTO. São Paulo, **Anais eletrônicos**. 2000.

HARVEY, David **O Novo imperialismo**. São Paulo: Loyola. 2003.

HIGUERAS, E. **Urbanismo bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006. 241p.

HOWARD, L. **The climate of London**. 1st ed. London: W. Phillips. 1818.

IEA- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Key World Energy Statistics 2013. Paris. 2012. Disponível em <http://www.iea.org>. Acesso em julho/2013.

IRGER, Matthias **The effect of urban form on urban microclimate**. PhD Thesis. Australian Graduate School Of Urbanism, Faculty Of Built Environment. The University Of New South Wales. 2014. 329p

JACOBS, Jane. **Morte e vida de grandes cidades**. São Paulo: Martins Fontes. 2000.

KANDA, M. Progress in the scale modeling of urban climate: Review. **Theoretical Applied Climatology**, n 84, p.23–33. 2006.

KATZCHNER, L. (1997) Urban climate studies as tools for urban planning and architecture, in: Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 4º, Salvador. **Anais...** Salvador: FAU/UFBA, ANTAC, p. 49-58. 1997.

KATZSCHNER, L. Urban climate in dense cities. In: NG, E. (Ed.) **Designing high-density cities for social and environmental sustainability**. London: Earthscan, 2010. p.71-78

KATZSCHNER, Lutz; MAYER, Helmut; DREY, Christl; BRUSE, Michael.(2007) Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes. In: PLEA 2007 – The 24th Conference on *Passive and Low Energy Architecture*, **Proceedings...** Singapore, 103-108 p. 2007.

KOENIGSBERGER, O. H.; INGERSOLL, T.G.; MAYHEW, A.; SZOKOLAY, S.V. **Viviendas y edificios en zonas calidas y tropicales**. ed. Paraninfo. Spain. 1977.

LABEEE. Laboratório de Eficiência Energética em Edificações ANALYSIS Bio. Versão 2.2, UFSC – ECV – NPC – LABEEE, 2010. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br>

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia científica**. 2a ed., São Paulo: Atlas, 1991.

LAMAS, José M. Ressano Garcia. **Morfologia urbana e desenho da cidade**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1992.

LANDSBERG, H.E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981. 276p.

LANG, Jon. **Urban design: a typology of procedures and products**. Amsterdam: Elsevier, 2005.

LARSON,R; FABER,B. **Estatística aplicada**. Tradução Luciene Ferreira Pauleti Vianna.4ª ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.637f.

LEMONSU, A; GRIMMOND, C.S.B; MASSON, V. Modelling the surface energy balance of an old Mediterranean city core. **Journal of Applied Meteorology**, n.43, p.312–327. 2004.

LIMA, R.G de; BARBIRATO, G.M; BITTENCOURT, L.S; SOUZA, C.A de. A influência de diferentes fatores morfológicos urbanos no ambiente térmico da cidade. IN: 7º Congresso Luso Brasileiro para o Planejamento Urbano, Regional, Integrado e Sustentável **Anais PLURIS 2016**. Maceió: 2016.

LOPES, A.M.S **Modificação no clima de Lisboa como consequência do crescimento urbano: vento, ilha de calor de superfície e balanço energético**.. Tese (Doutorado em Geografia Física) Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2003.

LYNCH, K. **The image of the city**. Cambridge: MIT Press. 1960.

MACDONALD, R.W; GRIFFITHS, R.F.; HAL, D.J; An improved method for the estimation of surface roughness of obstacle arrays. **Atmospheric Environment**, v.32, n.11,. p.1857-1864,1994.

MACEDO, Silvio Soares. **Paisagem e habitação verticalizada**: os espaços livres como elementos de desenho urbano. Tese (Doutorado em Arquitetura e Urbanismo, Estruturas Ambientais Urbanas) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1988. 285f.

MACEIÓ. Lei Municipal nº 5.593, de 8 de fevereiro de 2007. Institui o Código de Urbanismo e Edificações do Município de Maceió. Disponível em: <<http://www.maceio.al.gov.br>>. Acesso em: abr. 2013.

MAITELLI, Gilda (1994). **Abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental** : o exemplo de Cuiabá — MT. 1994. Tese (Doutorado em Geografia) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas — Universidade de São Paulo, São Paulo.

MAKRIDAKIS, S. et al. **Forecasting: methods and applications**. 2 ed., New York: JohnWiley.1983.

MALEKI; MAHDAVI. Evaluation of urban heat islands mitigation strategies using 3dimentional urban microclimate model ENVI-met. **Asian Journal of Civil Engineering (BHRC)** VOL. 17, p. 357-371, 2016,.

MARQUES, R. S.; ARAÚJO, Virgínia Maria Dantas de. A influência das prescrições urbanísticas na ventilação urbana: o caso da orla da Praia do Meio em Natal/RN. In: X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído, 2009, Natal/RN. **Anais**. Natal/RN,. v. 1. p. 258-266. 2009

MARTIN; MARCH.. **Urban space and structures**, Cambridge University Press, Cambridge 1972.

MARTINS, T.A.; BONHOMME, M.; ADOLPHE,L. Análise do impacto da morfologia urbana na demanda estimada de energia das edificações: um estudo de caso na cidade de Maceió. **Ambiente Construído**, Porto Alegre. V.13, N.4, p.213-233. 2013.

MASCARÓ, Juan Luis ; MASCARÓ, L. E. A. R. ; AGUIAR, C. Cidade, energia, arborização e impacto ambiental. **Ciência & Ambiente**, Santa Maria, RS, v. 22, p. 59-72, 2002.

MASCARÓ, Juan Luis ; MASCARÓ, L. E. A. R.; KUHN, E. ; MARTINS, L. Forma urbana: legislación y medio ambiente resultante. *Anales Linta* , **La Plata, Argentina**, v. 1, p. 45-49, 2001.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. L. **Vegetação urbana**. Porto Alegre: Masquatro, 3ª ed, 2001, 212p.

MASMOUDI; MAZOUZ (2004) Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions. **Energy and Buildings**, Volume 36, Issue 7, p. 710 – 719, 2004,.

MENDONÇA, F.; DANNI-OLIVEIRA. **Climatologia: noções básicas e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

MENDONÇA, Francisco. Clima e Planejamento Urbano em Londrina: Proposição metodológica e de intervenção urbana a partir do estudo do campo termo higrométrico. In: MONTEIRO & MENDONÇA (Org) **Clima Urbano** São Paulo: Contexto. 2003. 192p.

MIDDEL, Ariane ; HÄB, Kathrin; BRAZEL, Anthony J.; MARTIN, Chris A.; GUHATHAKURTA, Subhrajit. Impact of urban form and design on mid-afternoon microclimate in Phoenix Local Climate Zones. **Landscape and Urban Planning**. v.122 p.16– 28. 2014.

MILLS, G. An urban canopy-layer climate model. **Theoretical and Applied Climatology**, 57, p.229-244.1997

MILLS, G. The Meteorologically Utopian City Revisited. **Proceedings of Fifth International Conference on Urban Climate**, Lodz Polónia, p. 227-230. 2003.

MILLS, G. Urban Climatology and urban design. In: 15° International Congress of Biometeorology and International Conference on Urban Climatology, Macquarke University, Sydney. 1999

MINELLA, F. C. O.; ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise do efeito diurno do fator de visão do céu no microclima e nos níveis de conforto térmico em ruas de pedestres em Curitiba **Ambiente Construído (Online)** vol.11 no.1 Porto Alegre , 2011

MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. **Nova delimitação do semi-árido brasileiro**. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. 2005. Disponível em: <http://www.mi.gov.br>

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo, 181p. Tese (Livre Docência em Geografia) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. 1976.

MONTEIRO, C.A de F.; MENDONÇA, F. (Org.) **Clima urbano**. São Paulo: Contexto. 2003.

MOUDON, A. V. Urban morphology as an emerging interdisciplinary field. **Urban Morphology**, v. 1, n. 1, p. 3-10, 1997

MYRUP, L.O. A numerical model of the urban heat island. **Journal of Applied Meteorology**, V.8, p.908-918. 1969.

NAKATA, C. M. **Comportamento do pedestre e ambiente térmico urbano**. Dissertação (Mestrado em Design). Universidade Estadual Paulista. Bauru, 2010.

NETO, E.M.L.; RESENDE, W.X.; SOUZA, R.M.e; Áreas verdes públicas do centro de Aracaju-SE: Análise fitogeográfica. **Revista da Fapese**. V.3. p.5-16. 2007.

NETTO, Vinicius de Moraes; SABOYA, Renato T. de. A urgência do planejamento. A revisão dos instrumentos normativos de ocupação urbana. **Arquitextos**, São Paulo, 11.125, **Vitruvius**, oct 2010 <<http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/arquitextos/10.125/3624>>.

NEWMAN, P.W.G Sustainability and cities: extending the metabolism model. **Landscape and Urban Planning**. 44 (4): p.219-226. 1999.

NG, E. (Coord.) **Urban climate map and standards for Wind environment: feasibility study**. Hong Kong: The Chinese University of Hong Kong, School of Architecture, 2011.

NG, E. (Ed.) **Designing high-density cities**. London: Earthscan, 2010.

NOGUEIRA, Aline M.P. **Configuração urbana e microclimas: estudo em loteamento horizontal de Maceió – AL**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió. 2011. 184f.

NUNES, Ana Maria Laurindo André; BARBOSA, Ricardo Victor Rodrigues. **Análise do padrão de ventilação natural na cidade de Arapiraca-AL**. Relatório Final PIBIC CNPq UFAL FAPEAL , 2015.

OKE, SPRONKEN-SMITH; JÁUREGUI ; GRIMMOND. The energy balance of central Mexico City during the dry season. **Atmospheric Environment**, Vol.33(24), pp.3919-3930. 1999.

OKE, T. R. City size and the urban heat island. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.7, p.769-77.1973

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. 2.ed. London: Routledge, 1987.

OKE, T. R. Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, v. 1, n. 1/4, p. 237-254, 1981

OKE, T. R. Street design and urban canopy layer climate. **Energy and Building**. Amsterdam, Elsevier Science, 11, p.103-113, 1988.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, p. 1-24. 1982.

OKE, T.R.; Zeuner, G.; Jaureghi, E. The surface energy balance in Mexico City, **Atmospheric Environment**, vol. 26B, n. 4, p. 433-444.1992.

OKE, Timothy R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites**. World Meteorological Organization, Instruments and Observing Methods, Report n° 81, n° 1250. Canadá: WMO/TD, 2006.

OLGYAY, V., OLGAY, A. **Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism**, New Jersey: Princeton University Press, 1963. 190p.

OLIVEIRA, Paulo Marcos Paiva de. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano**. Dissertação de Mestrado, Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília. Brasília. 1988

PASSOS, I. C. da SILVA. **Clima e arquitetura habitacional em Alagoas: estratégias bioclimáticas para Maceió, Palmeira dos índios e Pão de Açúcar**: dissertação de mestrado. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – FAU UFAL. 2009.

PEARLMUTTER, et al. The relationship between bioclimatic thermal stress and subjective thermal sensation in pedestrian spaces. **International Journal of Biometeorology**: 1-17.2014

PENMAN, H.L. The physical bases of irrigation control. In: Hort. Congr., 2, London: Royal Horticultural Society,. p.913-924. 1953.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA Secretaria Municipal de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente – SEDUMA Coordenação para Elaboração da Agenda 21. **Relatório das características ambientais do município de Arapiraca-AL**. Núcleo de Pesquisas em Hidrologia e Geomorfologia – HIDROGEO. Departamento de Geografia – Campus I/ Arapiraca Universidade Estadual de Alagoas – UNEAL. Arapiraca: 2006.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA. **Diagnóstico técnico comunitário para elaboração do plano diretor participativo**. Capítulo 2- Uso do Solo. 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ARAPIRACA. **Plano diretor participativo**. Lei nº2424 de janeiro de 2006.

RATTI , C.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Energy Consumption and urban texture. **Energy and Buildings**, v.37, n7: 762-776. 2005

ROSSETI, CALLEJAS, DURANTE, NOGUEIRA. Correlação entre o microclima urbano e a configuração do espaço edificado, um estudo na cidade de Cuiabá, MT, Brasil. In: Conferência Internacional **REGSA 2014**: Eneias Renováveis, Eficiência Energética e Desenvolvimento Sustentável, At Florianópolis-SC/ Brasil, Volume: 1, 2014.

ROSSETI, K.A.C. **Efeitos do uso de telhados vegetados em ilhas de calor urbanas com simulação pelo software ENVI-Met...** Tese (Doutorado em Física Ambiental), Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2013. 273f

ROTH, M., CHOW, W.T.L. A historical review and assessment of urban heat island research in Singapore. **Singapore Journal of Tropical Geography**, 33, pp.381-397.2012.

SACHS, Ignacy **Estratégias de transição para o século XXI. Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Studio Nobel/Fundap, São Paulo. 1993.

SAMPAIO, Antonio Heliodoro Lima. **Correlações entre o uso do solo e ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo.1981.

SANTAMOURIS, Mat (Edt.) **Environmental Design of Urban Buildings: an integrated approach**. Earthscan London, Sterling, VA. 322, 2006.

SANTAMOURIS; PAPANIKOLAOU; LIVADA; KORONAKIS; GEORGAKIS; ARGIRIOU; ASSIMAKOPOULOS. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. **Solar Energy**, Volume 70, Issue 3, p. 201-216. 2001.

SANTOS, M. **A urbanização brasileira**. São Paulo: EDUSP.2005.

SCHURCH, Thomas W. Reconsidering Urban Design: thoughts about its definition and status as a field or profession. **Journal of Urban Design**, v. 4, n. 1, p. 5 -28, 1999.

SENA, C. B.; CHENG, L. Y. **Análise comparativa entre o método de Mahoney tradicional e o método de Mahoney nebuloso para a caracterização do clima no projeto arquitetônico**. Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia da Construção Civil. São Paulo 2005. 22p.

SHASHUA-BAR, M .E.; HOFFMAN, L. Vegetation as a climatic component in the design of na urban street. An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees..**Energy and Buildings**, n. 31, p.221-235. 2000.

SHIRVANI, H. **The urban design process**. New York. Van Nostrand Heinhold. 1985.

SILVA, C. F. **Caminhos bioclimáticos: desempenho ambiental de vias públicas na cidade de Teresina – PI**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade de Brasília. Brasília, 2009.

SILVA, Geovany Jessé Alexandre; BUSTOS ROMERO, Marta Adriana. O urbanismo sustentável no Brasil. A revisão de conceitos urbanos para o século XXI (parte 01 e 02). **Arquitextos**, São Paulo, 11.128 , 2011

SILVEIRA, M. L. & SANTOS, M **Brasil: território e sociedade no início do século XXI**. 8º ed. Rio de Janeiro: Record, 2005.

SIMÕES, L. O. C., MAROTTA, H., PIRES, B.B.M., UMBELINO, L. F., COSTA, A.J.S.T. Índices de Arborização em espaço urbano: um estudo de caso no bairro de Vila Isabel, Rio de Janeiro, RJ. **Anais do IX ENAU**. Brasília, 2001..

SIMON, H **Modeling urban microclimate development, implementation and evaluation of new and improved calculation methods for the urban microclimate model ENVI-met**. PhD Thesis. Johannes Gutenberg-Universitat Mainz, 2016.

SOUZA, L. C. L. de **Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre**. São Carlos, SP, 125p. Tese (Doutorado). Departamento de Hidráulica e Saneamento, EESC, Universidade de São Paulo. 1996.

SKETCHUP. Versão 16.0.19912 64-bit: Google Sketchup. 2016

SOUZA, L. C. L. Relações entre ilhas de calor, geometria urbana e consumo de energia elétrica. **Fórum Patrimônio** : Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (UFMG. Online), v. 3, artigo 9, 2010.

SOUZA, L. C.; TENENTE, C.M; GIUNTA, M.B.; NAKATA, C.M. Fator de visão do céu e intensidade de ilhas de calor na escala do pedestre **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 155-167, 2010

SOUZA, M. L. **Mudar a cidade: uma introdução ao planejamento e à gestão urbanos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2004.

SPOSITO, Maria E. B. (org.) **Cidades médias: espaços em transição**. São Paulo: Expressão Popular. 2007. 632p.

STEEMERS, K. (2003) Energy and the city: density, buildings and transport. **Energy and Buildings** 35(1):3-14. 2003.

STEEMERS, K. Energy and the city density, building and transport. **Energy and Buildings**. 35. 2003

STONE, R. J. Improved statistical procedure for the evaluation of solar radiation estimation models. **Solar Energy**, v. 51, n. 4, p. 289-291, 1993.

TAESLER, R. Urban climatological methods and data. In: TECHNICAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATIONS WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1984, Ciudad de Mexico. **Proceedings...** Geneva: World Meteorological Organization, WMO n.652, p.199-236. 1986.

TARALLI, C. H. **Ambiente construído e legislação: o visível e o imprevisível..** Tese (Doutorado) Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 1993

THORNTHWAITE, C.W. Atlas of climatic types in the United States. Mixed Publication, 1941

TORRES, S. C. **Arranjos construtivos urbanos: um estudo sobre a influência da configuração de conjuntos habitacionais verticais na qualidade térmica de edificações em Maceió-AL..** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, UFAL, Maceió. 2006. 123f

TSO, C.P. A survey of urban heat island studies in two tropical cities, **Atmospheric Environment**, vol.30, n. 3, p. 507-519. 1996.

UNITED NATIONS. Department of Economic and Social Affairs. **Climate and house design: Design of low-cost housing and community facilities.** New York.971. 1v. 1971.

UNITED NATIONS Population Division. **World Urbanisation Prospects. The 2014 revision.** UN, Department of Economic and Social Affairs. New York, 2014.

VANESSA, Lim Huimin. **Measuring and modelling spatial variation of temperature and thermal comfort in a low-density neighbourhood in Singapore.** Thesis - degree of master of Social Sciences. National University of Singapore. 2014. 206p.

VIEIRA, Alexandre B. **Mapeamento da exclusão social em cidades médias: interfaces da Geografia Econômica com a Geografia Política.** Tese (Doutorado em Geografia). UNESP – Presidente Prudente: 2009. 194f.

VOOGT, J.A.; GRIMMOND, C. S. B. Modeling surface sensible heat flux using surface radiative temperatures in a simple urban area. **Journal of Applied Meteorology**, n 39, p. 1679–1699. 2000.

WANDELLI, E. V., MARQUES FILHO, A. O. Medidas de radiação solar e índice foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**, v. 29, n. 1, p. 57-78, 1999.

WANG, Yupeng; BERARDI, Umberto ; AKBARI, Hashem. Comparing the effects of urban heat island mitigation strategies for Toronto, Canada. **Energy and Buildings**. 2015.

WANG; AKBARI. The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. **Sustainable Cities and Society**, 11/2016, Vol.27, pp.122-128

WONNACOTT, R.J.; WONNACOTT,T.H. **Fundamentos de estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A. 1985.

WORLD ENERGY RESOURCES (WEC). **Survey of Energy Resource**. 2014

XAVIER, DORNELLAS Caracterização ambiental do município de Arapiraca, Região Agreste de Alagoas **Revista Ambientale – UNEAL**. Ano 3, Vol. 1, 2012.

YANG, X; ZHAO, L.; BRUSE, M; MENG, Q. An integrated simulation method for building energy performance assessment in urban environments. **Energy and Buildings** 54 p.243–251, 2012.

YANG, Xinyan; YUGUO LI . The impact of building density and building height heterogeneity on average urban albedo and street surface temperature. **Building and Environment** v.90, p.146-156. 2015

YOUNSI; KHARRAT. Outdoor thermal comfort: Impact of the geometry of an urban street canyon in a Mediterranean subtropical climate – Case study Tunis, Tunisia. **Procedia - Social and Behavioral Sciences** N.216, p. 689 – 700, 2016.

YU, C; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and Buildings**, v. 38, p. 105-120, 2006.

YUAN, C.; NG. E. Building porosity for better urban ventilation in high-density cities: a computational parametric study. **Building and Environment**, v.50, p. 176-189. 2012.

APENDICE A- Dados referentes ao monitoramento microclimático dos tipos espaciais selecionados

Figura A1: Comportamento da radiação solar nos dias monitorados do período quente e úmido (dados da estação automática do INMET de 14/04/2016 a 19/04/2016). Em vermelho: dias pré-selecionados para análise de desempenho higo-térmico.

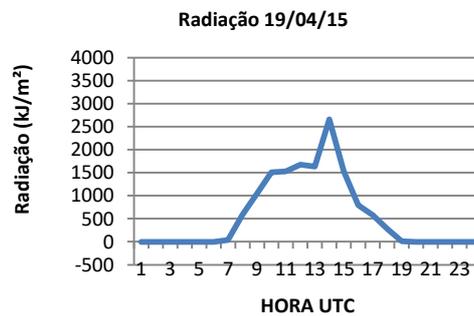
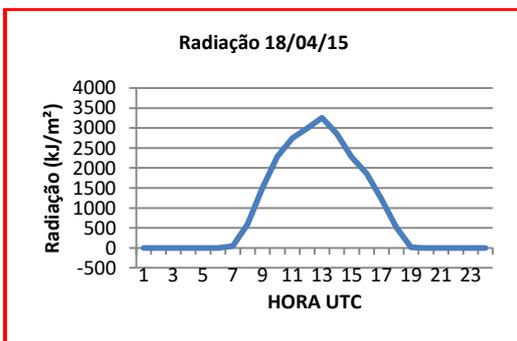
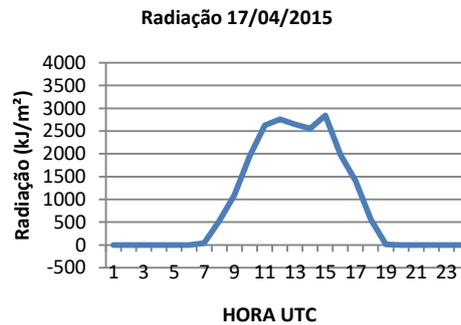
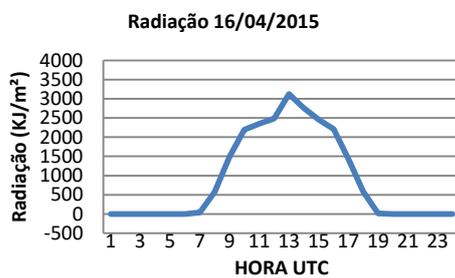
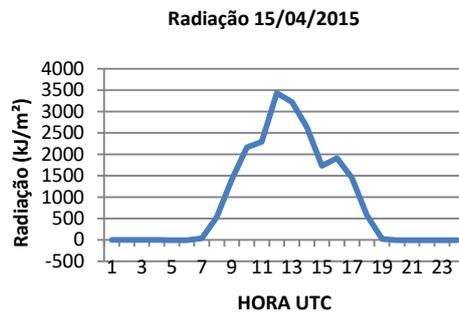
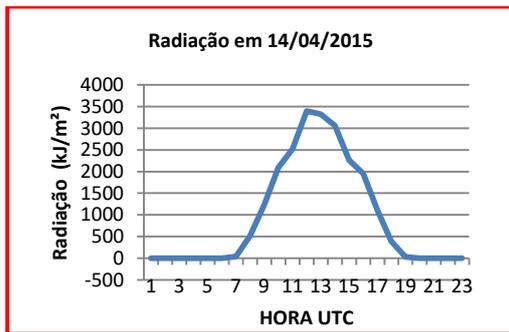


Figura A2: Comportamento da radiação solar nos dias monitorados do período quente e úmido (dados da estação automática do INMET de 20/04/2016 a 24/04/2016). Em vermelho: dias pré-selecionados para análise de desempenho higró-térmico.

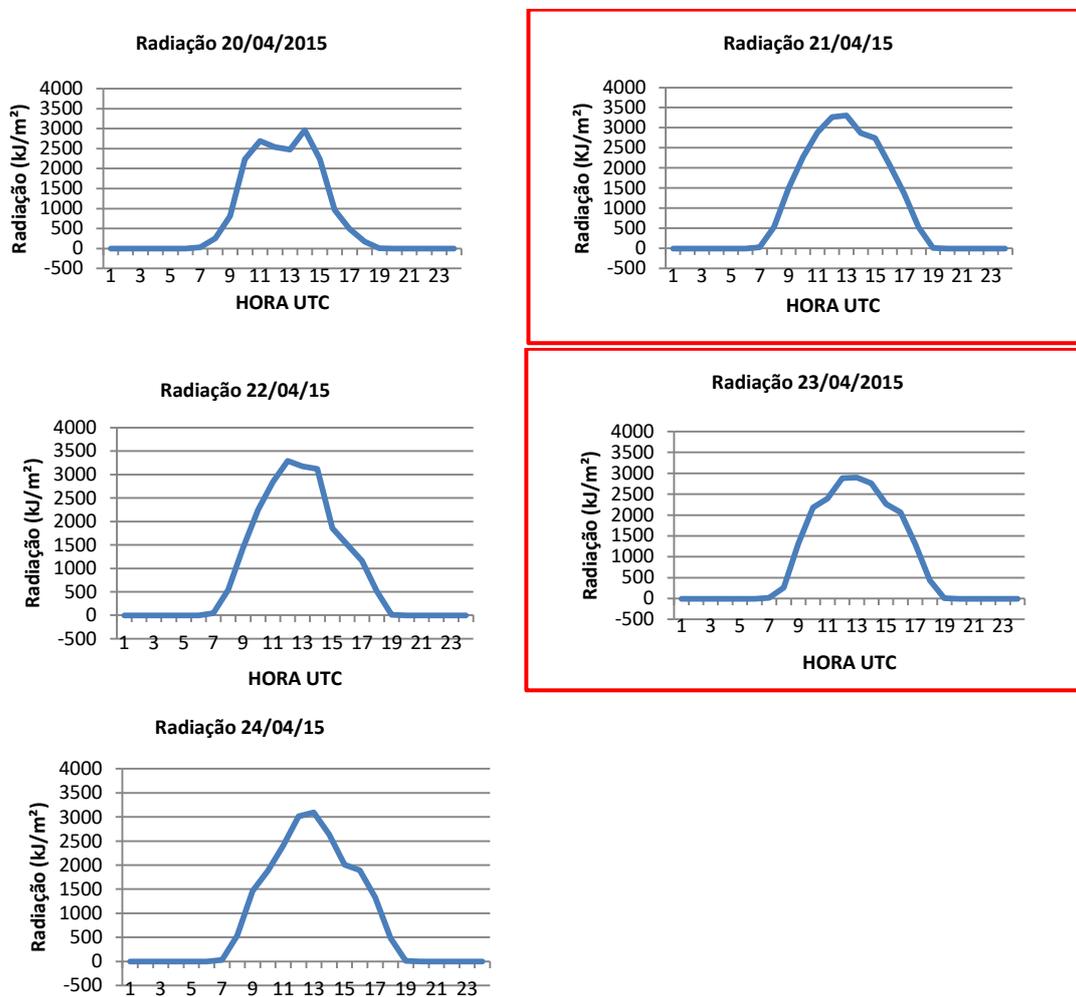


Figura A3: Comportamento da radiação solar nos dias monitorados do período quente e seco (dados da estação automática do INMET de 15/12/2015 a 23/12/2015).

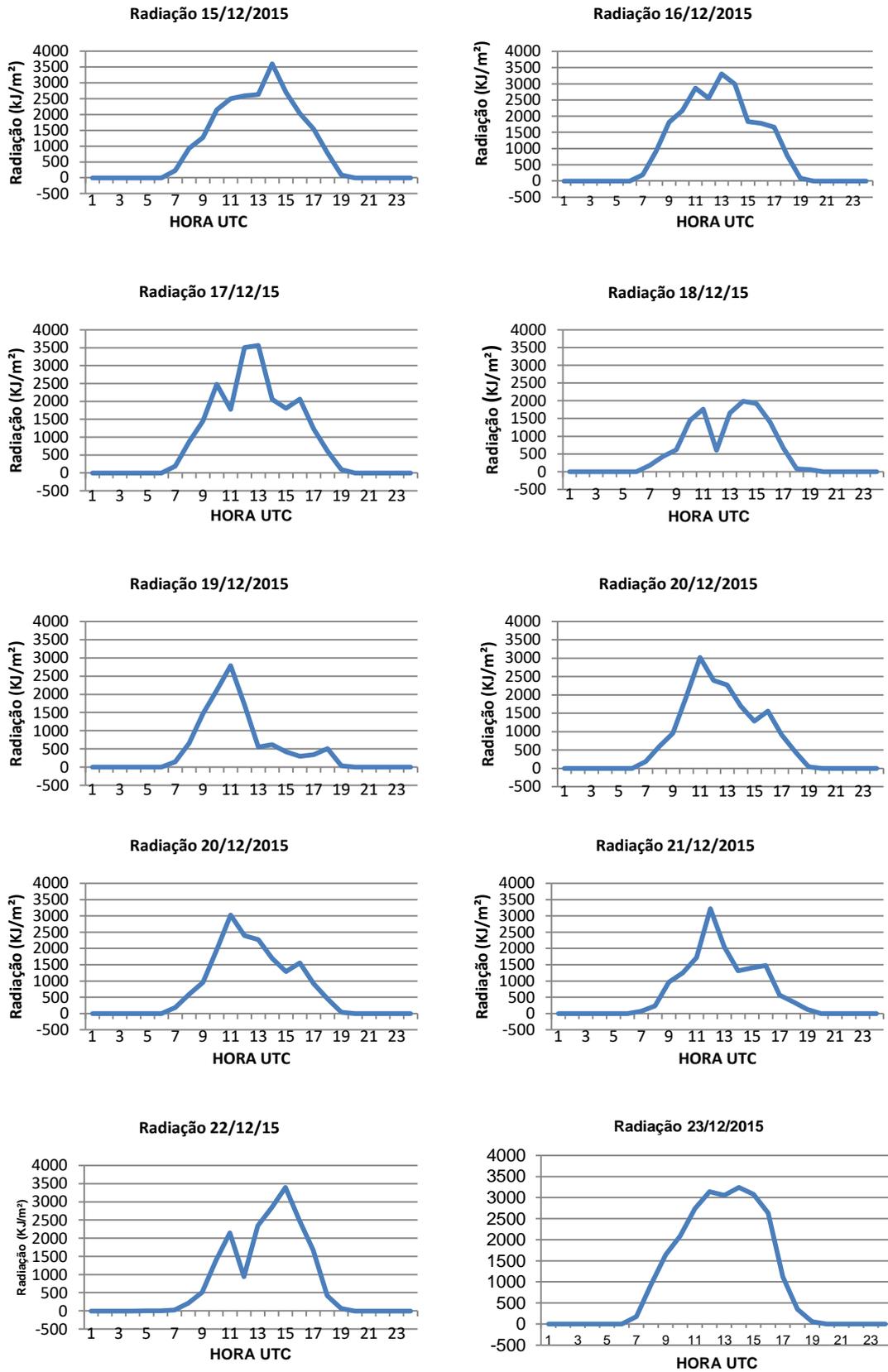


Figura A4: Comportamento da radiação solar nos dias monitorados do período quente e seco (dados da estação automática do INMET de 24/12/2015 a 02/01/2016). Em vermelho: dias pré-selecionados para análise de desempenho higro-térmico.

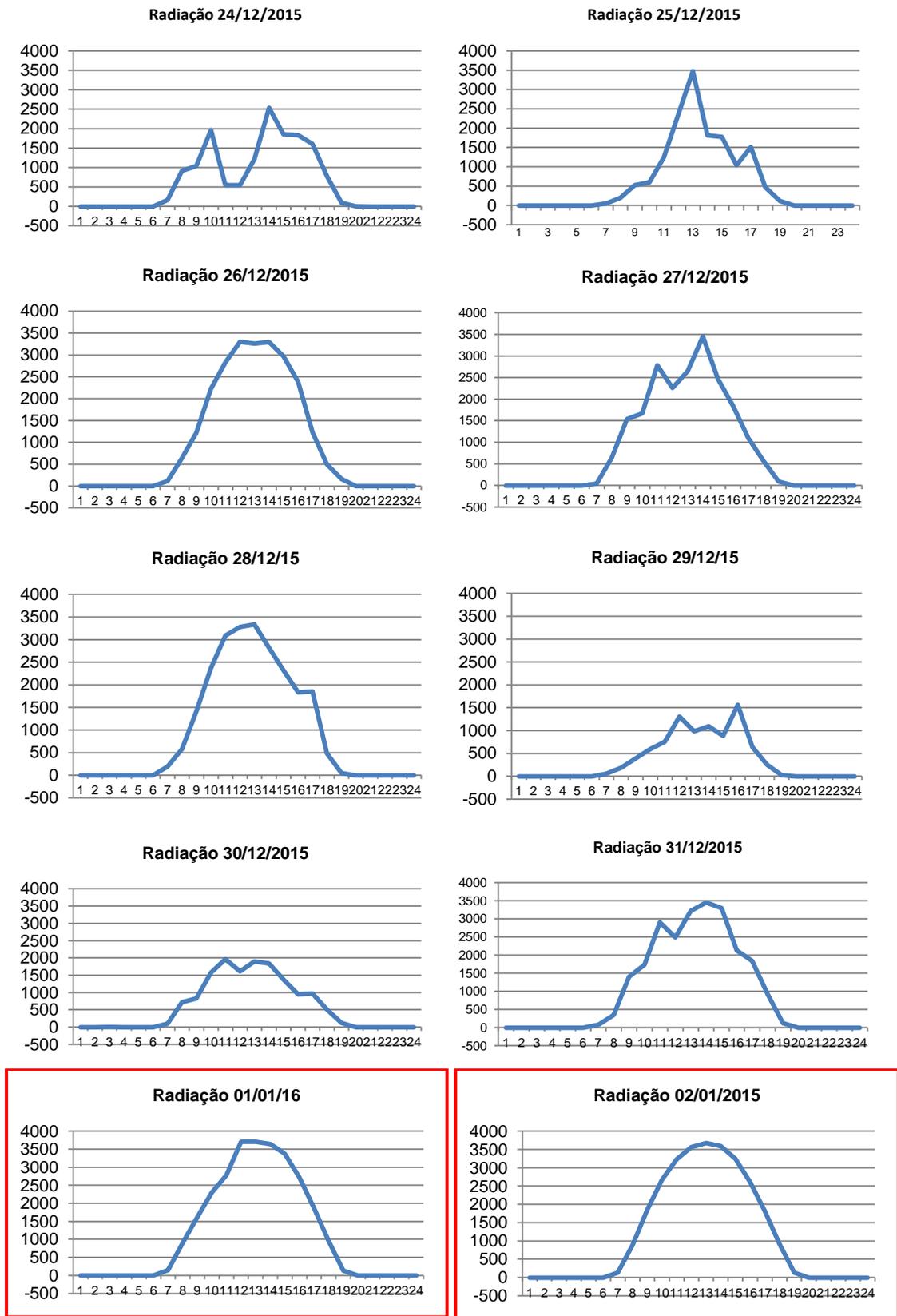


Figura A5: Comportamento da radiação solar nos dias monitorados do período quente e seco (dados da estação automática do INMET de 03/01/2016 a 10/01/2016). Em vermelho: dias pré-selecionados para análise de desempenho higro-térmico.

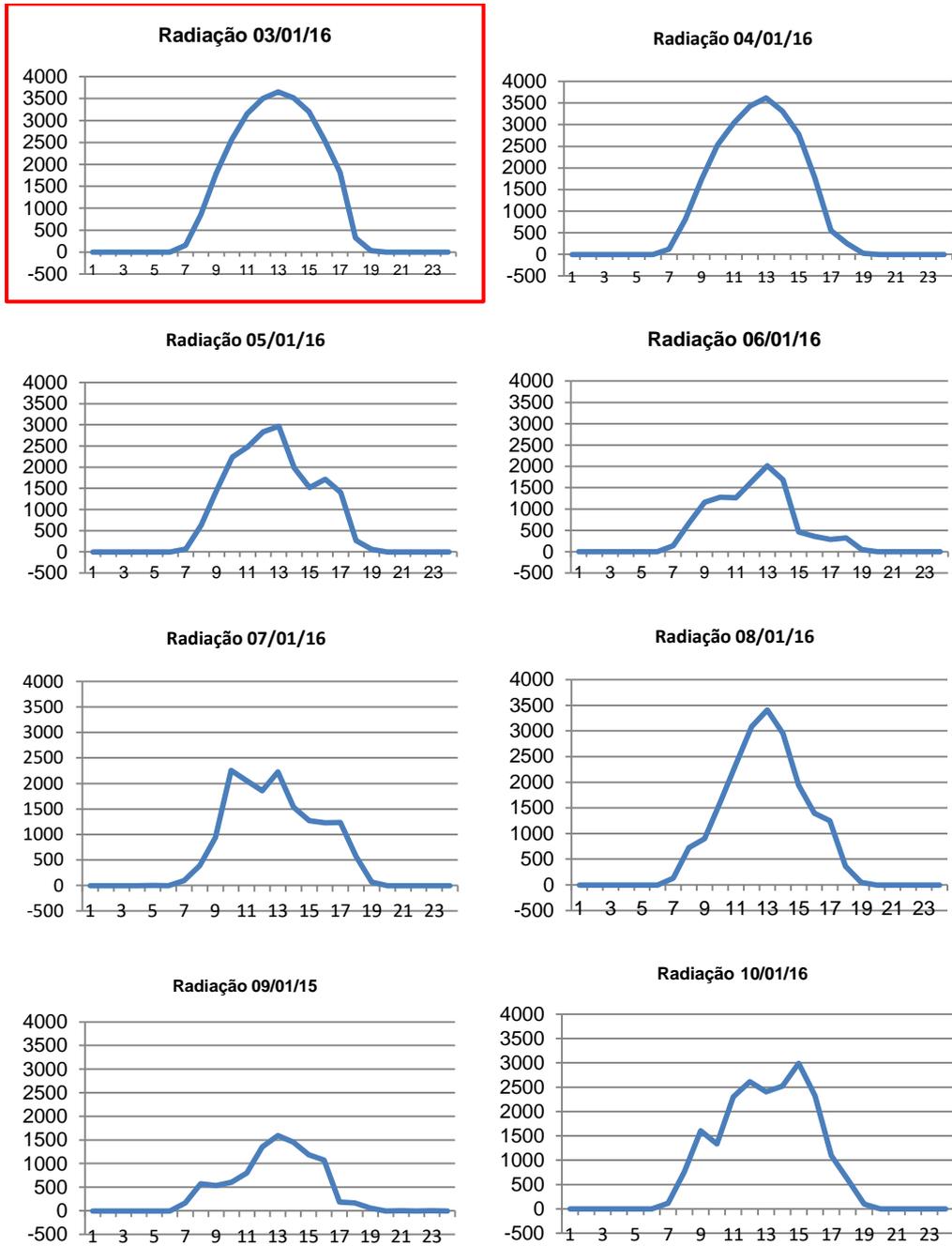


Tabela A1: Dados horários de temperatura do ar coletados nos recintos selecionados em 14/04/2015 (período quente e úmido).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 14/04/2015				
DATA HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
01h	28,394	28,593	28,543	24,1
02h	28,295	28,493	28,468	23,8
03h	28,122	28,369	28,345	23,8
04h	27,899	28,245	28,196	23,7
05h	27,801	28,097	28,072	23,5
06h	27,727	27,899	27,899	23,6
07h	27,702	27,727	27,801	24,4
08h	27,628	26,744	27,038	25,5
09h	31,204	29,215	29,991	27,7
10h	33,157	30,545	32,021	29,3
11h	33,861	29,941	32,742	30,9
12h	31,663	30,748	33,079	32,2
13h	31,791	31,459	34,019	32,7
14h	31,996	31,765	33,835	32,4
15h	31,382	31,179	33,209	31,7
16h	29,941	29,79	30,874	29,9
17h	28,692	28,345	29,439	28,2
18h	26,891	26,769	27,456	26,6
19h	25,914	25,744	26,378	25,8
20h	25,477	25,283	25,89	25,5
21h	25,162	24,944	25,623	25,2
22h	24,823	24,677	25,234	24,9
23h	24,677	24,363	25,113	24,6
Máxima	33,861	31,765	34,019	32,7
Mínima	24,677	24,363	25,113	23,5
Amplitude	9,184	7,402	8,906	9,2
TEMP MÉDIA	28,70	28,21	29,10	26,96

Figura A6: Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia 14/04/2015

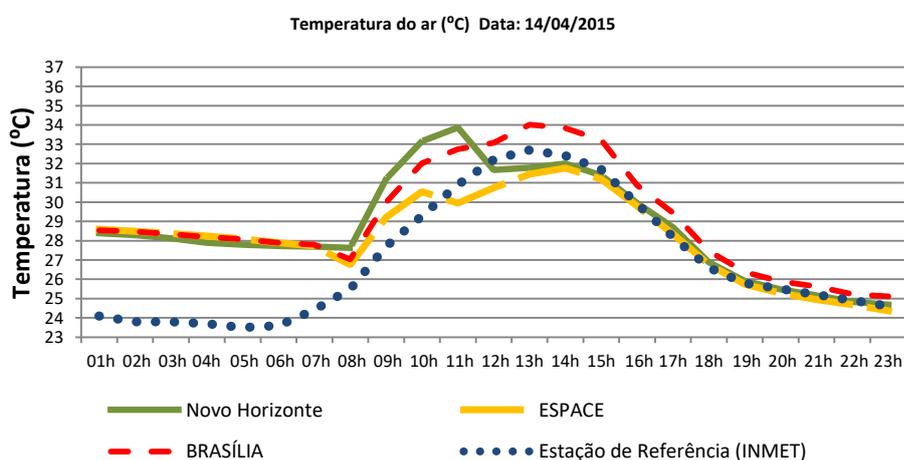


Tabela A2: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 14/04/2015 (período quente e úmido).

Umidade Relativa do ar (%) Dados coletados em 14/04/2015				
DATA HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
01h	73,513	73,044	73,392	94
02h	73,732	73,264	73,557	95
03h	74,203	73,478	73,771	95
04h	74,663	73,633	74,009	95
05h	74,673	73,723	74,045	96
06h	60,88	60,97	60,504	96
07h	71,503	71,837	71,761	96
08h	46,04	47,743	52,616	94
09h	31,843	35,024	33,303	77
10h	39,956	57,934	43,701	63
11h	38,108	54,548	48,331	55
12h	47,084	51,324	43,954	44
13h	46,871	47,452	41,792	44
14h	47,617	47,882	41,939	43
15h	50,826	52,477	46,021	41
16h	59,04	59,268	56,018	49
17h	65,997	67,339	63,014	58
18h	75,321	75,796	73,422	66
19h	80,872	81,666	79,299	75
20h	84,928	85,701	83,436	82
21h	87,184	87,997	85,525	85
22h	88,939	89,484	87,452	88
23h	90,09	91,249	88,675	90
Máxima	90,09	91,249	88,675	91
Mínima	31,843	35,024	33,303	41
Amplitude	58,247	56,225	55,372	50
Umidade Média	64,52	66,64	63,89	74,83

Figura A7: Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no dia 14/04/2015

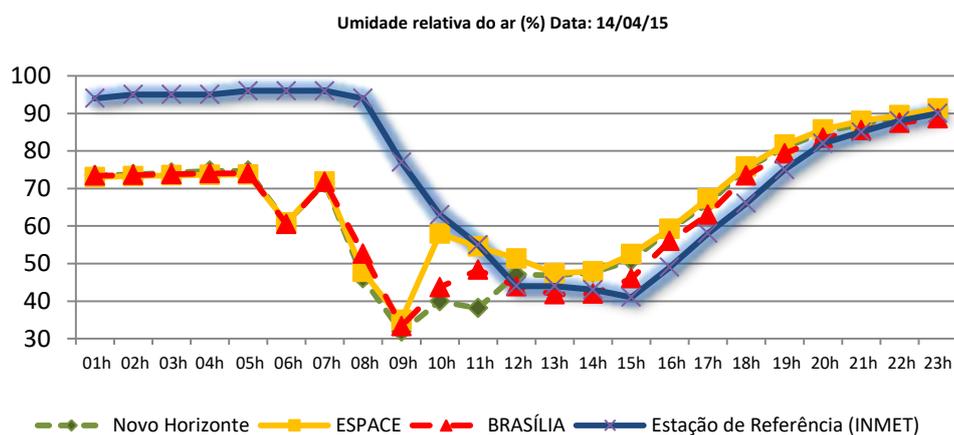


Tabela A3: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 18/04/2015 (período quente e úmido).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 18/04/2015				
HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
00h	23,376	22,992	23,881	23,2
01h	23,04	22,729	23,617	23
02h	22,8	22,657	23,328	22,7
03h	22,705	22,537	23,304	22,3
04h	22,513	22,154	22,968	22,2
05h	22,321	22,011	22,729	21,8
06h	22,513	22,274	23,208	22,4
07h	24,098	24,363	25,525	24,3
08h	25,55	26,304	27,407	26,5
09h	27,456	28,122	29,115	28,4
10h	28,394	29,59	30,672	30
11h	29,59	29,916	32,253	31,3
12h	30,672	30,824	33,027	31,9
13h	31,663	31,816	33,417	32,5
14h	31,765	31,484	33,678	32,2
15h	31,663	31,077	33,495	31,6
16h	31,408	30,672	31,97	30,8
17h	29,165	28,642	29,54	28,6
18h	27,431	27,063	27,751	26,8
19h	26,28	26,036	26,744	25,9
20h	25,501	25,283	25,963	25,3
21h	25,089	24,774	25,404	24,7
22h	24,847	24,46	25,162	24,4
23h	24,484	24,122	24,75	23,7
Temperatura Média	26,43	26,47	27,45	26,52
Máxima	31,765	31,816	33,678	32,5
Mínima	22,321	22,011	22,729	21,8
Amplitude	9,444	9,805	10,949	10,7

Figura A8: Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia 18/04/2015

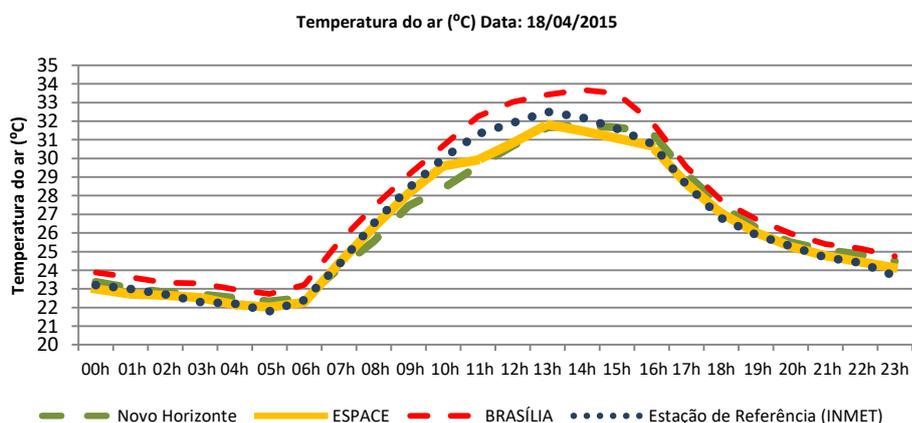


Tabela A4: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 18/04/2015 (período quente e úmido).

Umidade Relativa do Ar (%) Dados coletados em 18/04/2015				
DATA HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
00h	90,763	92,517	88,578	90
01h	91,878	93,261	89,452	91
02h	92,55	93,162	90,178	92
03h	92,823	93,482	90,199	93
04h	93,583	94,777	91,508	93
05h	94,232	95,38	92,235	94
06h	93,637	94,487	90,067	94
07h	85,991	85,66	79,006	82
08h	72,939	71,422	66,507	67
09h	63,183	61,594	58,537	56
10h	60,022	56,782	52,473	51
11h	55,737	56,101	48,532	47
12h	50,506	51,302	44,413	45
13h	48,066	47,889	43,028	43
14h	46,999	48,076	43,091	44
15h	48,653	50,689	44,002	48
16h	51,412	53,66	50,157	54
17h	62,319	64,363	61,479	63
18h	70,466	72,04	69,472	70
19h	76,547	77,605	74,821	78
20h	82,725	83,812	80,911	84
21h	85,797	87,234	84,799	87
22h	86,386	88,05	85,814	89
23h	87,20	88,88	86,70	91,00
Umidade Média	74,35	75,09	71,08	72,75
Máxima	94,232	95,38	92,235	94
Mínima	46,999	47,889	43,028	43
Amplitude	47,233	47,491	49,207	51

Figura A9: Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no dia 18/04/2015

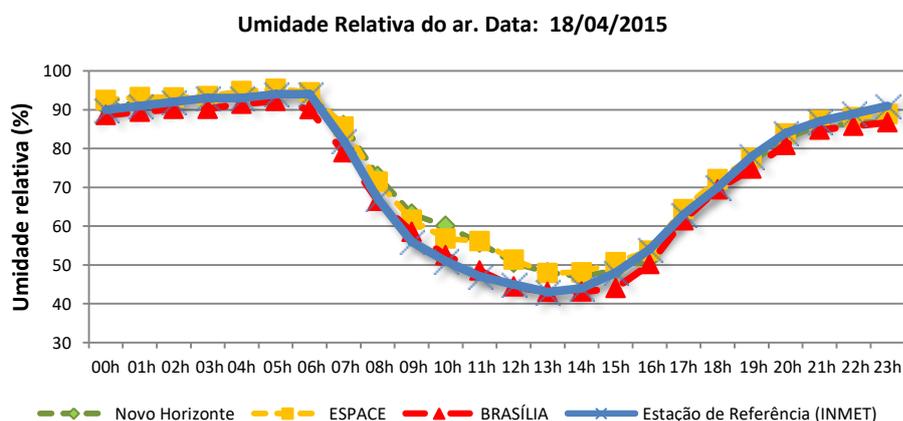


Tabela A5: Dados horários temperatura do ar coletados nos recintos selecionados em 21/04/2015 (período quente e úmido).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 21/04/2015				
HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
00h	23,905	23,809	24,339	23,9
01h	23,713	23,569	24,122	23,6
02h	23,641	23,424	24,002	23,3
03h	23,352	23,809	23,881	23
04h	23,136	22,896	23,521	22,5
05h	23,04	22,944	23,424	22,2
06h	22,92	23,088	23,545	22,3
07h	24,291	24,726	25,331	24,6
08h	26,012	26,622	27,505	26,8
09h	27,875	28,816	29,79	29,2
10h	29,19	30,016	31,128	30,5
11h	30,925	31,001	32,794	31,6
12h	31,97	31,586	33,73	33,1
13h	32,898	32,51	34,598	33,7
14h	33,105	32,484	34,308	33,6
15h	32,949	32,073	34,334	33
16h	32,124	31,153	32,768	31,8
17h	29,79	29,34	30,369	29
18h	27,899	27,604	28,468	27,2
19h	26,304	26,012	26,842	26
20h	25,477	25,21	25,963	25,4
21h	25,04	24,75	25,525	25
22h	24,726	24,339	25,137	24,5
23h	24,605	24,291	24,944	24,4
Temperatura Média	27,04	26,92	27,93	27,09
Máxima	33,105	32,51	34,598	33,7
Mínima	22,92	22,896	23,424	22,2
Amplitude	10,185	9,614	11,174	11,5

Figura A10: Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no dia 21/04/2015

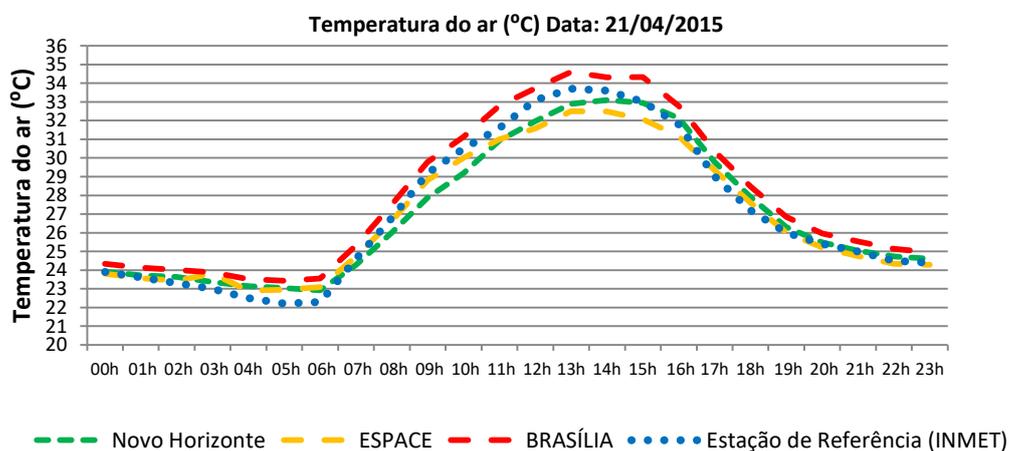


Tabela A6: Dados horários umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 21/04/2015 (período quente e úmido).

Umidade Relativa do Ar (%) Dados coletados em 21/04/2015				
HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
00h	88,501	89,085	86,967	88
01h	89,035	89,523	87,361	88
02h	89,375	90,693	87,943	89
03h	90,539	87,953	88,026	91
04h	91,549	91,137	89,786	92
05h	91,824	90,195	89,9	93
06h	90,871	89,298	87,892	94
07h	84,578	82,301	79,887	81
08h	71,427	71,302	65,763	63
09h	57,974	55,847	53,026	51
10h	54,632	52,544	50,404	48
11h	49,47	49,772	44,717	45
12h	44,951	47,173	41,794	40
13h	43,469	44,816	40,444	39
14h	43,027	45,408	41,186	38
15h	42,41	44,699	40,079	38
16h	44,011	46,695	42,956	44
17h	56,178	58,006	54,544	56
18h	61,62	62,684	60,438	63
19h	74,618	75,529	73,127	76
20h	81,551	82,548	79,761	82
21h	84,126	85,187	82,446	84
22h	86,107	87,578	84,627	87
23h	87,195	88,482	86,016	88
Temperatura Média	70,79	71,19	68,30	69,08
Máxima	91,824	91,137	89,90	94,00
Mínima	42,41	44,699	40,079	38,00
Amplitude	49,414	46,438	49,821	56,00

Figura A11: Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no dia 21/04/2015

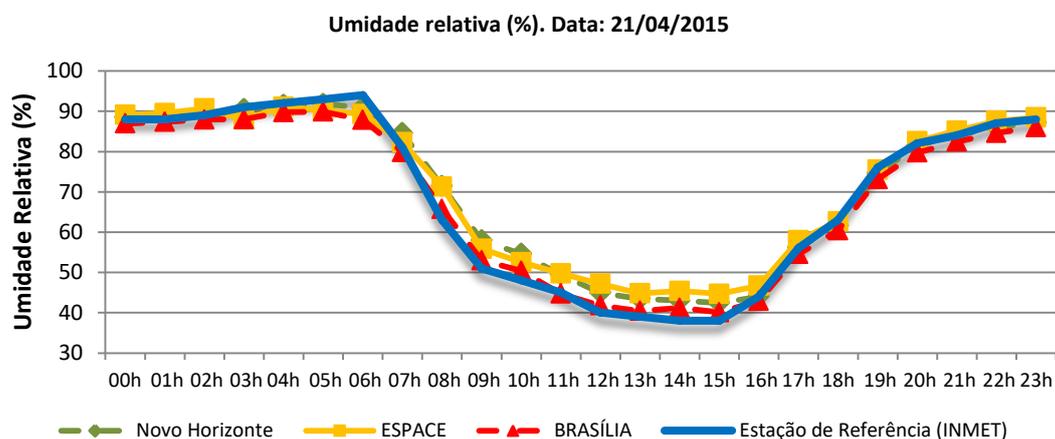


Tabela A7: Dados horários temperatura do ar coletados nos recintos selecionados em 23/04/2015 (período quente e úmido).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 23/04/2015				
HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
00h	25,72	25,695	26,158	25,4
01h	25,234	25,016	25,695	24,5
02h	24,557	24,363	25,065	24,1
03h	24,195	24,05	24,677	23,7
04h	23,737	23,617	24,243	22,9
05h	23,497	23,4	24,002	22,6
06h	23,472	23,376	24,05	22,7
07h	24,412	24,412	25,258	24,2
08h	26,695	27,628	28,221	27,6
09h	29,14	29,69	30,369	29,8
10h	29,941	31,128	31,204	31,4
11h	30,469	30,621	32,047	31,7
12h	30,925	31,204	32,949	32,3
13h	32,227	32,098	33,131	32,1
14h	31,637	31,765	33,105	31,7
15h	32,047	31,331	32,587	31,7
16h	31,663	31,103	32,381	31,7
17h	29,315	29,165	30,142	29,1
18h	27,702	27,579	28,394	27,4
19h	26,72	26,5	27,284	26,5
20h	26,158	25,89	26,646	26
21h	25,744	25,598	26,182	25,5
22h	25,283	25,04	25,744	25,1
23h	24,968	24,605	25,355	24,5
Temperatura Média	27,31	27,29	28,12	27,26
Máxima	32,227	32,098	33,131	32,3
Mínima	23,472	23,376	24,002	22,6
Amplitude	8,755	8,722	9,129	9,7

Figura A12: Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia 23/04/2015

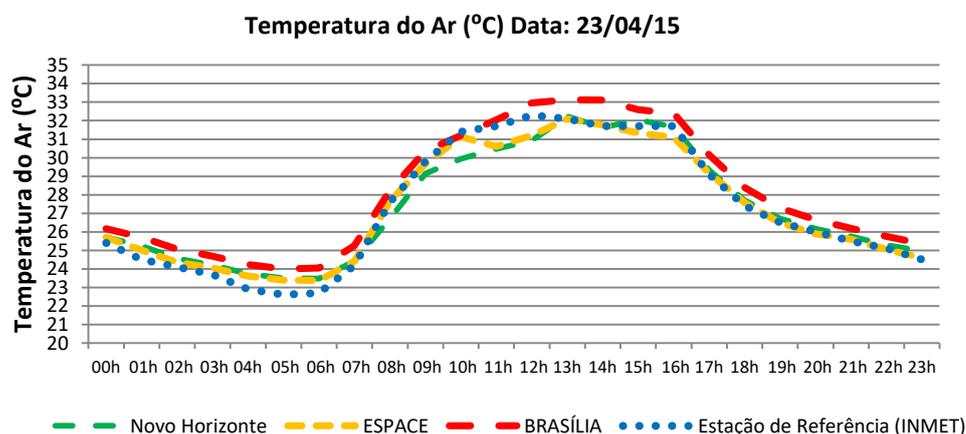


Tabela A8: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 23/04/2015 (período quente e úmido).

Umidade Relativa do Ar (%) Data: 23/04/2015				
HORA	Novo Horizonte	ESPACE	BRASÍLIA	Estação de Referência (INMET)
00h	75,061	75,115	74	78
01h	78,195	78,641	76,78	81
02h	81,809	82,477	79,716	83
03h	83,233	84,046	81,266	86
04h	86,02	86,355	84,652	89
05h	87,216	87,637	85,69	90
06h	87,266	87,216	84,861	91
07h	83,619	84,296	79,584	86
08h	72,209	68,092	65,855	63
09h	58,039	57,176	54,704	55
10h	58,348	55,098	54,886	52
11h	57,639	59,081	53,497	52
12h	53,278	53,381	48,095	48
13h	48,3	49,491	46,606	50
14h	53,022	53,297	50,337	53
15h	51,238	53,719	49,814	49
16h	49,109	51,048	47,402	46
17h	64,445	65,096	61,948	63
18h	68,619	69,381	66,556	66
19h	73,784	74,302	72,022	74
20h	80,234	81,325	78,688	80
21h	80,348	80,116	79,518	80
22h	82,82	83,391	81,18	83
23h	85,854	87,028	84,648	87
Umidade relativa Média	70,82	71,12	68,43	70,21
Máxima	87,266	87,637	85,69	91
Mínima	48,3	49,491	46,606	46
Amplitude	38,966	38,146	39,084	45

Figura A13: Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no dia 23/04/2015

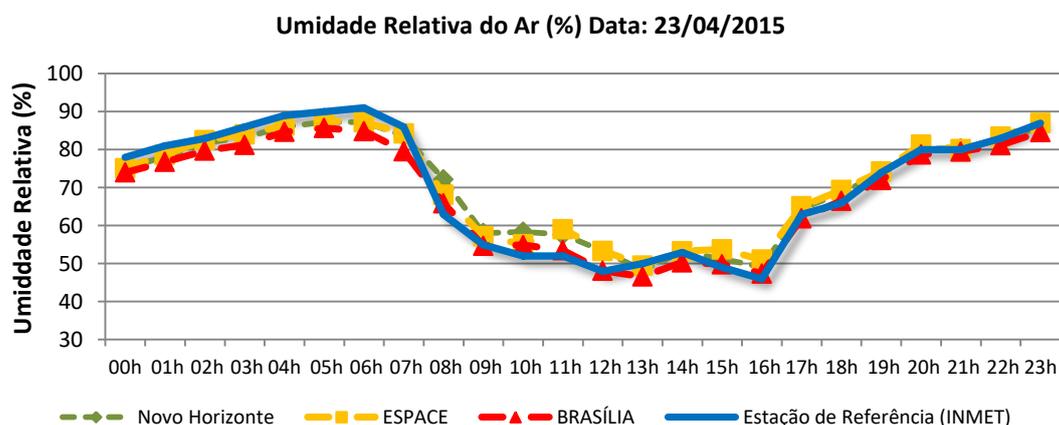


Tabela A9: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 01/01/2016 (período quente e seco).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 01/01/2016					
HORA	Espace	Novo Horizonte	Brasília	Canafístula	INMET
00h	22,705	22,896	23,376	22,896	22,7
01h	22,321	22,465	22,944	22,633	22,4
02h	22,082	22,082	22,537	22,13	22,2
03h	21,891	22,034	22,513	21,509	21,7
04h	21,676	21,939	22,25	21,461	21,7
05h	21,867	21,604	22,034	21,413	21,4
06h	22,609	21,939	22,25	22,417	22,1
07h	23,954	23,641	24,436	24,195	24,3
08h	26,646	25,939	26,965	26,158	26,1
09h	27,407	27,038	27,998	28,072	27,8
10h	29,04	29,29	30,066	28,816	29,6
11h	30,293	30,697	30,925	30,394	30,6
12h	31,204	31,561	32,15	31,612	31,9
13h	32,717	32,536	33,209	32,51	32,8
14h	32,924	32,949	33,835	33,079	33,7
15h	31,331	31,561	33,105	32,227	31,7
16h	29,74	29,865	31,026	30,192	29,7
17h	27,998	28,171	28,841	27,974	27,6
18h	26,231	26,231	26,916	26,012	25,8
19h	24,919	25,04	25,671	24,823	24,8
20h	24,122	24,291	24,871	24,171	24,1
21h	23,713	23,857	24,315	23,665	23,5
22h	23,424	23,521	23,905	23,352	23,2
23h	22,944	23,04	23,545	23,088	22,9
Temperatura Média	26,13	26,14	26,80	26,03329	26,0125
Máxima	32,924	32,949	33,835	33,079	33,7
Mínima	21,676	21,604	22,034	21,413	21,4
Amplitude	11,248	11,345	11,801	11,666	12,3

Figura A14: Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia 01/01/2016

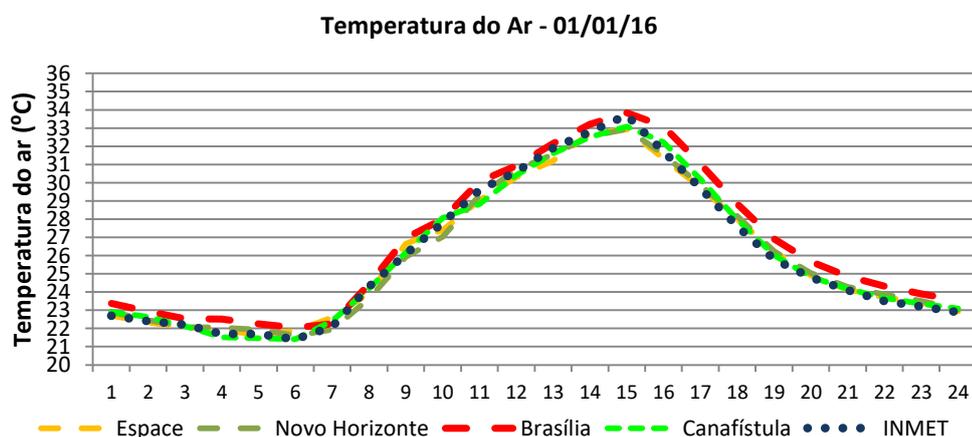


Tabela A10: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 01/01/2016 (período quente e seco).

Umidade Relativa do Ar (%) Dados coletados em 01/01/2016					
HORA	Espace	Novo Horizonte	Brasília	Canafistula	INMET
00h	92,661	91,626	89,34	92,331	91,00
01h	93,91	92,925	90,468	92,859	92,00
02h	94,572	93,957	91,917	93,996	92,00
03h	94,256	93,811	91,586	94,985	93,00
04h	95,347	94,536	92,764	96,087	93,00
05h	94,757	95,488	93,57	96,444	93,00
06h	93,015	94,882	93,194	94,31	93,00
07h	86,46	87,554	83,342	86,655	80,00
08h	68,431	69,534	66,4	70,918	65,00
09h	64,8	65,957	62,779	63,715	60,00
10h	56,196	55,408	53,352	58,962	50,00
11h	49,551	48,564	46,471	51,567	45,00
12h	44,73	44,409	43,119	48,647	38,00
13h	39,138	40,762	38,447	41,895	37,00
14h	38,621	38,926	36,138	39,948	33,00
15h	52,53	52,561	48,213	51,65	50,00
16h	57,025	56,253	53,164	56,141	55,00
17h	61,203	60,951	58,433	62,127	61,00
18h	68,236	68,266	65,845	70,295	69,00
19h	75,079	74,693	72,046	76,313	74,00
20h	80,605	79,983	77,484	81,527	80,00
21h	83,465	82,735	80,703	84,69	84,00
22h	85,447	84,77	82,915	86,211	85,00
23h	87,751	86,999	84,719	87,536	86,00
Umidade relativa Média	72,40	72,34	69,87	74,15871	70,79
Máxima	95,347	95,488	93,57	96,444	93,00
Mínima	38,621	38,926	36,138	39,948	33,00
Amplitude	56,726	56,562	57,432	56,496	60,00

Figura A15: Gráfico referente ao comportamento umidade relativa do ar no dia 01/01/2016

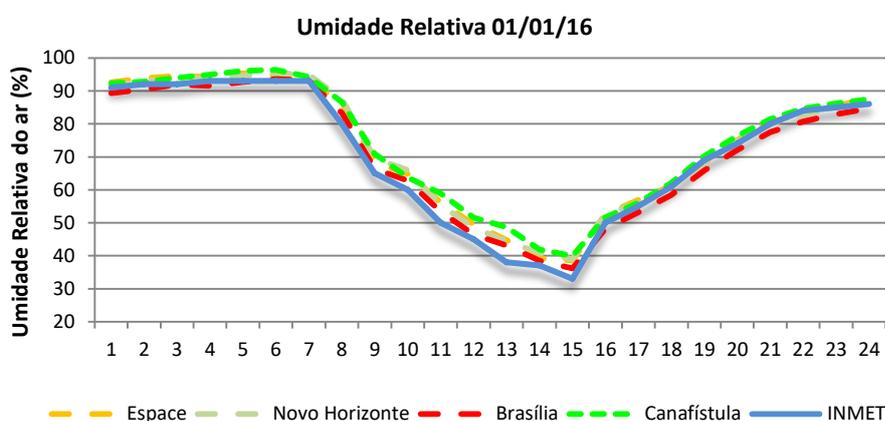


Tabela A11: Dados horários temperatura do ar coletados nos recintos selecionados em 02/01/2016 (período quente e seco).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 02/01/2016					
HORA	Espace	Novo Horizonte	Brasília	Canafistula	INMET
00h	22,561	22,681	23,112	22,80	22,70
01h	22,226	22,274	22,705	22,25	22,40
02h	21,939	22,058	22,489	21,963	22,00
03h	21,557	21,772	22,226	21,724	22,00
04h	21,557	21,676	22,13	21,533	21,50
05h	21,366	21,413	21,843	21,223	21,30
06h	22,657	22,058	22,561	22,058	22,20
07h	24,653	23,833	24,629	24,677	24,40
08h	26,891	25,987	27,112	26,965	26,80
09h	28,692	27,974	28,99	28,468	28,80
10h	30,167	29,991	30,293	30,066	30,20
11h	31,535	32,484	32,278	31,637	31,50
12h	32,639	33,757	34,202	34,097	34,10
13h	34,308	34,704	34,836	34,704	34,90
14h	34,863	35,662	35,582	36,227	34,90
15h	34,783	35,155	36,498	35,797	35,30
16h	34,677	34,995	35,877	34,942	33,80
17h	30,672	30,444	31,612	30,343	30,00
18h	27,727	27,554	28,419	27,505	27,00
19h	25,939	26,085	26,769	25,939	25,80
20h	25,404	25,501	26,085	25,355	25,20
21h	25,21	25,258	25,695	25,065	24,90
22h	24,871	24,919	25,355	24,944	24,80
23h	24,557	24,581	25,016	24,484	24,60
Temperatura Média	27,14	27,20	27,76	27,281	27,12
Máxima	34,863	35,662	36,498	36,227	35,30
Mínima	21,366	21,413	21,843	21,223	21,30
Amplitude	13,497	14,249	14,655	15,004	14,00

Figura A16: Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia 02/01/2016

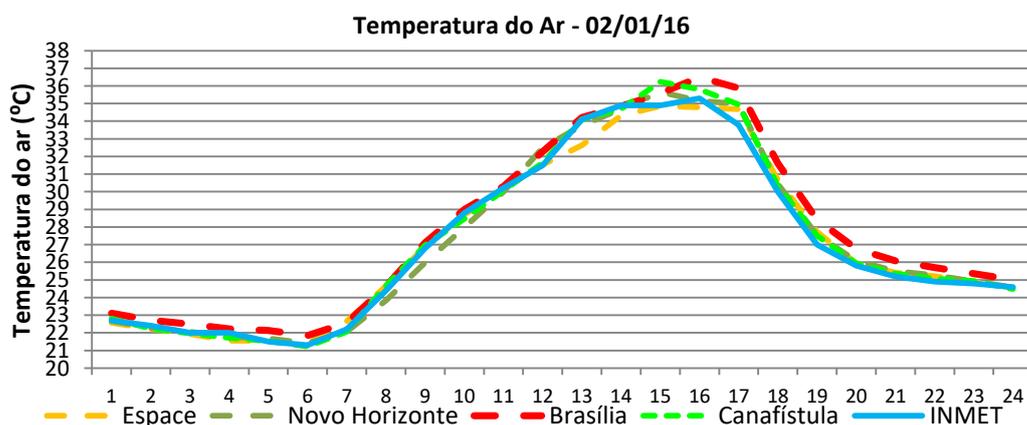


Tabela A12: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 02/01/2016 (período quente e seco).

Umidade Relativa do Ar (°C) Dados coletados em 02/01/2016					
HORA	Espace	Novo Horizonte	Brasília	Canafístula	INMET
00h	89,31	88,57	86,628	88,791	87,00
01h	90,239	89,951	87,888	90,925	88,00
02h	91,229	90,715	88,689	91,883	89,00
03h	92,913	91,782	89,612	92,633	90,00
04h	91,999	91,462	89,207	92,424	91,00
05h	92,758	92,098	90,283	93,579	92,00
06h	87,353	89,08	86,279	91,691	91,00
07h	77,642	81,056	77,464	78,542	88,00
08h	67,357	70,916	66,091	67,612	75,00
09h	58,943	60,919	57,135	60,064	63,00
10h	53,558	53,885	51,586	53,799	56,00
11h	44,736	44,582	41,669	45,11	49,00
12h	40,438	37,454	36,275	38,537	41,00
13h	37,712	37,615	35,756	38,192	39,00
14h	36,679	35,047	34,559	34,79	35,00
15h	35,785	35,41	32,782	34,51	34,00
16h	34,887	34,985	33,624	36,21	49,00
17h	60,439	61,31	57,523	62,665	61,00
18h	72,939	73,678	70,376	74,409	75,00
19h	81,679	80,937	78,278	82,479	81,00
20h	84,093	83,464	80,966	84,845	83,00
21h	84,897	84,428	82,54	86,1	84,00
22h	86,308	85,759	83,828	86,352	85,00
23h	87,546	87,022	85,135	88,25	85,00
Umidade relativa Média	69,22	69,29	66,85	70,59967	71,29
Máxima	92,913	92,098	90,283	93,579	92,00
Mínima	34,887	34,985	32,782	34,51	34,00
Amplitude	58,026	57,113	57,501	59,069	58,00

Figura A17: Gráfico referente ao comportamento umidade relativa do ar no dia 02/01/2016

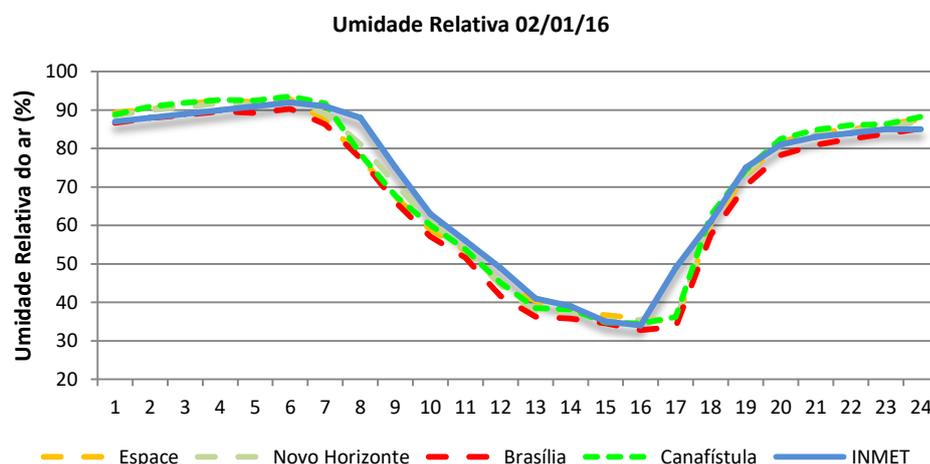


Tabela A13: Dados horários de temperatura do ar coletados nos recintos selecionados em 03/01/2016 (período quente e seco).

Temperatura do Ar (°C) Dados coletados em 03/01/2016					
hora	Espace	Novo Horizonte	Brasília	Canafistula	INMET
00h	24,677	24,629	25,016	24,557	24,3
01h	25,162	24,75	25,21	24,605	24,3
02h	25,21	24,702	25,065	24,532	24,3
03h	25,186	24,677	25,113	24,412	24,2
04h	24,726	24,267	24,871	23,857	23,4
05h	24,315	23,857	24,243	23,376	23,1
06h	25,55	24,195	24,75	24,05	23,9
07h	26,916	26,085	26,965	26,744	26,7
08h	29,54	28,468	29,49	29,265	29,1
09h	30,925	30,369	31,51	30,722	31,1
10h	32,691	33,313	33,079	32,484	33,1
11h	34,545	35,636	35,102	34,466	34,8
12h	36,119	36,796	37,069	36,119	36,3
13h	36,715	36,308	37,343	36,471	36,9
14h	36,824	37,563	38,728	37,425	37,3
15h	37,124	37,673	38,56	38,282	37,9
16h	35,075	35,502	36,362	36,335	37,0
17h	31,281	32,381	32,458	32,381	32,4
18h	31,586	31,637	32,304	31,535	30,3
19h	30,091	30,041	30,495	29,565	29,0
20h	29,265	29,315	29,765	29,14	28,3
21h	28,221	28,295	28,742	27,998	27,4
22h	27,382	27,382	27,899	27,063	26,6
23h	26,867	26,916	27,358	26,622	26,1
Temperatura média	29,83	29,78	30,31	29,666	29,4
Máxima	37,124	37,673	38,728	38,282	37,9
Mínima	24,315	23,857	24,243	23,376	23,1
Amplitude	12,809	13,816	14,485	14,906	14,8

Figura A18: Gráfico referente ao comportamento da temperatura do ar no dia 03/01/2016

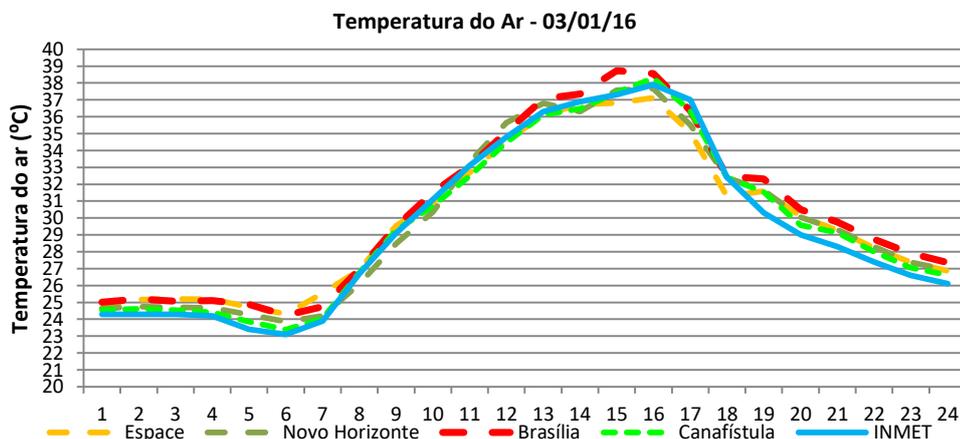
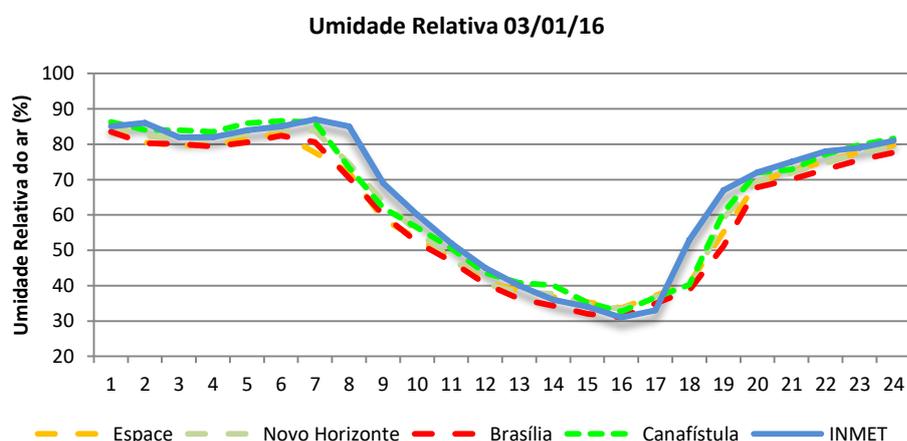


Tabela A14: Dados horários de umidade relativa do ar coletados nos recintos selecionados em 03/01/2016 (período quente e seco).

Umidade Relativa do Ar (°C) Dados coletados em 03/01/2016					
HORA	Espace	Novo Horizonte	Brasília	Canafistula	INMET
00h	85,563	85,16	83,498	86,292	85,00
01h	80,511	82,334	80,235	84,085	86,00
02h	79,632	81,727	80,089	83,985	82,00
03h	79,627	81,408	79,324	83,506	82,00
04h	81,533	83,079	80,536	85,964	84,00
05h	83,005	84,537	82,394	86,55	85,00
06h	77,68	83,797	80,653	86,204	87,00
07h	72,042	74,575	70,53	73,405	85,00
08h	58,79	63,842	60,036	61,994	69,00
09h	53,342	55,213	52,264	56,409	60,00
10h	48,063	47,91	46,896	50,614	52,00
11h	40,976	40,486	40,564	43,579	45,00
12h	38,639	38,129	36,275	40,807	40,00
13h	36,858	37,739	34,307	40,032	36,00
14h	35,394	34,706	32,002	35,21	34,00
15h	33,631	33,369	31,012	32,659	31,00
16h	37,176	36,809	34,94	36,616	33,00
17h	40,695	38,532	38,742	40,244	53,00
18h	55,164	59,109	51,207	60,793	67,00
19h	69,197	69,522	67,837	71,97	72,00
20h	72,454	71,864	70,078	72,879	75,00
21h	75,11	74,681	72,893	77,097	78,00
22h	77,762	77,646	75,519	79,789	79,00
23h	79,748	79,469	77,611	81,625	81,00
Umidade relativa Média	61,18	62,19	59,82	64,67	
Máxima	83,00	84,53	82,394	86,55	87,00
Mínima	33,63	33,37	31,012	32,659	31,00
Amplitude	49,37	51,17	51,382	53,891	56,00

Figura A19: Gráfico referente ao comportamento da umidade relativa do ar no dia 03/01/2016



APENDICE B - Dados referentes às simulações computacionais das tipologias espaciais selecionadas para a calibração do modelo ENVI-met

Tabela B1: Avaliação RMSE e MBE para dados de temperatura do ar Brasília – Tipologia 1 (condição período quente e seco)

Dia	hora	T°C Medida	T°C Estimada	cx - dx	ex^2	MBE	RMSE
03.01.2015	00:00:01	25,016	27,26	-2,244	5,0355	-0,116	1,35
03.01.2015	01:00:01	25,21	26,85	-1,64	2,6896		
03.01.2015	02:00:01	25,065	26,59	-1,525	2,3256		
03.01.2015	03:00:01	25,113	26,4	-1,287	1,6564		
03.01.2015	04:00:01	24,871	26,14	-1,269	1,6104		
03.01.2015	05:00:01	24,243	25,55	-1,307	1,7082		
03.01.2015	06:00:01	24,75	25,67	-0,92	0,8464		
03.01.2015	07:00:01	26,965	27,11	-0,145	0,021		
03.01.2015	08:00:01	29,49	29,18	0,31	0,0961		
03.01.2015	09:00:01	31,51	30,74	0,77	0,5929		
03.01.2015	10:00:01	33,079	32,26	0,819	0,6708		
03.01.2015	11:00:01	35,102	33,72	1,382	1,9099		
03.01.2015	12:00:01	37,069	35,08	1,989	3,9561		
03.01.2015	13:00:01	37,343	35,76	1,583	2,5059		
03.01.2015	14:00:01	38,728	36,4	2,328	5,4196		
03.01.2015	15:00:01	38,56	36,47	2,09	4,3681		
03.01.2015	16:00:01	36,362	35,64	0,722	0,5213		
03.01.2015	17:00:01	32,458	33,66	-1,202	1,4448		
03.01.2015	18:00:01	32,304	32,47	-0,166	0,0276		
03.01.2015	19:00:01	30,495	31,39	-0,895	0,801		
03.01.2015	20:00:01	29,765	30,61	-0,845	0,714		
03.01.2015	20:59:59	28,742	29,85	-1,108	1,2277		
	amostras	22	somatório	-2,56	40,1489		

Tabela B2: Avaliação RMSE e MBE para dados de umidade relativa Brasília – Tipologia 1 (condição período quente e seco)

Dia	hora	UMIDADE Medida	UMIDADE Estimada	cx - dx	ex²	MBE	RMSE
03.01.2015	00:00:01	83,498	63,22	20,278	411,2	9,4392	11,96
03.01.2015	01:00:01	80,235	63,27	16,965	287,81		
03.01.2015	02:00:01	80,089	63,7	16,389	268,6		
03.01.2015	03:00:01	79,324	64,07	15,254	232,68		
03.01.2015	04:00:01	80,536	65,05	15,486	239,82		
03.01.2015	05:00:01	82,394	66,29	16,104	259,34		
03.01.2015	06:00:01	80,653	66,44	14,213	202,01		
03.01.2015	07:00:01	70,53	61,65	8,88	78,854		
03.01.2015	08:00:01	60,036	55,11	4,926	24,265		
03.01.2015	09:00:01	52,264	48,32	3,944	15,555		
03.01.2015	10:00:01	46,896	43,87	3,026	9,1567		
03.01.2015	11:00:01	40,564	39,47	1,094	1,1968		
03.01.2015	12:00:01	36,275	36,03	0,245	0,06		
03.01.2015	13:00:01	34,307	33,72	0,587	0,3446		
03.01.2015	14:00:01	32,002	32,26	-0,258	0,0666		
03.01.2015	15:00:01	31,012	31,29	-0,278	0,0773		
03.01.2015	16:00:01	34,94	32,47	2,47	6,1009		
03.01.2015	17:00:01	38,742	34,96	3,782	14,304		
03.01.2015	18:00:01	51,207	41,01	10,197	103,98		
03.01.2015	19:00:01	67,837	47,95	19,887	395,49		
03.01.2015	20:00:01	70,078	52,8	17,278	298,53		
03.01.2015	20:59:59	72,893	55,7	17,193	295,6		
	amostras	22	somatorio	207,662	3145,038		

Tabela B3: Avaliação RMSE e MBE para dados de temperatura do ar Novo Horizonte – Tipologia 2 (condição período quente e seco).

Data	hora	T°C Medida	T°C Estimada	cx - dx	ex²	MBE	RMSE
						-0,646	0,95
03/01/2016	05:00:01	23,86	25,90	-2,04	4,17		
03/01/2016	06:00:01	24,20	25,81	-1,62	2,61		
03/01/2016	07:00:01	26,09	27,28	-1,20	1,43		
03/01/2016	08:00:01	28,47	29,34	-0,87	0,76		
03/01/2016	09:00:01	30,37	31,32	-0,95	0,90		
03/01/2016	10:00:01	33,31	33,26	0,05	0,00		
03/01/2016	11:00:01	35,64	35,44	0,20	0,04		
03/01/2016	12:00:01	36,80	36,92	-0,12	0,02		
03/01/2016	13:00:01	36,31	37,28	-0,97	0,94		
03/01/2016	14:00:01	37,56	37,57	-0,01	0,00		
03/01/2016	15:00:01	37,67	37,39	0,28	0,08		
03/01/2016	16:00:01	35,50	36,03	-0,53	0,28		
03/01/2016	17:00:01	32,38	33,46	-1,08	1,16		
03/01/2016	18:00:01	31,64	32,02	-0,38	0,15		
03/01/2016	19:00:01	30,04	30,93	-0,89	0,79		
03/01/2016	20:00:01	29,32	30,17	-0,86	0,73		
03/01/2016	20:59:59	28,30	29,39	-1,10	1,20		
	amostras	17	somatório	-10,981	15,26649		

Tabela B4: Avaliação RMSE e MBE para dados de umidade relativa Novo Horizonte – Tipologia 2 (condição período quente e seco)

Data	hora	Umidade Medida	Umidade Estimada	cx - dx	ex ²	MBE	RMSE
03/01/2016	00:00:01	85,16	79,73	5,43	29,48	1,8254	4,51
03/01/2016	01:00:01	82,334	78,78	3,55	12,63		
03/01/2016	02:00:01	81,727	78,07	3,66	13,37		
03/01/2016	03:00:01	81,408	77,84	3,57	12,73		
03/01/2016	04:00:01	83,079	78,57	4,51	20,33		
03/01/2016	05:00:01	84,537	79,57	4,97	24,67		
03/01/2016	06:00:01	83,797	79,52	4,28	18,29		
03/01/2016	07:00:01	74,575	73,59	0,98	0,97		
03/01/2016	08:00:01	63,842	65,74	-1,90	3,60		
03/01/2016	09:00:01	55,213	57,94	-2,73	7,44		
03/01/2016	10:00:01	47,91	51,18	-3,27	10,69		
03/01/2016	11:00:01	40,486	43,73	-3,24	10,52		
03/01/2016	12:00:01	38,129	39,56	-1,43	2,05		
03/01/2016	13:00:01	37,739	37,97	-0,23	0,05		
03/01/2016	14:00:01	34,706	36,63	-1,92	3,70		
03/01/2016	15:00:01	33,369	36,27	-2,90	8,42		
03/01/2016	16:00:01	36,809	38,5	-1,69	2,86		
03/01/2016	17:00:01	38,532	41,74	-3,21	10,29		
03/01/2016	18:00:01	59,109	52,66	6,45	41,59		
03/01/2016	19:00:01	69,522	60,4	9,12	83,21		
03/01/2016	20:00:01	71,864	63,84	8,02	64,38		
03/01/2016	21:00:01	74,681	66,54	8,14	66,28		
	amostras	22	somatório	40,158	447,571		

Tabela B5: Avaliação RMSE e MBE para dados de temperatura do ar Espace – Tipologia 3 (condição período quente e seco)

Dia /hora	min	T°C Medida	T°C Estimada	ex - dx	ex^2	MBE	RMSE
03.01.2015	0,00	24,68	25,81	-1,13	1,28	0,2792	0,92
03.01.2015	0,04	25,16	25,45	-0,29	0,08		
03.01.2015	0,08	25,21	25,29	-0,08	0,01		
03.01.2015	0,13	25,19	25,11	0,08	0,01		
03.01.2015	0,17	24,73	25,13	-0,40	0,16		
03.01.2015	0,21	24,32	24,31	0,01	0,00		
03.01.2015	0,25	25,55	24,55	1,00	1,00		
03.01.2015	0,29	26,92	26,66	0,26	0,07		
03.01.2015	0,33	29,54	28,70	0,84	0,71		
03.01.2015	0,38	30,93	30,14	0,79	0,62		
03.01.2015	0,42	32,69	31,65	1,04	1,08		
03.01.2015	0,46	34,55	33,12	1,43	2,03		
03.01.2015	0,50	36,12	34,49	1,63	2,65		
03.01.2015	0,54	36,72	35,36	1,36	1,84		
03.01.2015	0,58	36,82	35,84	0,98	0,97		
03.01.2015	0,63	37,12	36,16	0,96	0,93		
03.01.2015	0,67	35,08	35,77	-0,70	0,48		
03.01.2015	0,71	31,28	33,42	-2,14	4,58		
03.01.2015	0,75	31,59	31,24	0,35	0,12		
03.01.2015	0,79	30,09	29,99	0,10	0,01		
03.01.2015	0,83	29,27	29,19	0,07	0,01		
03.01.2015	0,87	28,22	28,39	-0,17	0,03		
	amostras	22,00	somatório	6,14	18,62		

Tabela B6: Avaliação RMSE e BEM para dados de umidade relativa do ar Espace – Tipologia 3 (condição período quente e seco)

Dia	HORA	UMIDADE Medida	UMIDADE Estimada	cx - dx	ex²	MBE	RMSE
03.01.2015	00:00:01	85,563	71,64	13,92	193,85	5,1146	7,26
03.01.2015	01:00:01	80,511	70,05	10,46	109,43		
03.01.2015	02:00:01	79,632	69,7	9,93	98,64		
03.01.2015	03:00:01	79,627	70	9,63	92,68		
03.01.2015	04:00:01	81,533	71,49	10,04	100,86		
03.01.2015	05:00:01	83,005	72,57	10,44	108,89		
03.01.2015	06:00:01	77,68	70,25	7,43	55,20		
03.01.2015	07:00:01	72,042	66,83	5,21	27,16		
03.01.2015	08:00:01	58,79	57,85	0,94	0,88		
03.01.2015	09:00:01	53,342	51,99	1,35	1,83		
03.01.2015	10:00:01	48,063	47,77	0,29	0,09		
03.01.2015	11:00:01	40,976	42,5	-1,52	2,32		
03.01.2015	12:00:01	38,639	39,17	-0,53	0,28		
03.01.2015	13:00:01	36,858	37,03	-0,17	0,03		
03.01.2015	14:00:01	35,394	35,62	-0,23	0,05		
03.01.2015	15:00:01	33,631	34,41	-0,78	0,61		
03.01.2015	16:00:01	37,176	35,8	1,38	1,89		
03.01.2015	17:00:01	40,695	38,3	2,40	5,74		
03.01.2015	18:00:01	55,164	47,11	8,05	64,87		
03.01.2015	19:00:01	69,197	56,61	12,59	158,43		
03.01.2015	20:00:01	72,454	60,76	11,69	136,75		
03.01.2015	20:59:59	75,11	63,41	11,70	136,89		
	amostras	22	somatório	112,52	1160,50		

Tabela B7: Avaliação RMSE e MBE para dados de temperatura do ar Espace – Tipologia 4 (condição período quente e seco)

hora	Temperatura Medida	Temperatura Estimada	cx - dx	ex ²	MBE	RMSE
00:00:01	24,56	25,83	-1,273	1,620529	-0,386	0,61
01:00:01	24,61	25,51	-0,905	0,819025		
02:00:01	24,53	25,32	-0,788	0,620944		
03:00:01	24,41	25,12	-0,708	0,501264		
04:00:01	23,86	24,69	-0,833	0,693889		
05:00:01	23,38	24,27	-0,894	0,799236		
06:00:01	24,05	24,53	-0,48	0,2304		
07:00:01	26,74	26,88	-0,136	0,018496		
08:00:01	29,27	29,34	-0,075	0,005625		
09:00:01	30,72	30,9	-0,178	0,031684		
10:00:01	32,48	32,53	-0,046	0,002116		
11:00:01	34,47	34,38	0,086	0,007396		
12:00:01	36,12	36,06	0,059	0,003481		
13:00:01	36,47	36,89	-0,419	0,175561		
14:00:01	37,43	37,34	0,085	0,007225		
15:00:01	38,28	37,47	0,812	0,659344		
16:00:01	36,34	36,31	0,025	0,000625		
17:00:01	32,38	33,34	-0,959	0,919681		
18:00:01	31,54	31,69	-0,155	0,024025		
19:00:01	29,57	30,22	-0,655	0,429025		
20:00:01	29,14	29,55	-0,41	0,1681		
20:59:59	28,00	28,65	-0,652	0,425104		
amostras	22	somatório	-8,499	8,162775		

Tabela B8: Avaliação RMSE e BEM para dados de umidade relativa do ar Espace – Tipologia 4 (condição período quente e seco).

hora	umidade Medida	Umidade Estimada	cx - dx	ex ²	MBE	RMSE
00:00:01	86,292	80,17	6,122	37,478884	1,3688	3,66
01:00:01	84,085	79,99	4,095	16,769025		
02:00:01	83,985	80,31	3,675	13,505625		
03:00:01	83,506	80,45	3,056	9,339136		
04:00:01	85,964	82,17	3,794	14,394436		
05:00:01	86,55	83,07	3,48	12,1104		
06:00:01	86,204	83,23	2,974	8,844676		
07:00:01	73,405	74,31	-0,905	0,819025		
08:00:01	61,994	64,93	-2,936	8,620096		
09:00:01	56,409	59,08	-2,671	7,134241		
10:00:01	50,614	52,86	-2,246	5,044516		
11:00:01	43,579	46,09	-2,511	6,305121		
12:00:01	40,807	41,73	-0,923	0,851929		
13:00:01	40,032	39,72	0,312	0,097344		
14:00:01	35,21	37,00	-1,79	3,2041		
15:00:01	32,659	35,74	-3,081	9,492561		
16:00:01	36,616	38,06	-1,444	2,085136		
17:00:01	40,244	42,20	-1,956	3,825936		
18:00:01	60,793	55,66	5,133	26,347689		
19:00:01	71,97	64,90	7,07	49,9849		
20:00:01	72,879	67,75	5,129	26,306641		
20:59:59	77,097	71,36	5,737	32,913169		
amostras	22	somatório	30,114	295,474586		

Tabela B9: Avaliação RMSE e MBE para dados de temperatura do ar Espace – Tipologia 3 (condição período quente e úmido).

Data	hora	T°C Medida	T°C Estimada	cx - dx	ex²	MBE	RMSE
18.04.2015	00:00:01	22,992	23,94	-0,948	0,898704	0,029	0,67
18.04.2015	01:00:01	22,729	23,67	-0,941	0,885481		
18.04.2015	02:00:01	22,657	23,39	-0,733	0,537289		
18.04.2015	03:00:01	22,537	23,04	-0,503	0,253009		
18.04.2015	04:00:01	22,154	22,93	-0,776	0,602176		
18.04.2015	05:00:01	22,011	22,57	-0,559	0,312481		
18.04.2015	06:00:01	22,274	22,8	-0,526	0,276676		
18.04.2015	07:00:01	24,363	24,1	0,263	0,069169		
18.04.2015	08:00:01	26,304	25,83	0,474	0,224676		
18.04.2015	09:00:01	28,122	27,13	0,992	0,984064		
18.04.2015	10:00:01	29,59	28,37	1,22	1,4884		
18.04.2015	11:00:01	29,916	29,46	0,456	0,207936		
18.04.2015	12:00:01	30,824	30,18	0,644	0,414736		
18.04.2015	13:00:01	31,816	30,75	1,066	1,136356		
18.04.2015	14:00:01	31,484	30,84	0,644	0,414736		
18.04.2015	15:00:01	31,077	30,59	0,487	0,237169		
18.04.2015	16:00:01	30,672	30,06	0,612	0,374544		
18.04.2015	17:00:01	28,642	28,69	-0,048	0,002304		
18.04.2015	18:00:01	27,063	27,31	-0,247	0,061009		
18.04.2015	19:00:01	26,036	26,43	-0,394	0,155236		
18.04.2015	20:00:01	25,283	25,83	-0,547	0,299209		
18.04.2015	20:59:59	24,774	25,29	-0,516	0,266256		
	amostras	22	somatório	0,636	9,83536		

Tabela B10: Avaliação RMSE e MBE para dados de umidade relativa do ar Espace – Tipologia 3 (condição período quente e úmido)

Dia	HORA	UMIDADE Medida	UMIDADE Estimada	cx - dx	ex^2	MBE	RMSE
18.04.2015	00:00:01	92,517	80,63	11,887	141,300769	5,143	7,40
18.04.2015	01:00:01	93,261	81,8	11,461	131,354521		
18.04.2015	02:00:01	93,162	82,21	10,952	119,946304		
18.04.2015	03:00:01	93,482	82,69	10,792	116,467264		
18.04.2015	04:00:01	94,777	83,8	10,977	120,494529		
18.04.2015	05:00:01	95,38	84,48	10,9	118,81		
18.04.2015	06:00:01	94,487	84,54	9,947	98,942809		
18.04.2015	07:00:01	85,66	80,07	5,59	31,2481		
18.04.2015	08:00:01	71,422	70,54	0,882	0,777924		
18.04.2015	09:00:01	61,594	62,43	-0,836	0,698896		
18.04.2015	10:00:01	56,782	58,08	-1,298	1,684804		
18.04.2015	11:00:01	56,101	56,3	-0,199	0,039601		
18.04.2015	12:00:01	51,302	53,24	-1,938	3,755844		
18.04.2015	13:00:01	47,889	50,22	-2,331	5,433561		
18.04.2015	14:00:01	48,076	49,02	-0,944	0,891136		
18.04.2015	15:00:01	50,689	49,78	0,909	0,826281		
18.04.2015	16:00:01	53,66	51,49	2,17	4,7089		
18.04.2015	17:00:01	64,363	58,42	5,943	35,319249		
18.04.2015	18:00:01	72,04	63,96	8,08	65,2864		
18.04.2015	19:00:01	77,605	68,33	9,275	86,025625		
18.04.2015	20:00:01	83,812	72,88	10,932	119,508624		
18.04.2015	20:59:59	87,234	75,9	11,334	128,459556		
	amostras	22	somatório	113,151	1203,52114		

Tabela B11: Resultados de regressão múltipla para predição da temperatura do ar máxima considerando os parâmetros IDA e PoMa

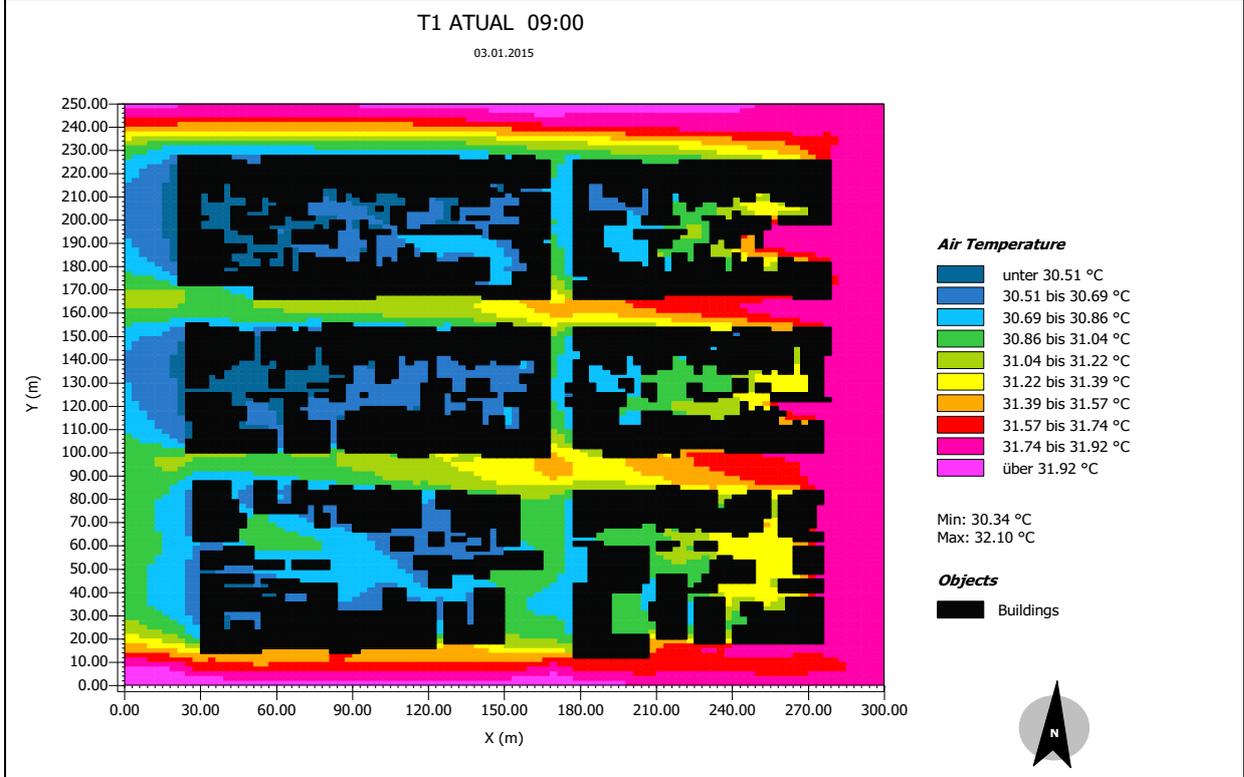
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	0,96769							
R-Quadrado	93,64%							
R-quadrado ajustado	92,66%							
Erro padrão	0,532949							
Observações	16							
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	54,38669	27,19335	95,73952	1,67E-08			
Resíduo	13	3,692451	0,284035					
Total	15	58,07914						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	38,55996	0,846815	45,53528	1,01E-15	36,73052	40,38939	36,730524	40,3893897
Po Ma	-2,96826	1,173462	-2,52949	2,51%	-5,503	-0,43315	-5,5033668	-0,43314702
IDA	-5,50093	0,675886	-8,13884	0,00%	-6,961	-4,04076	-6,9610879	-4,04076410

Tabela B12: Resultados de regressão múltipla para predição da umidade relativa do ar máxima considerando os parâmetros IDA e PoMa.

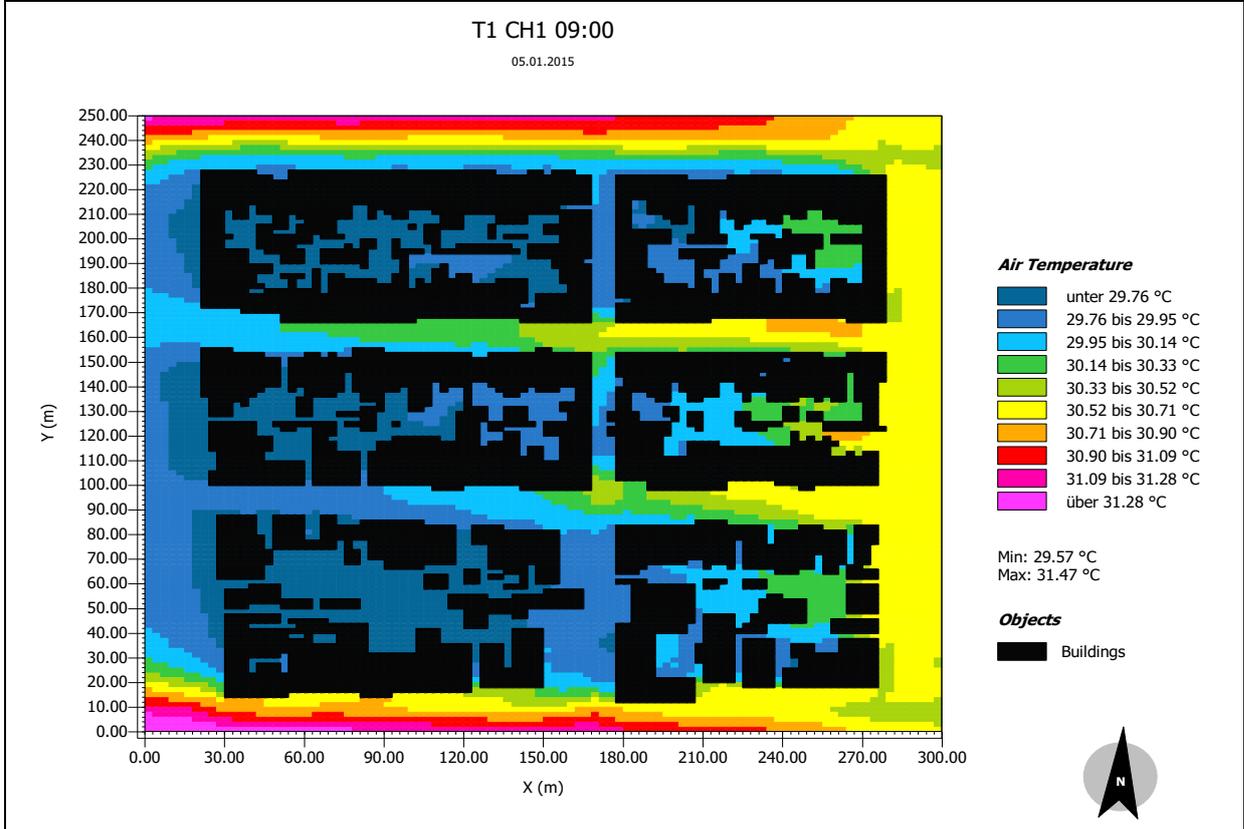
<i>Estatística de regressão</i>								
R múltiplo	96,228%							
R-Quadrado	92,599%							
R-quadrado ajustado	91,460%							
Erro padrão	3,904248							
Observações	16							
	<i>gl</i>	<i>SQ</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>F de significação</i>			
Regressão	2	2479,23	1239,61	81,322	4,47E-08			
Resíduo	13	198,161	15,2431					
Total	15	2677,39						
	<i>Coefficientes</i>	<i>Erro padrão</i>	<i>Stat t</i>	<i>valor-P</i>	<i>95% inferiores</i>	<i>95% superiores</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>
Interseção	26,03273	6,20354	4,19642	0,0010	12,63077	39,43468	12,63077	39,43468
IDA	39,24766	4,95136	7,92663	2,47E-06	28,55089	49,94443	28,55089	49,94443
Po Ma	15,50701	8,59647	1,80387	0,094461	-3,06456	34,07857	-3,06456	34,07857

APENDICE C – Resultados das simulações computacionais dos cenários hipotéticos estudados

Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 9:00h

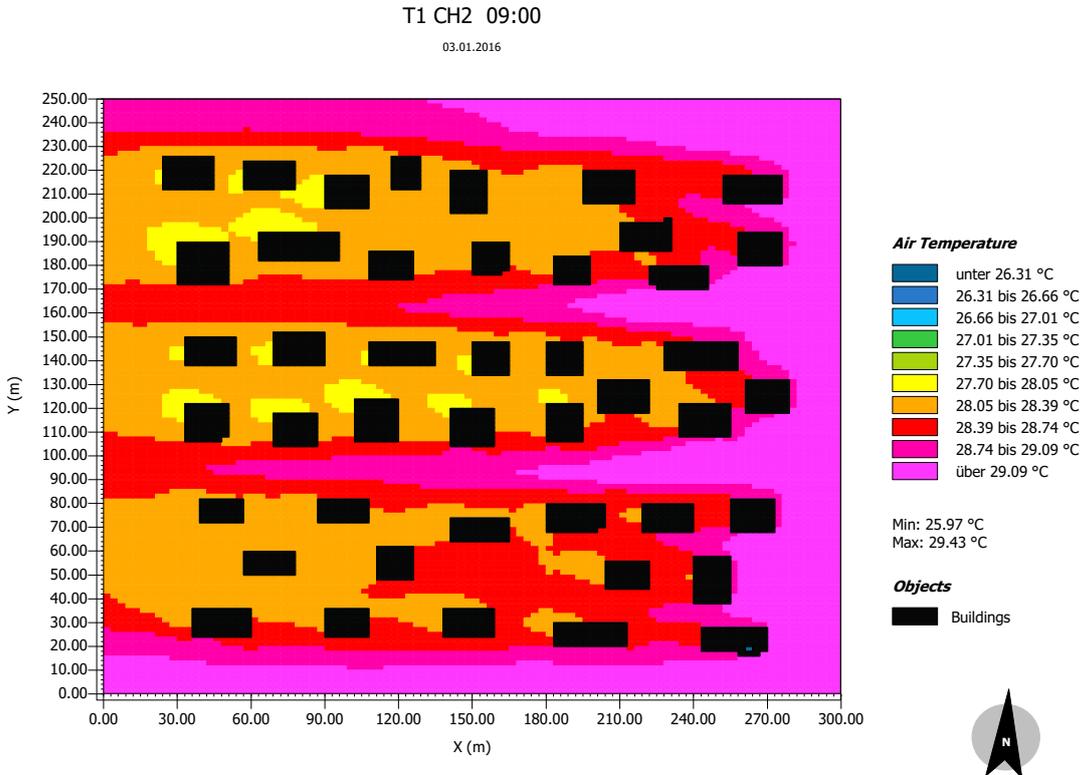


T1 CH1

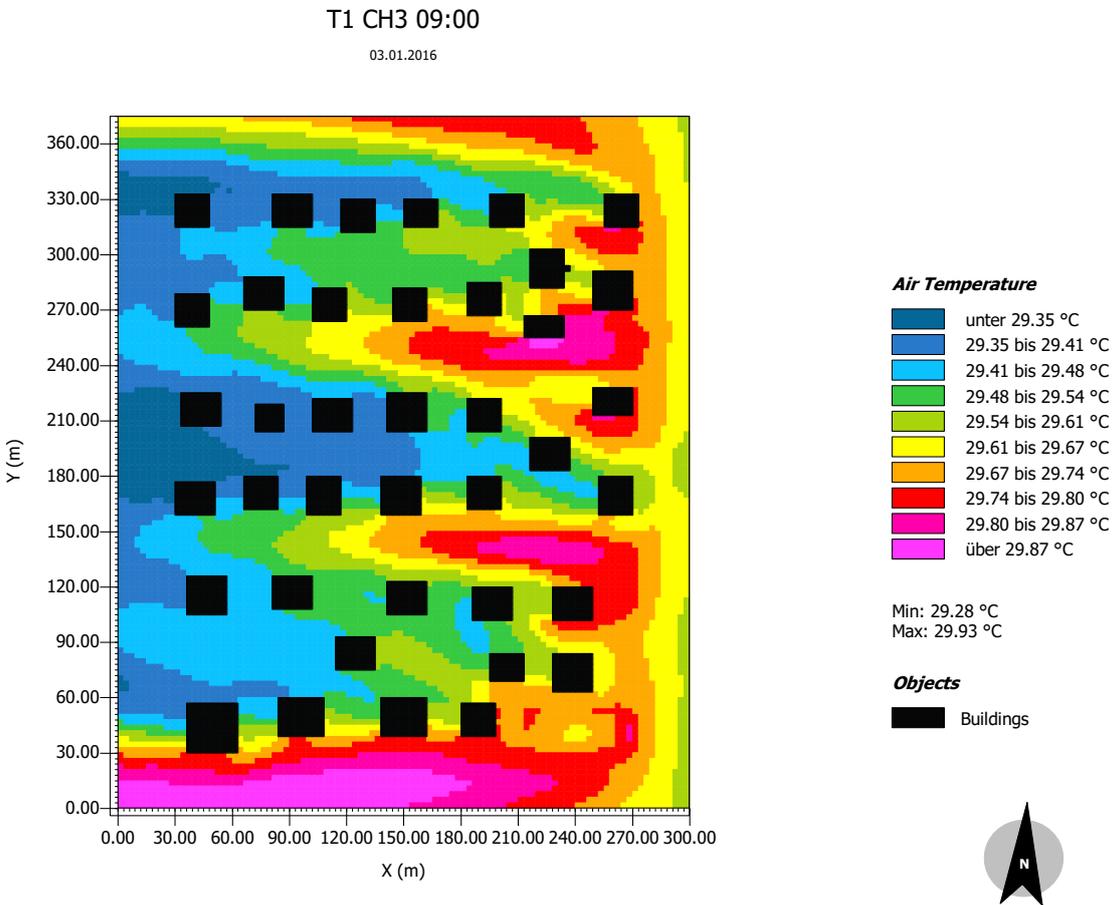


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 9:00h

T1 CH2



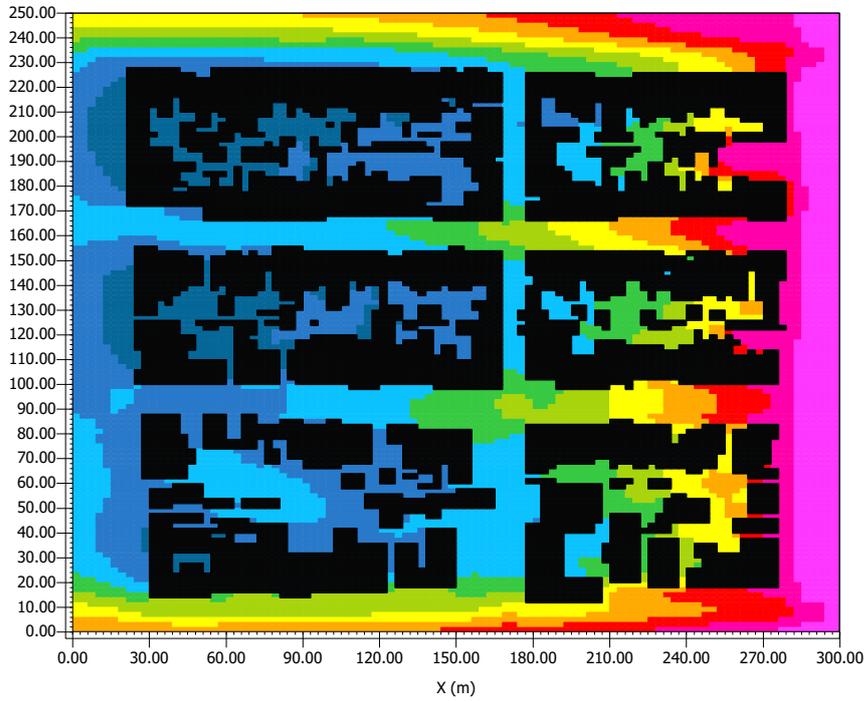
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00h

T1 ATUALI 12:00

03.01.2015



Air Temperature

- unter 34.82 °C
- 34.82 bis 35.16 °C
- 35.16 bis 35.49 °C
- 35.49 bis 35.83 °C
- 35.83 bis 36.17 °C
- 36.17 bis 36.50 °C
- 36.50 bis 36.84 °C
- 36.84 bis 37.18 °C
- 37.18 bis 37.52 °C
- über 37.52 °C

Min: 34.48 °C
Max: 37.85 °C

Objects

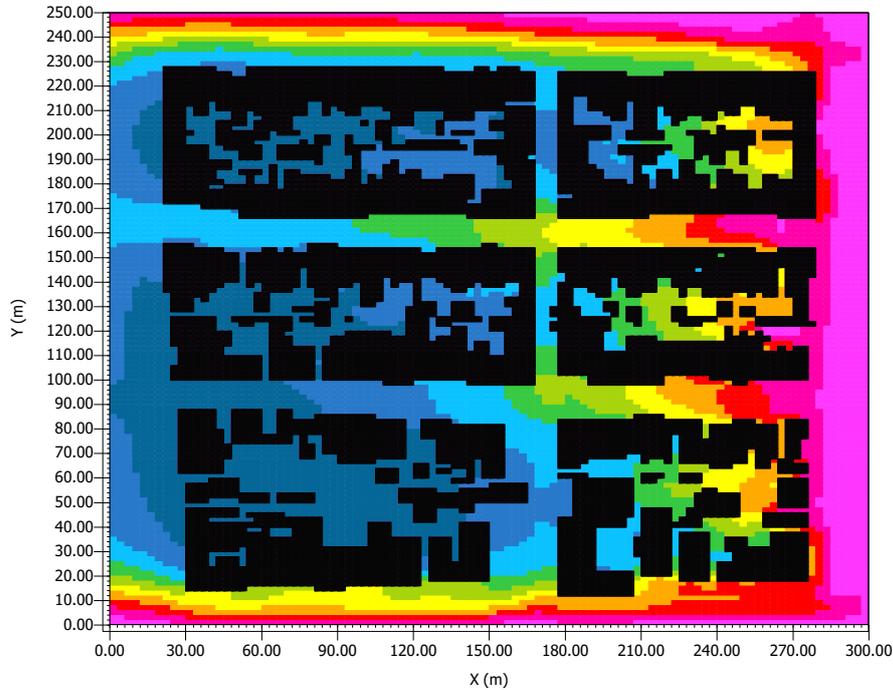
- Buildings



T1 CH1

T1 CH1 12:00

03.01.2015



Air Temperature

- unter 32.62 °C
- 32.62 bis 32.87 °C
- 32.87 bis 33.12 °C
- 33.12 bis 33.37 °C
- 33.37 bis 33.62 °C
- 33.62 bis 33.87 °C
- 33.87 bis 34.12 °C
- 34.12 bis 34.36 °C
- 34.36 bis 34.61 °C
- über 34.61 °C

Min: 32.37 °C
Max: 34.86 °C

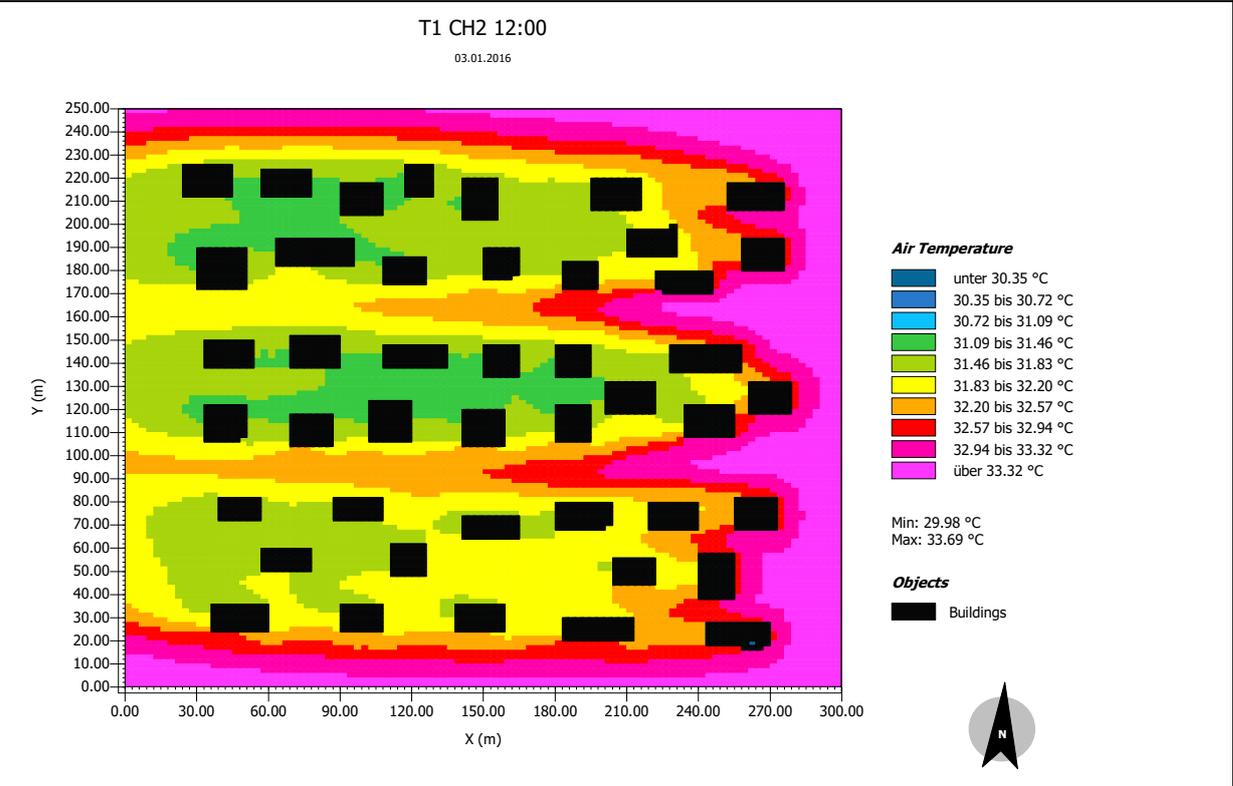
Objects

- Buildings

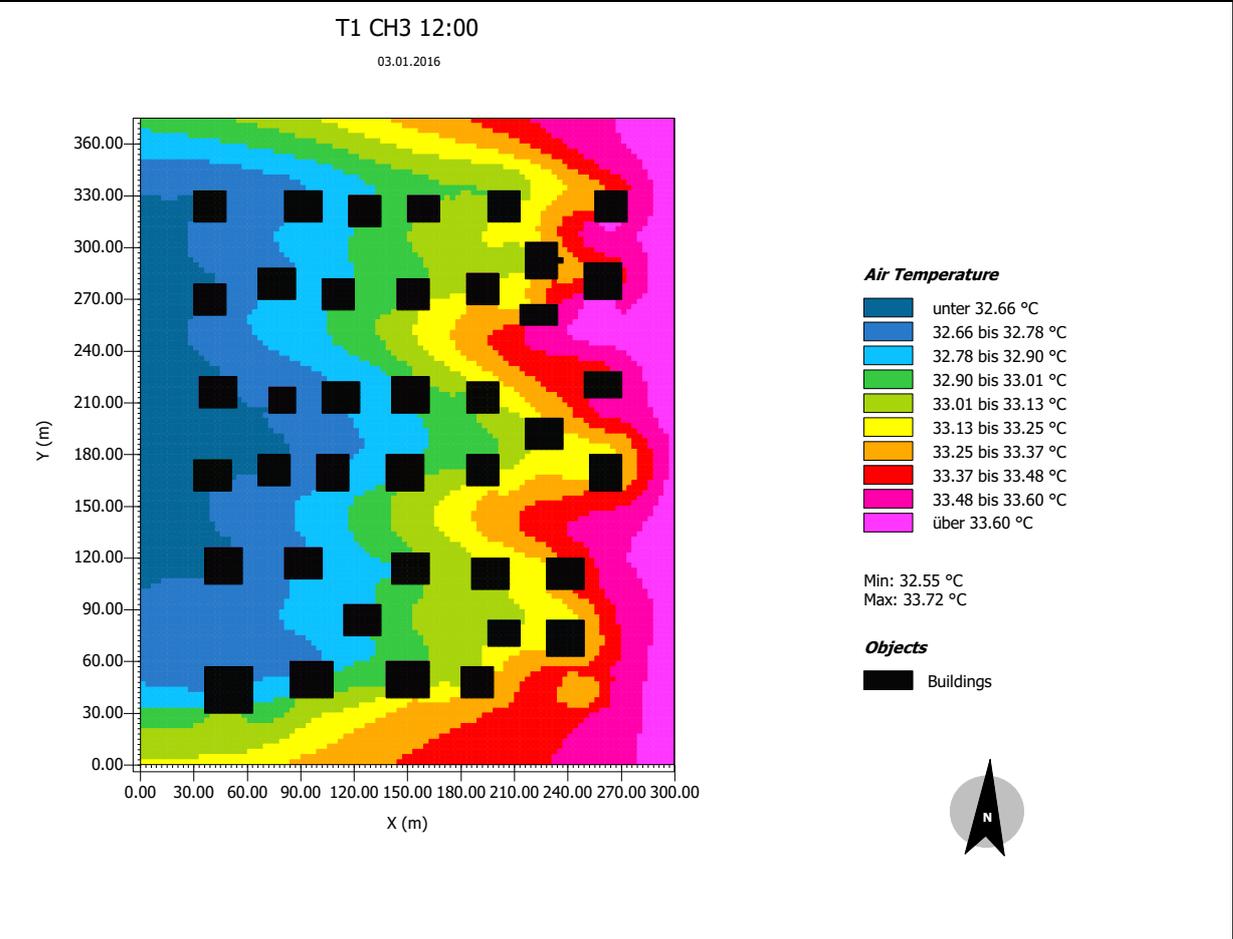


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

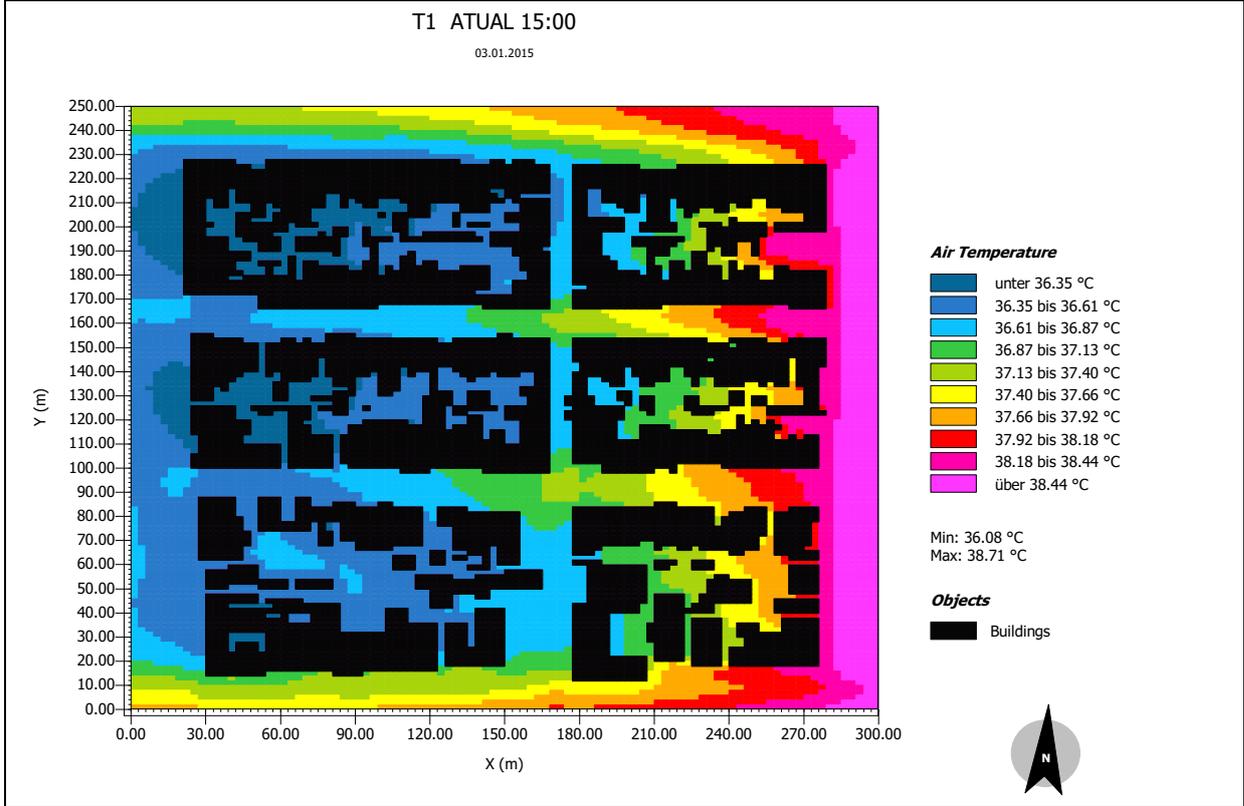
T1 CH2



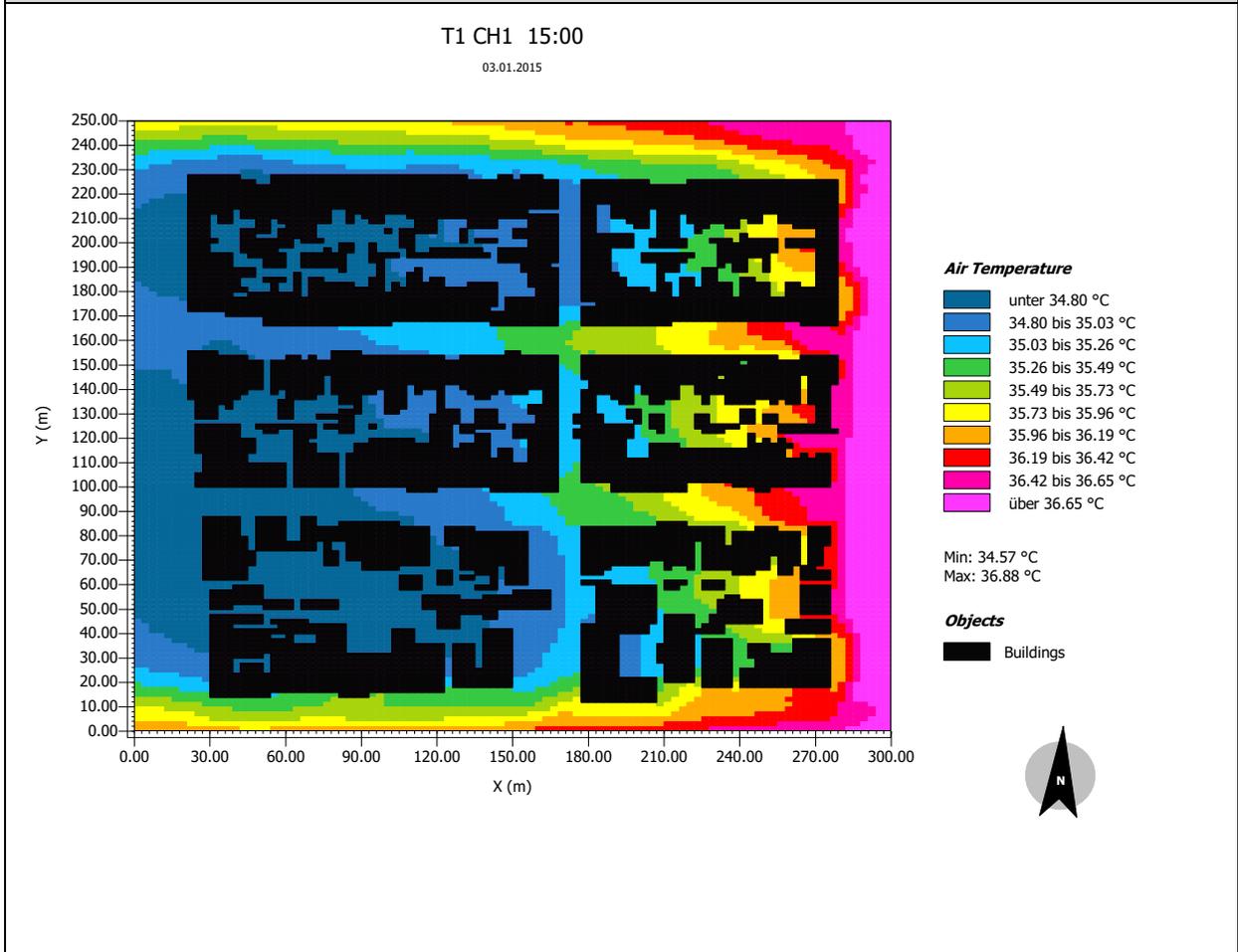
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00



T1 CH1

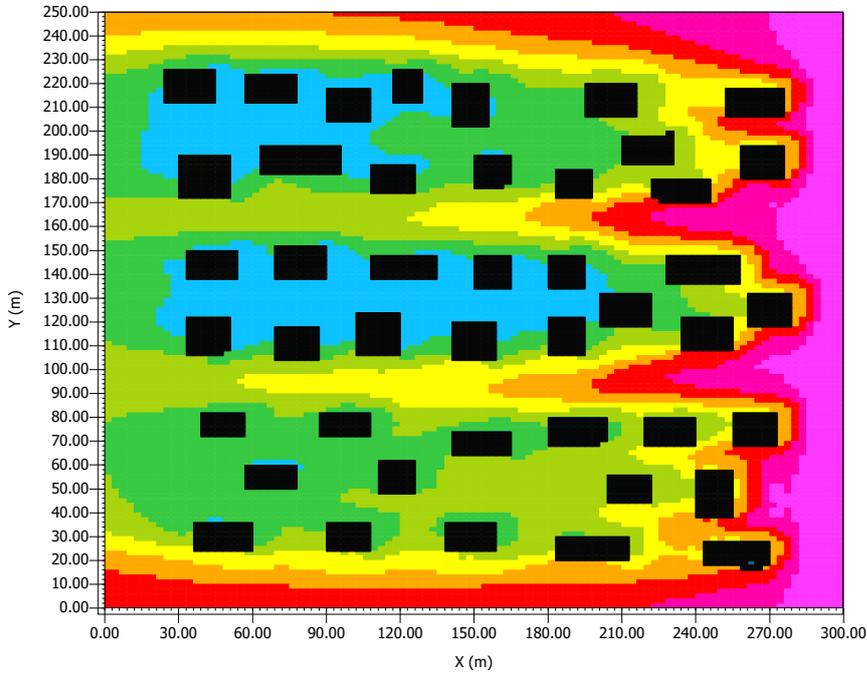


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

T1 CH2

T1 CH2 15:00

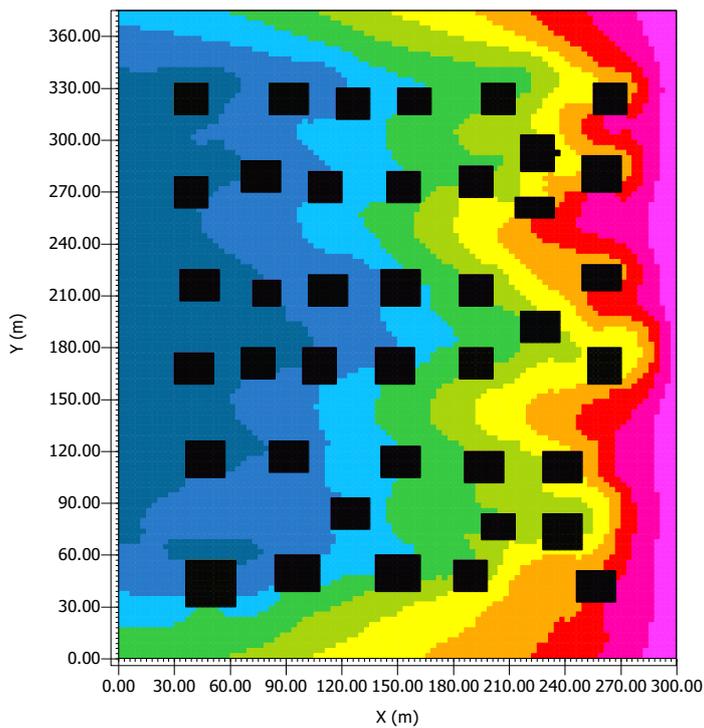
03.01.2016



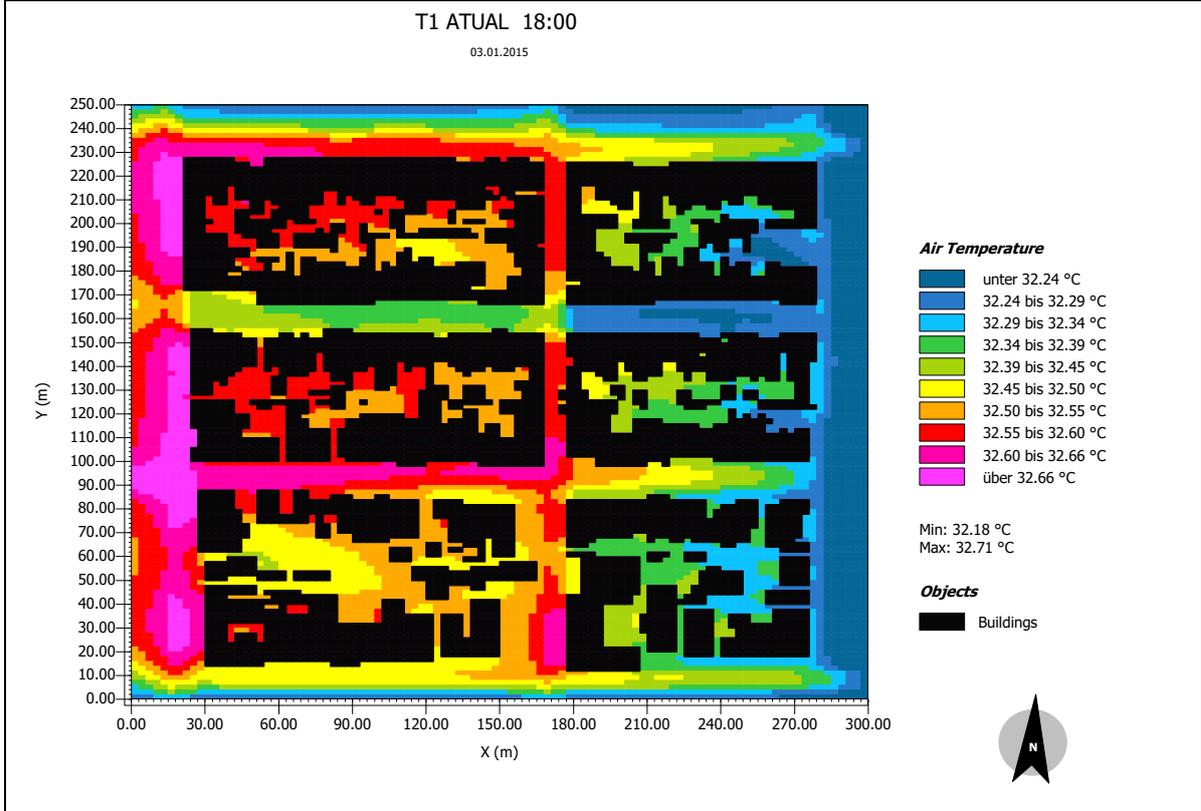
T1 CH3

T1 CH3 15:00

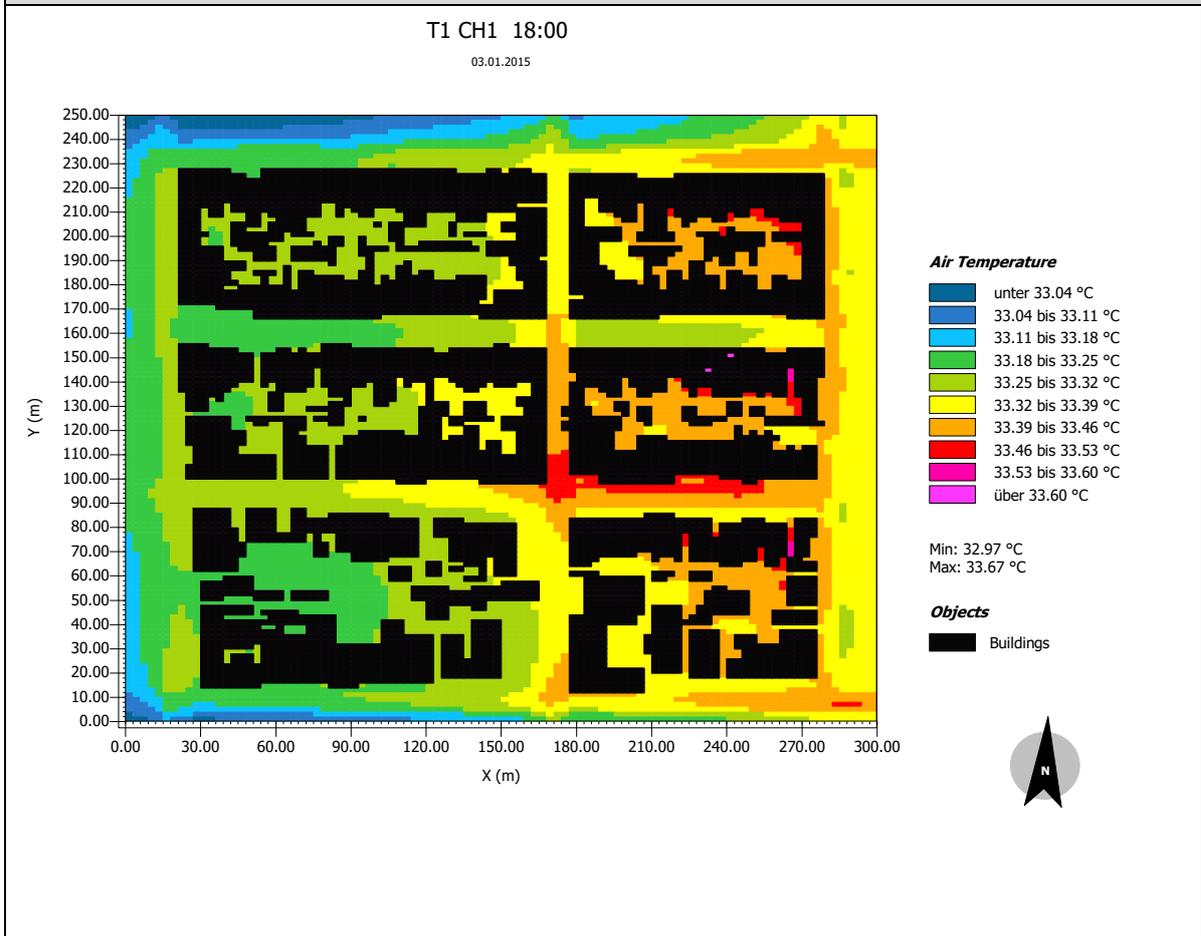
03.01.2016



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00

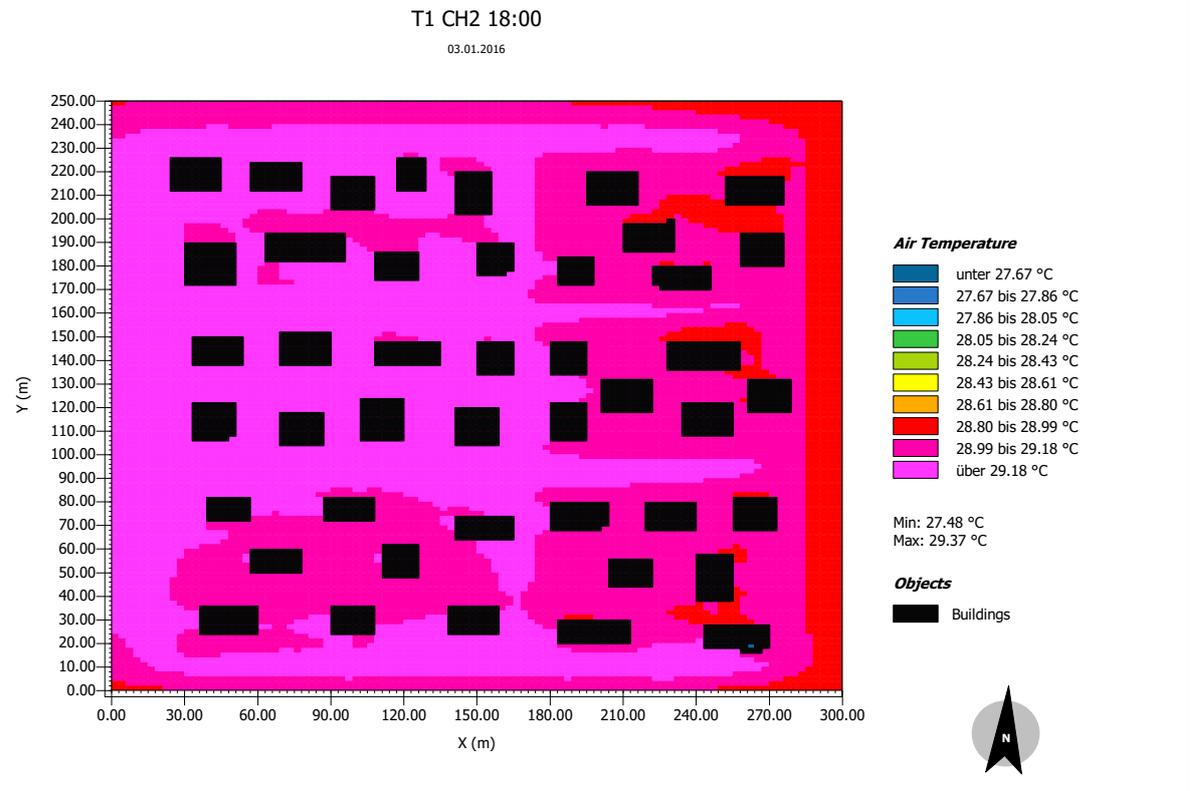


T1 CH1

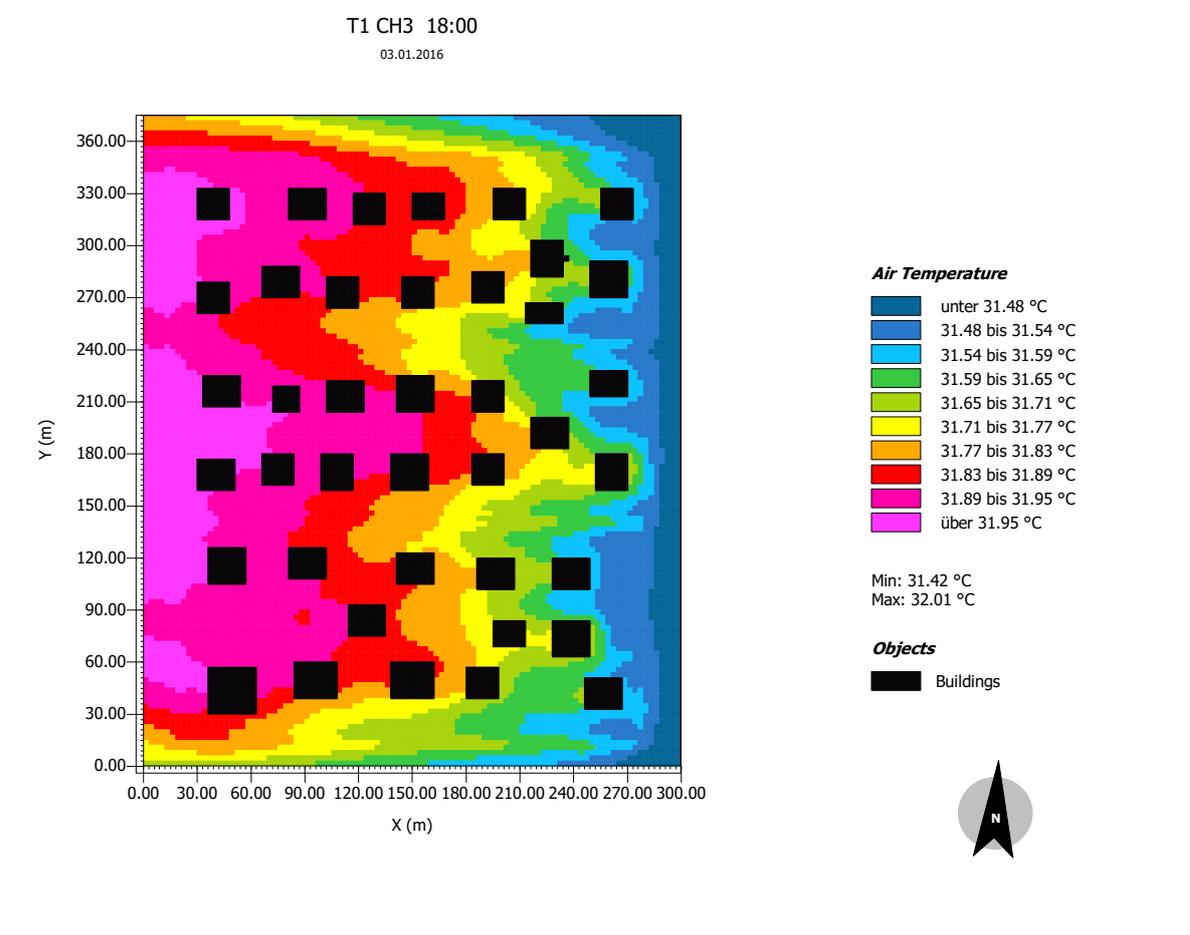


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00

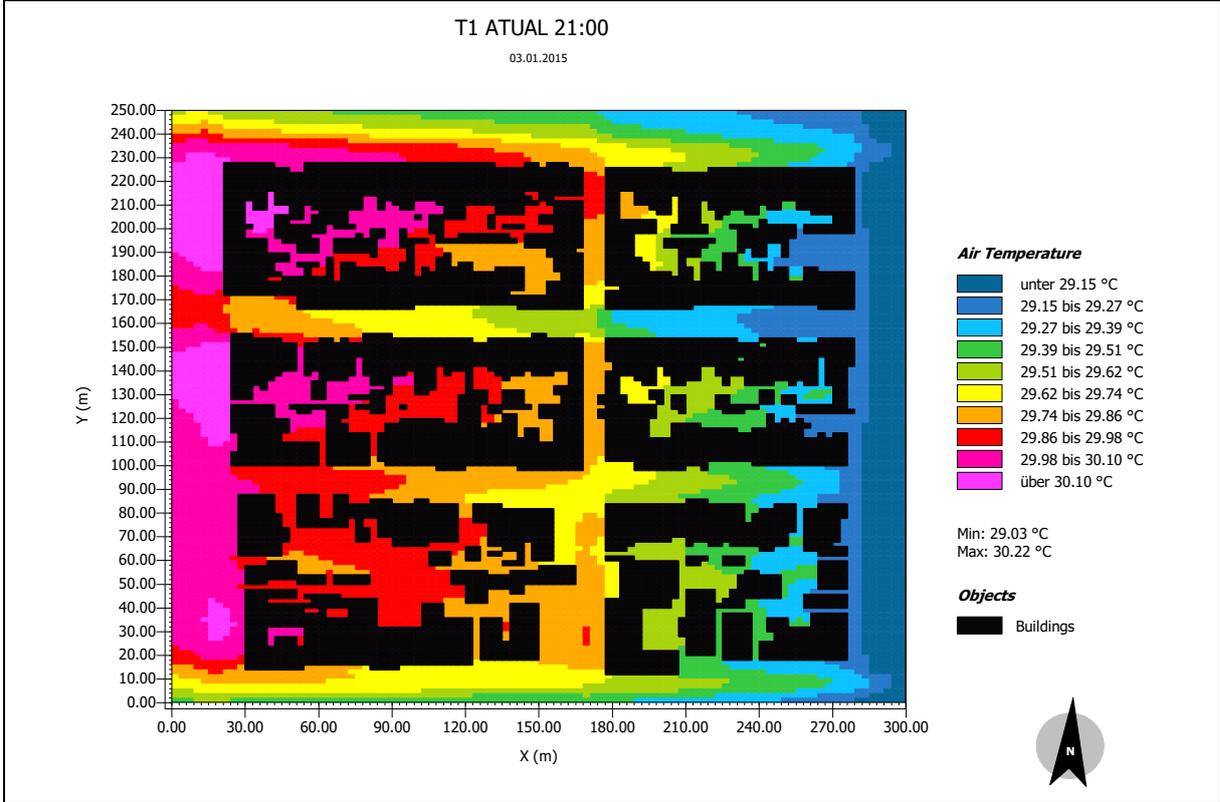
T1 CH2



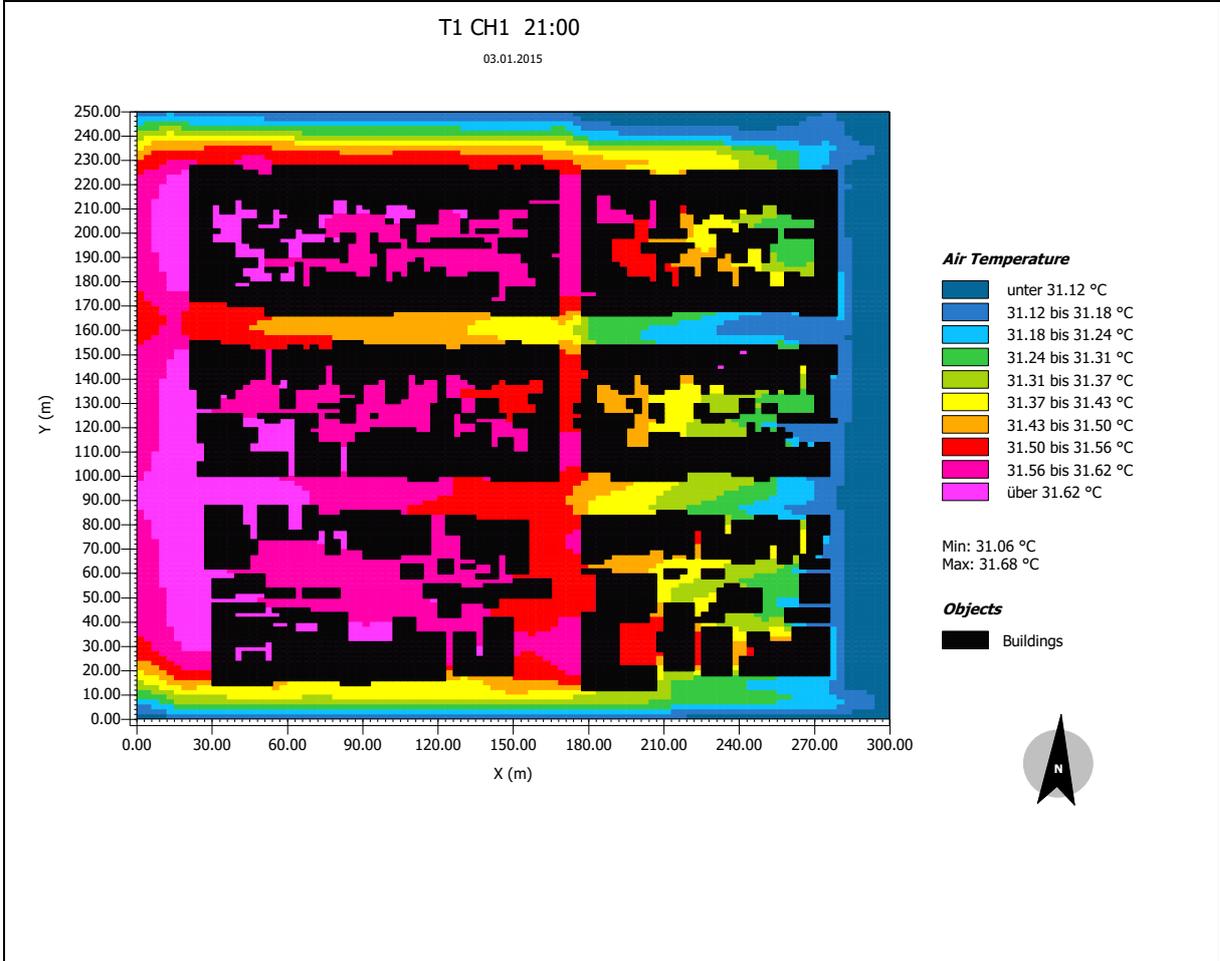
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

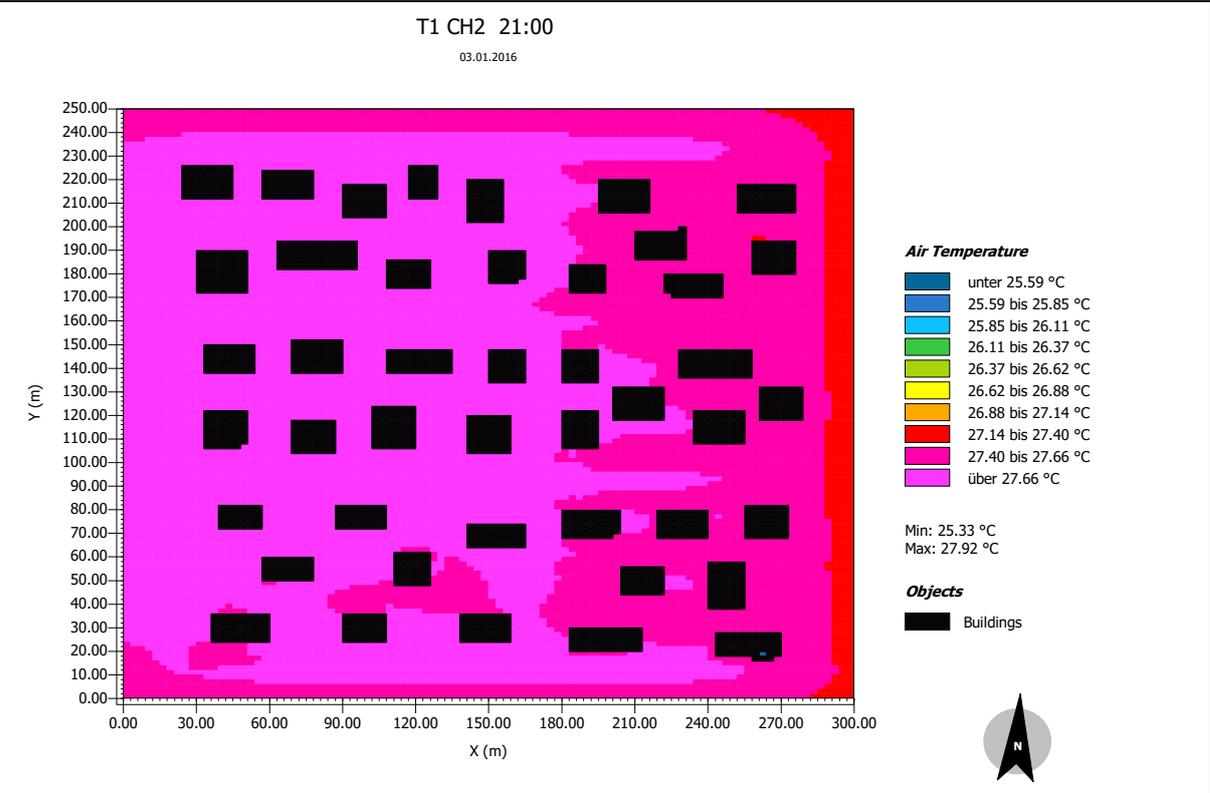


T1 CH1

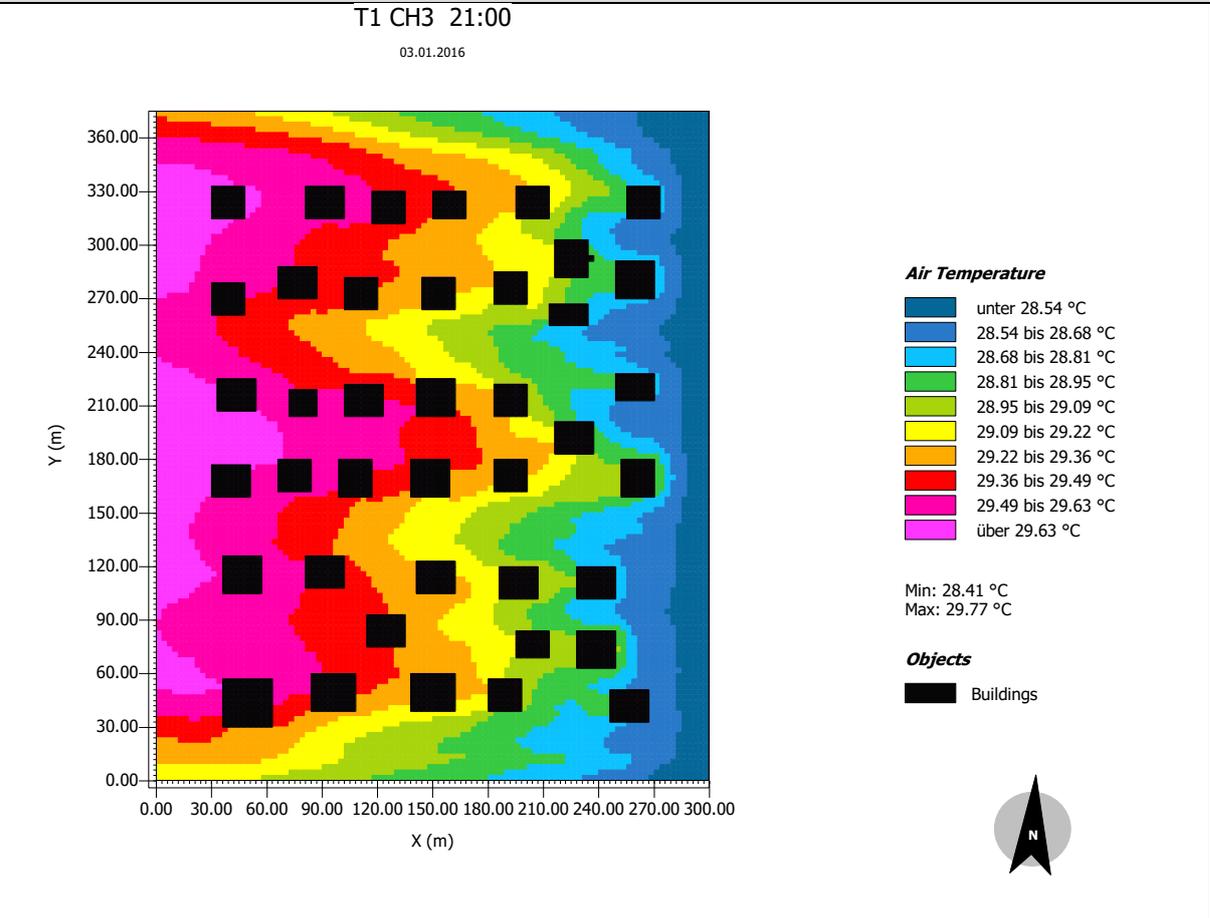


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

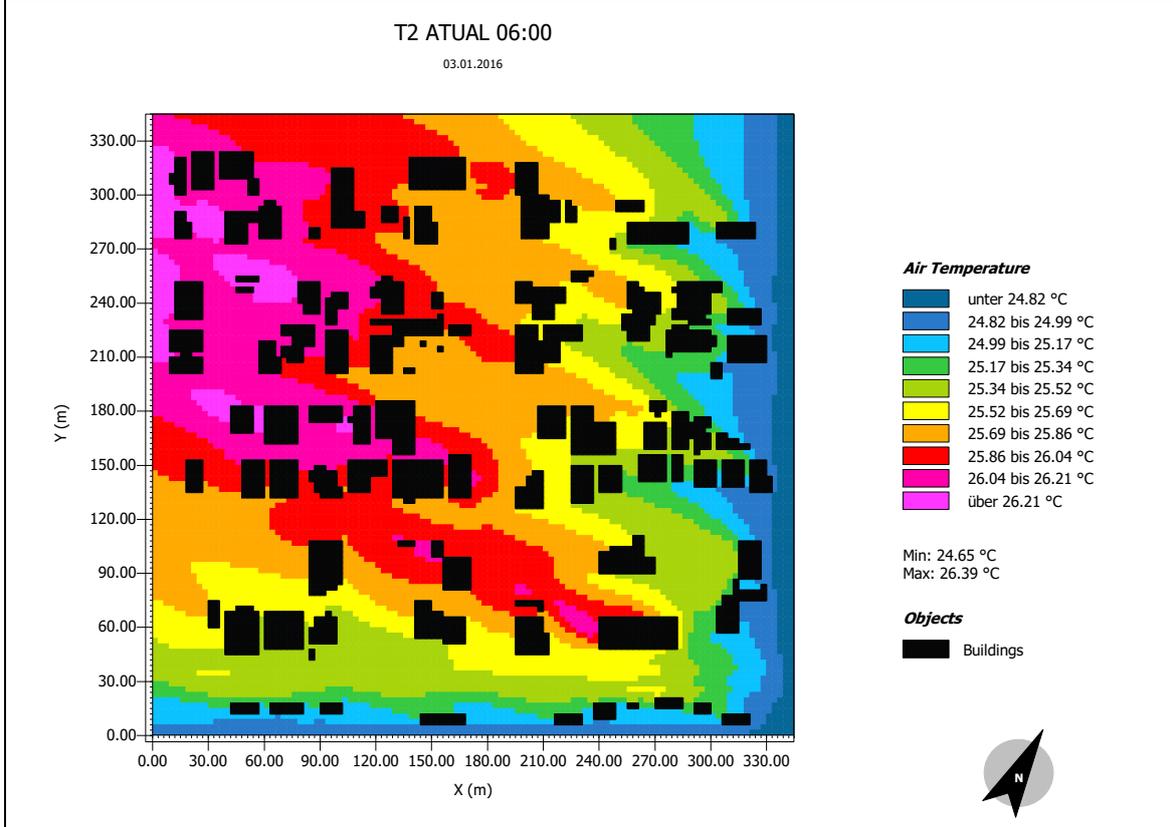
T1 CH2



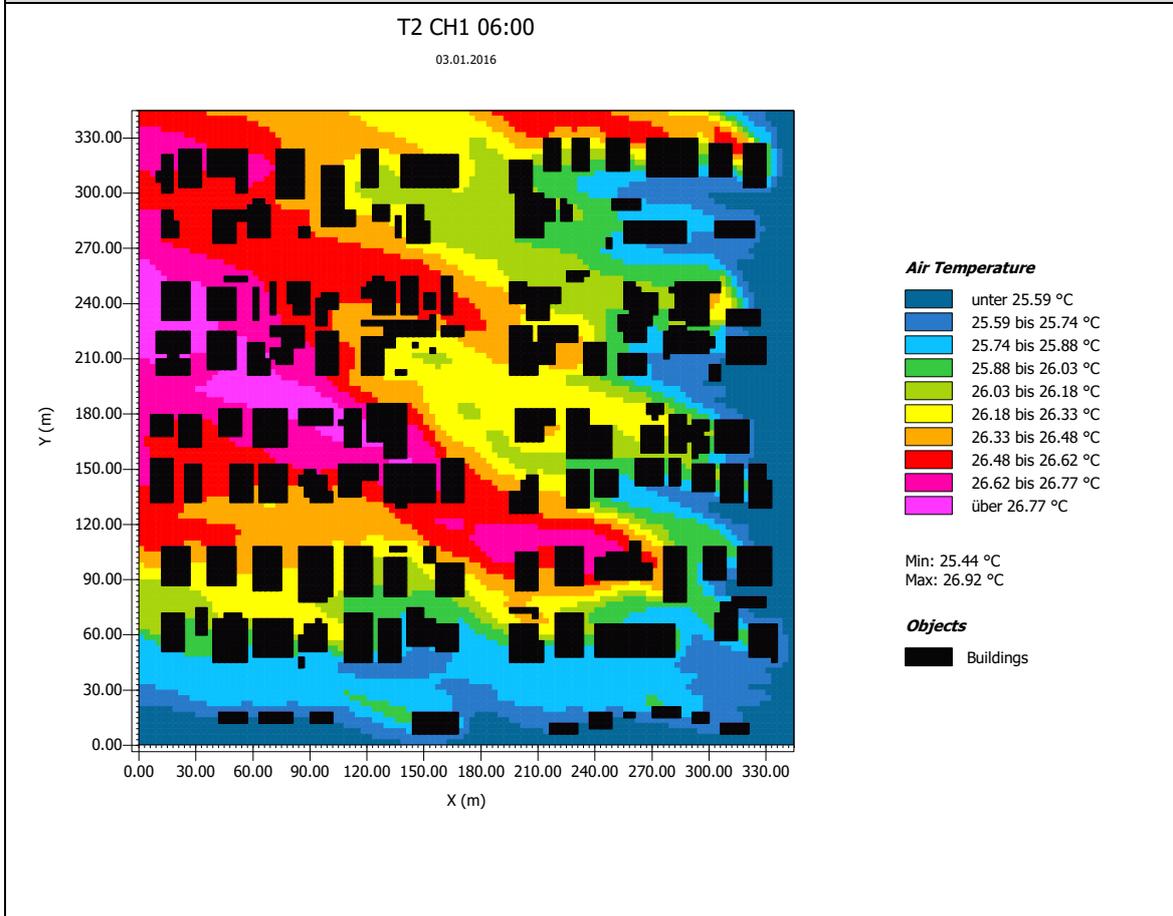
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 6:00

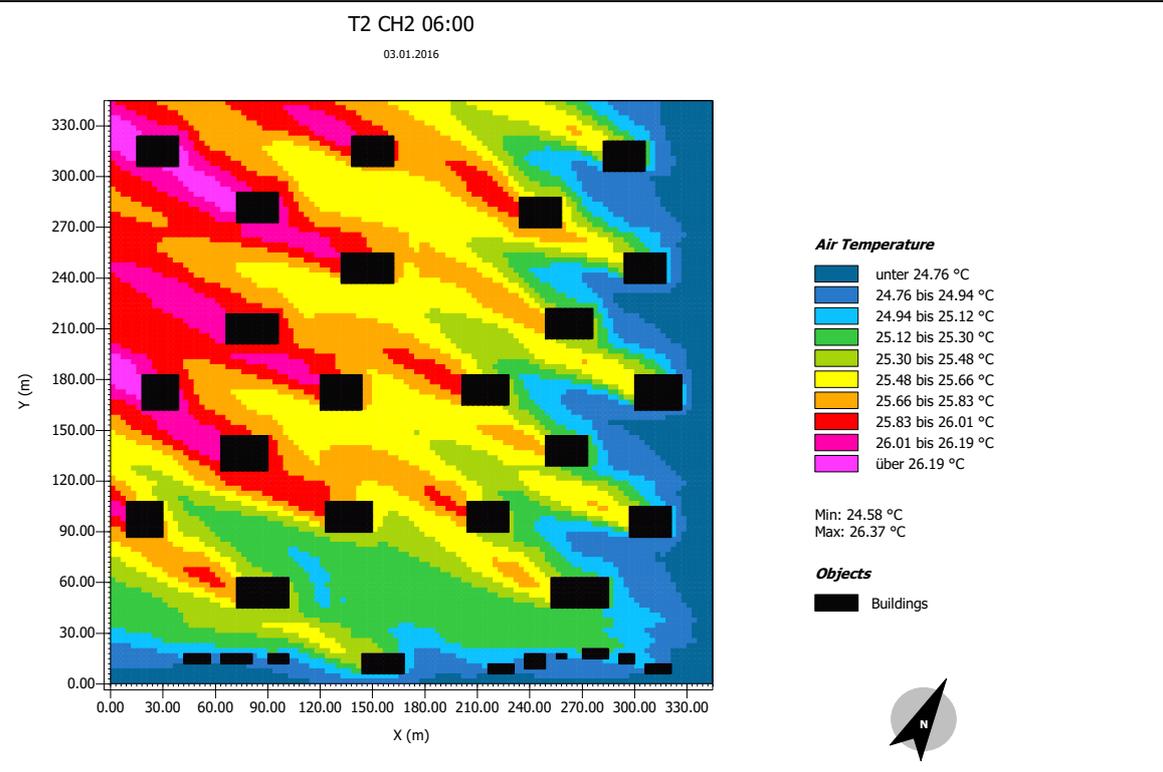


T2 CH1

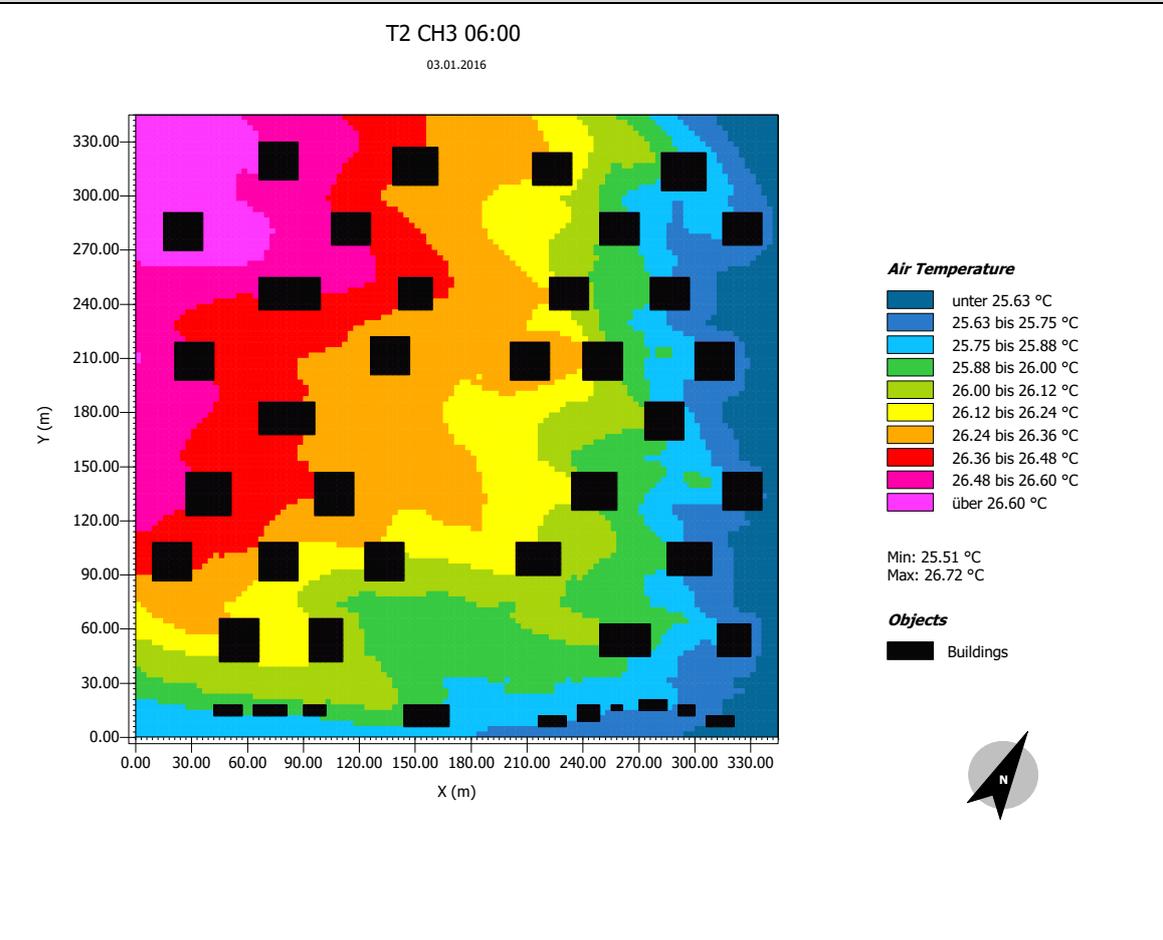


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 6:00

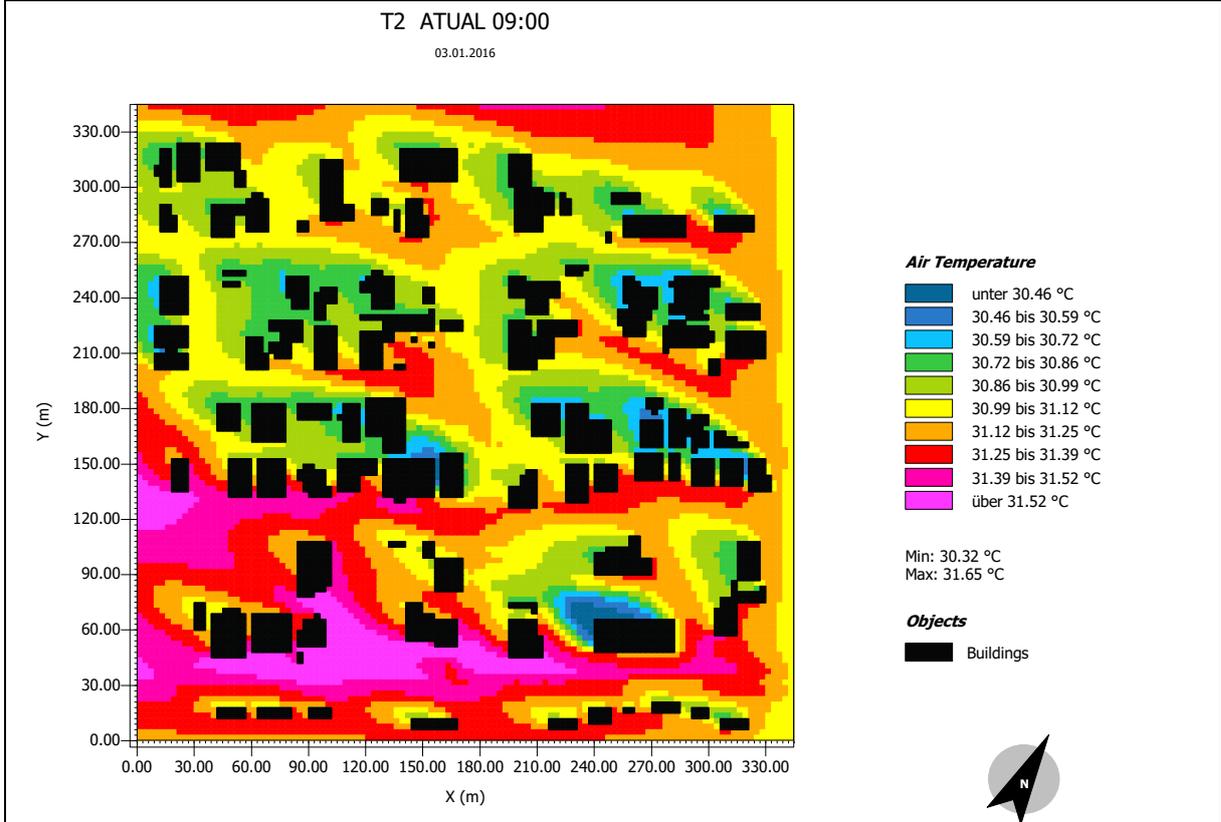
T2 CH2



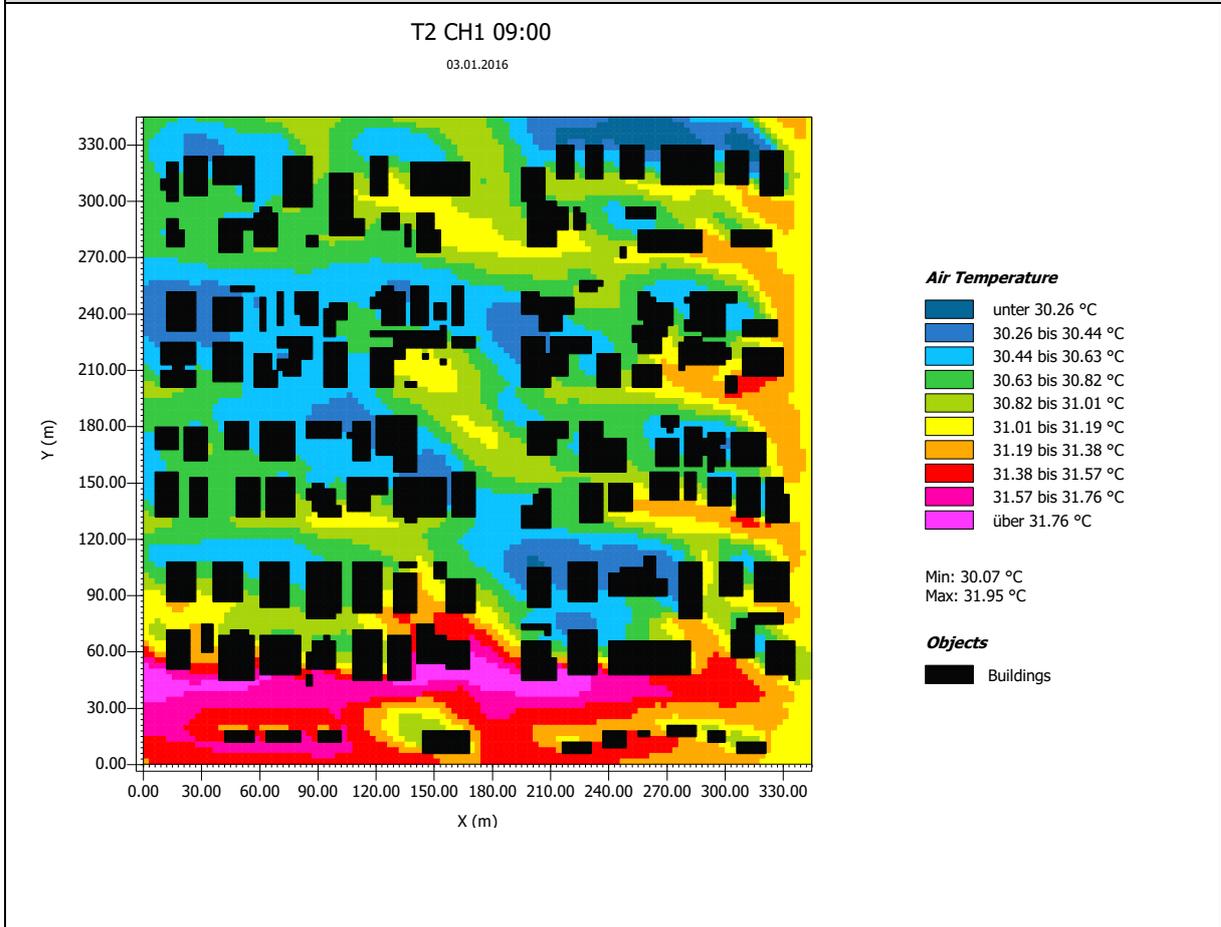
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 9:00

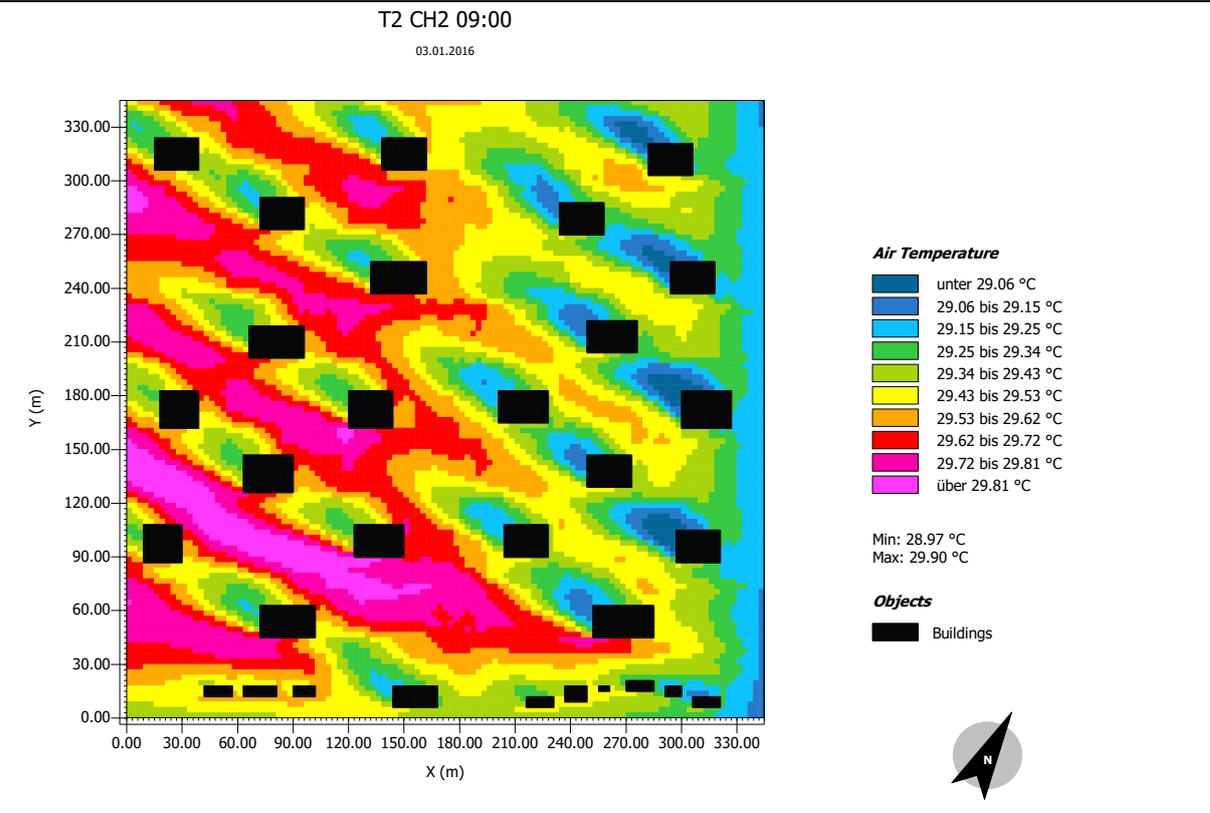


T2 CH1

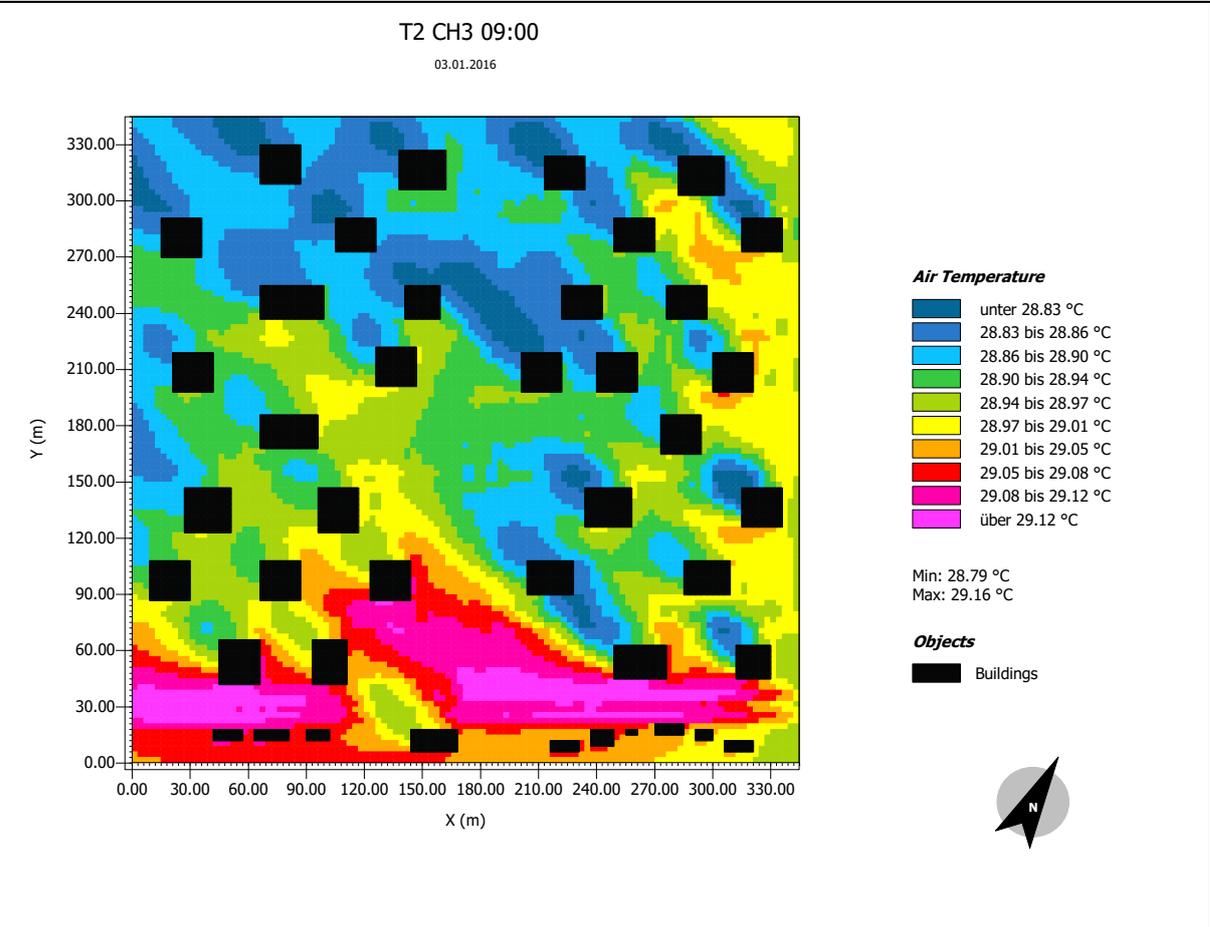


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 9:00

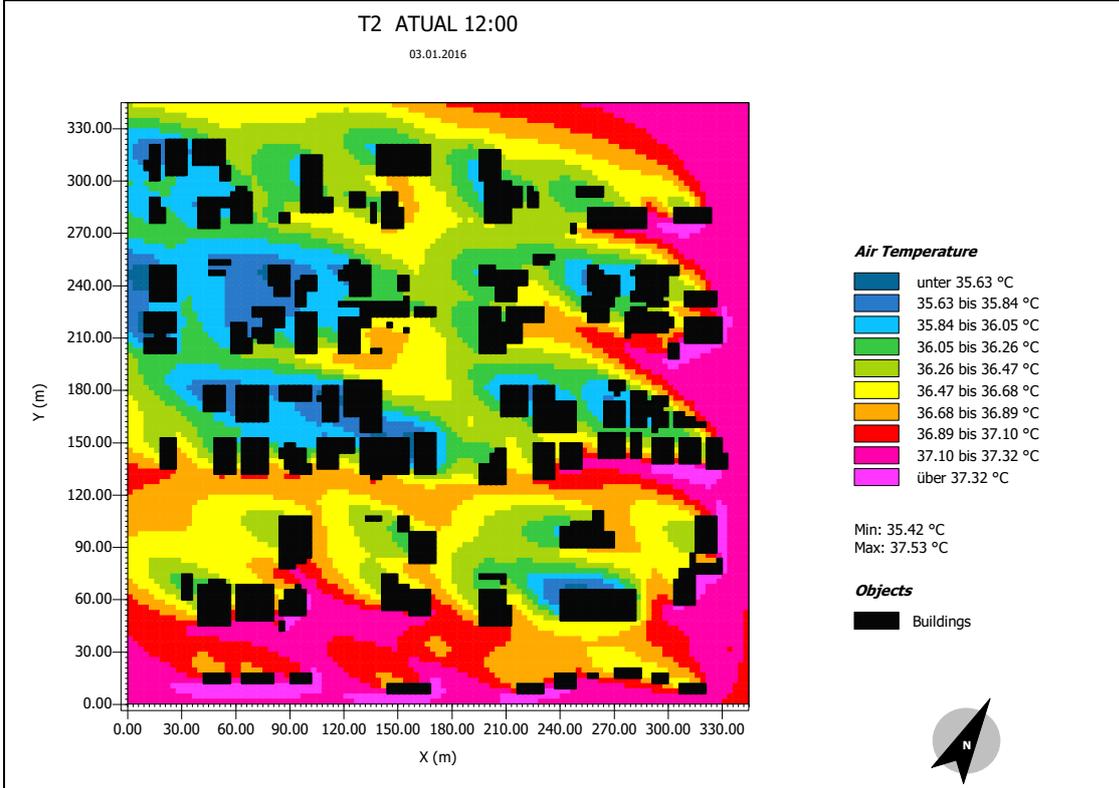
T2CH2



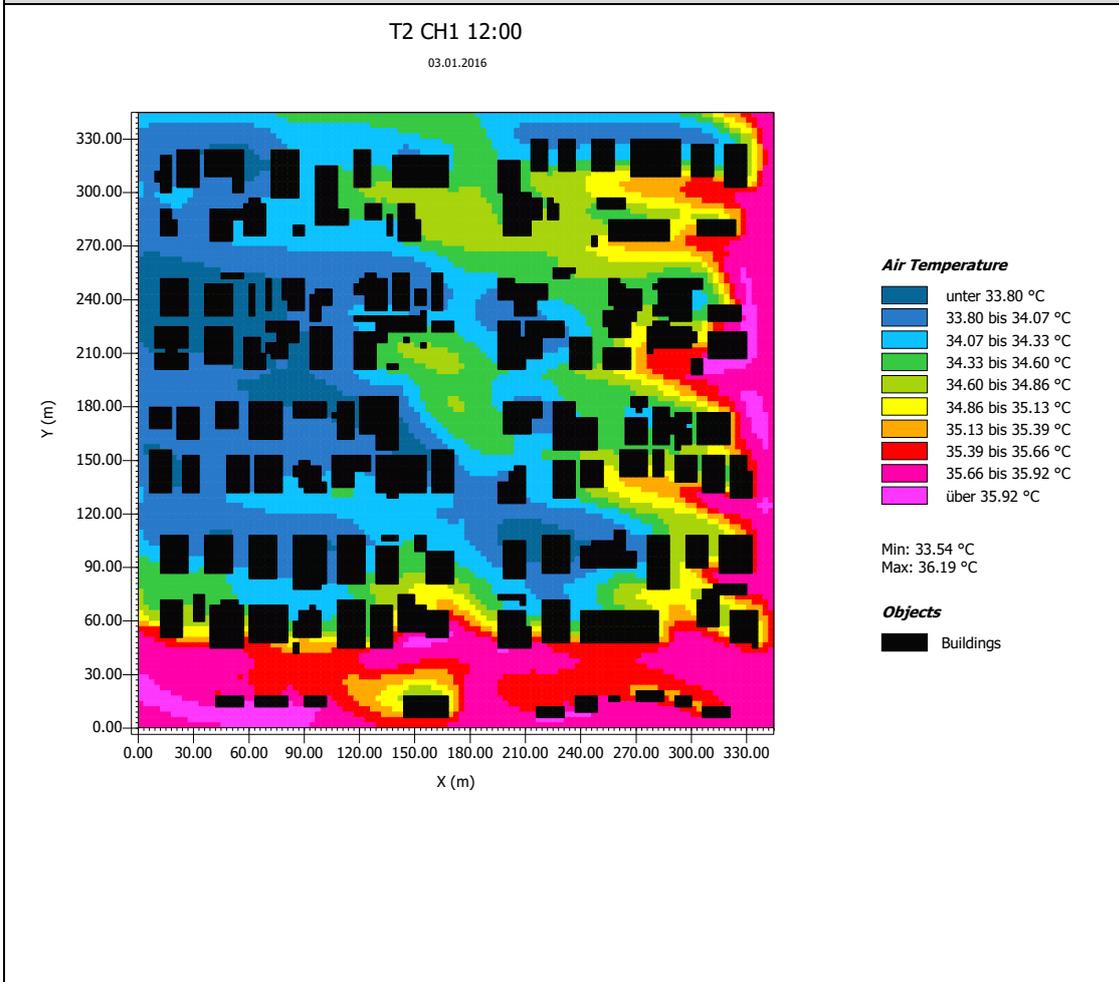
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

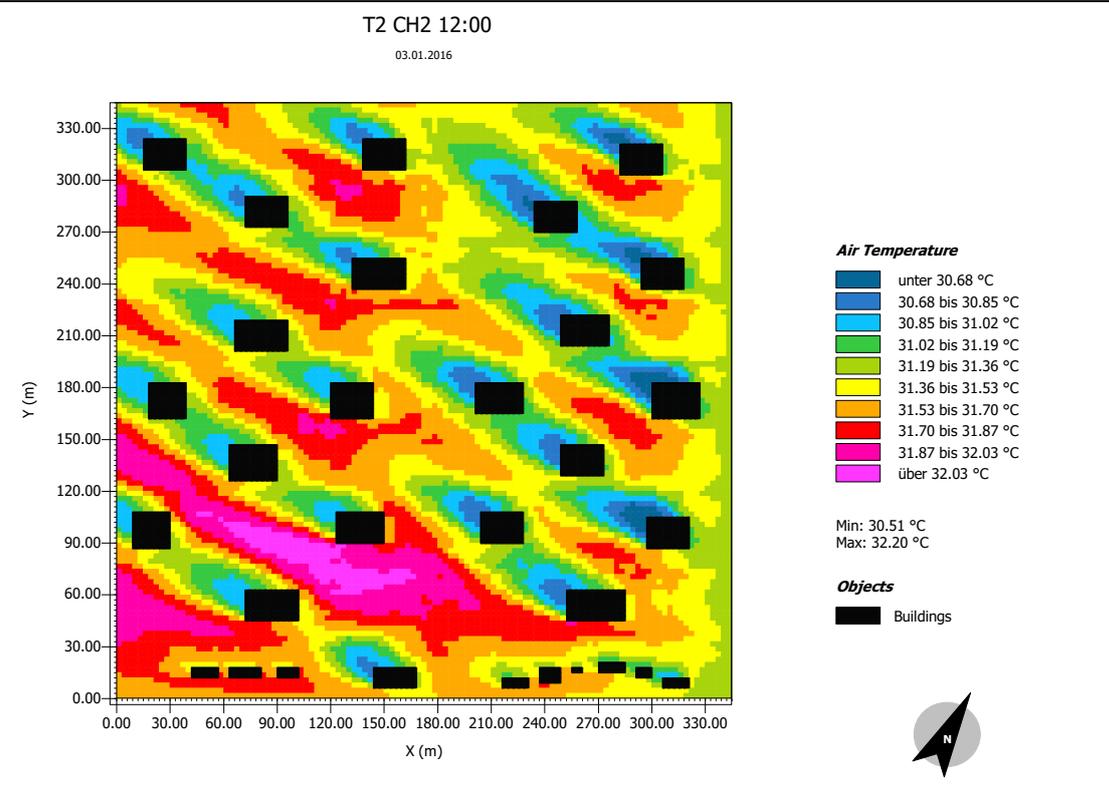


T2 CH1

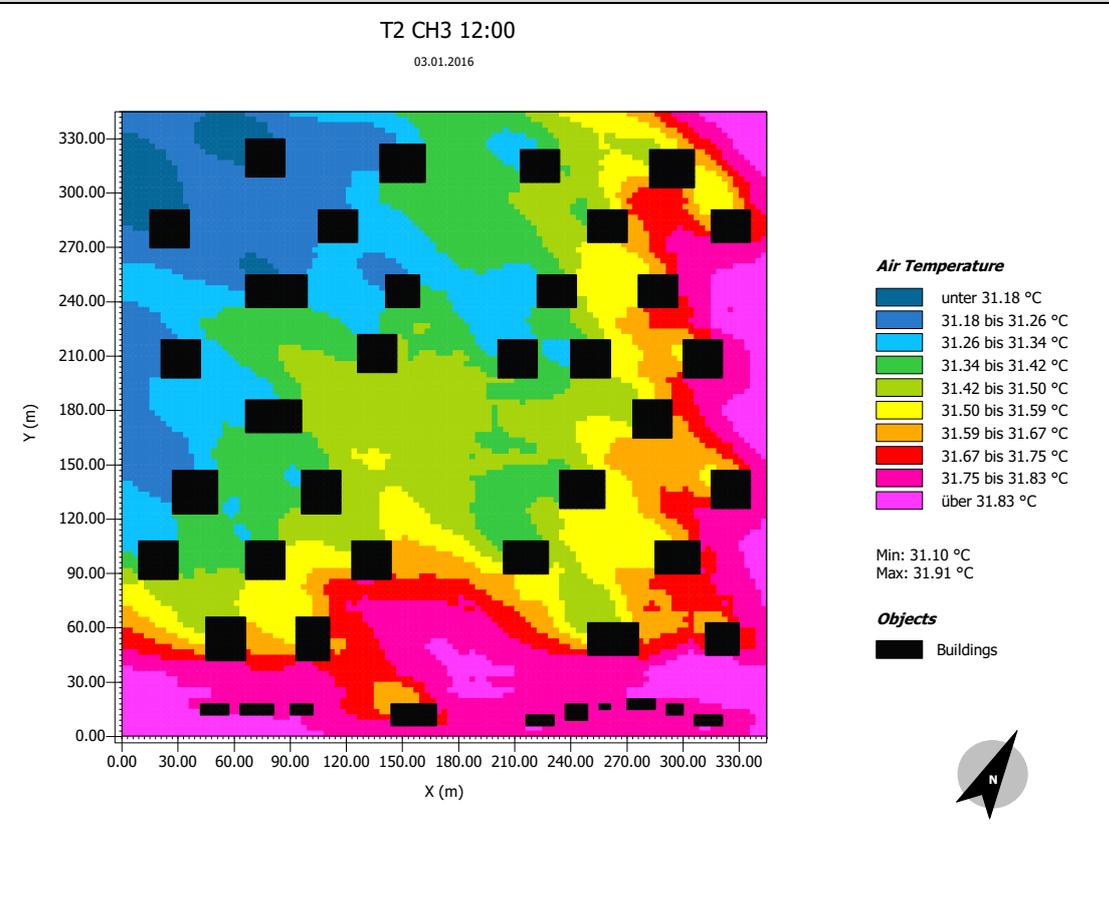


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

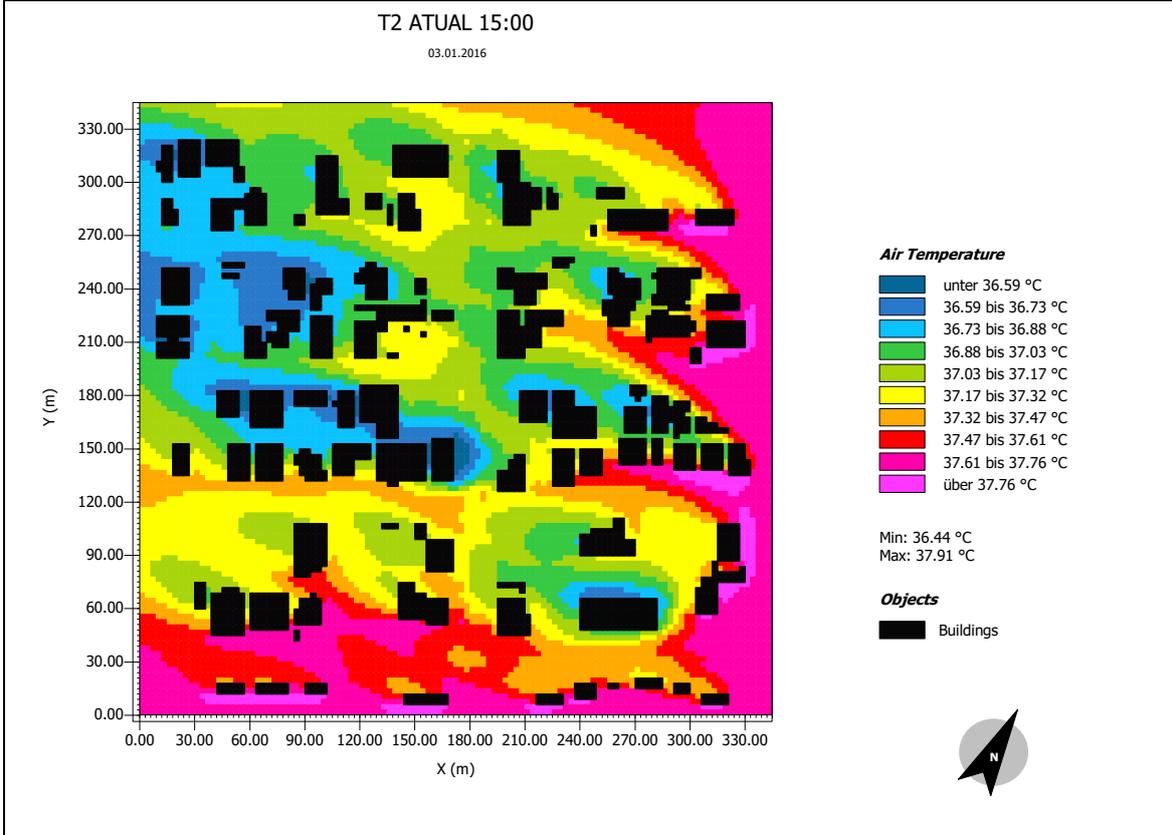
T2 CH2



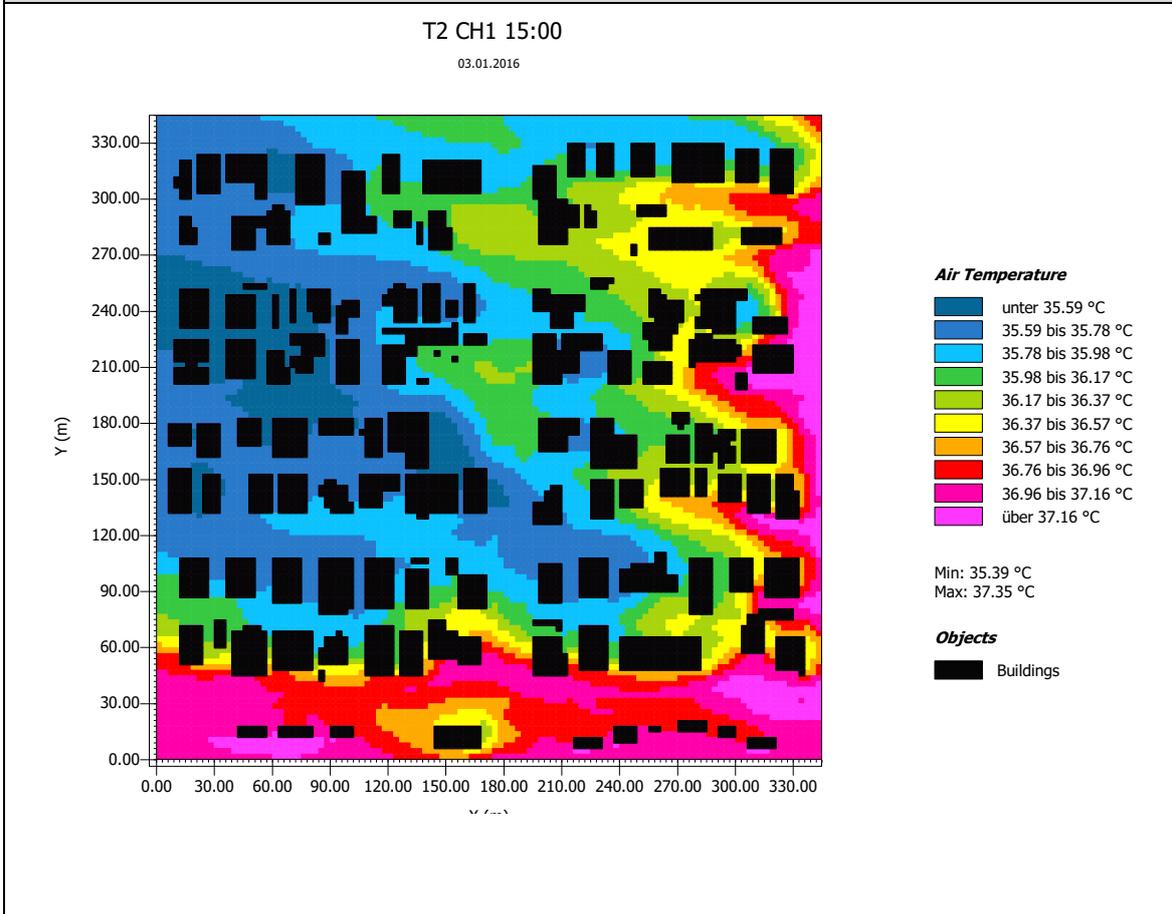
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00

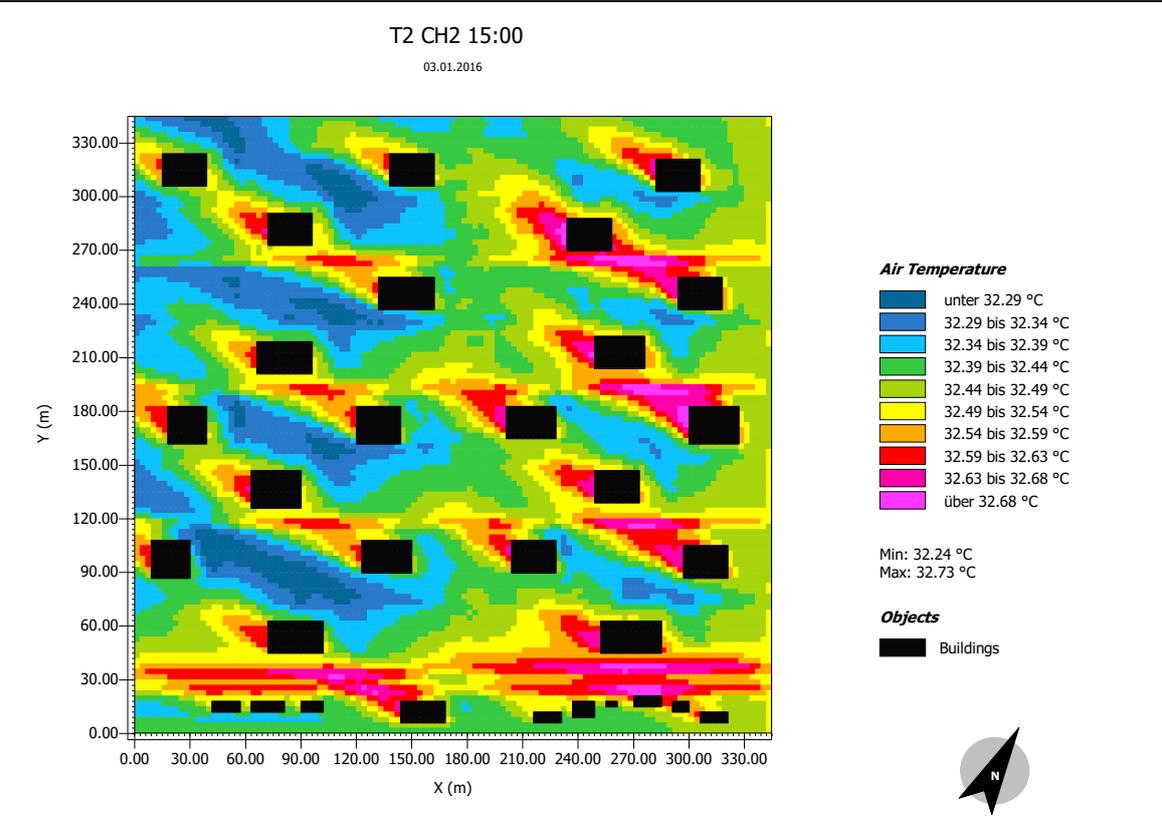


T2 CH1

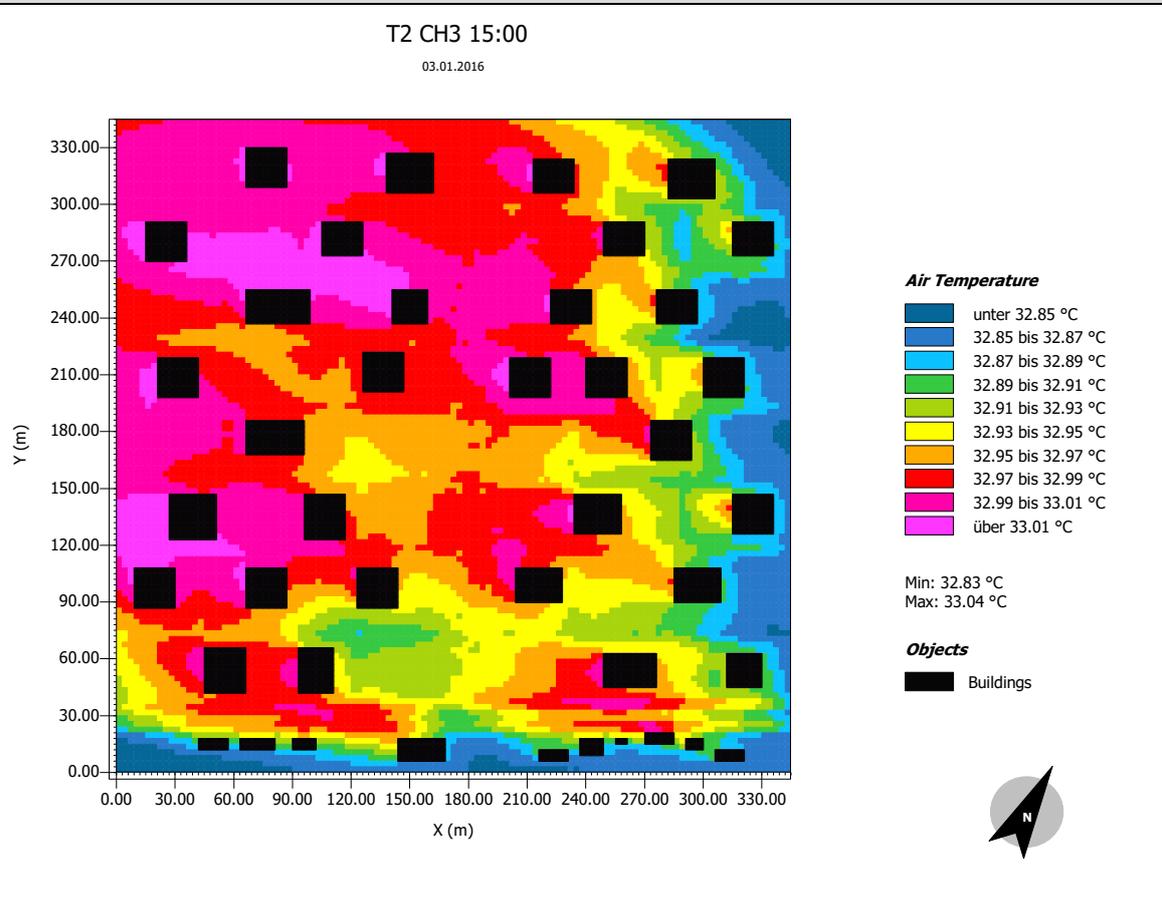


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00

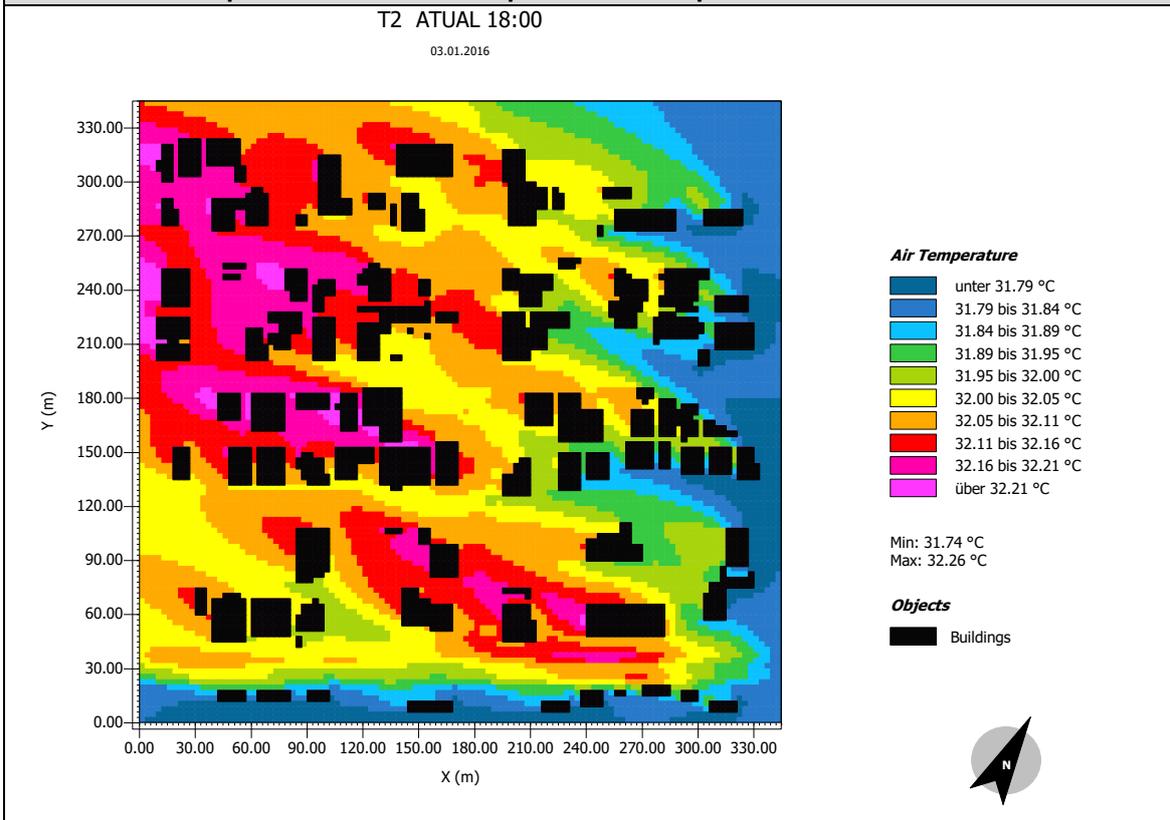
T2 CH2



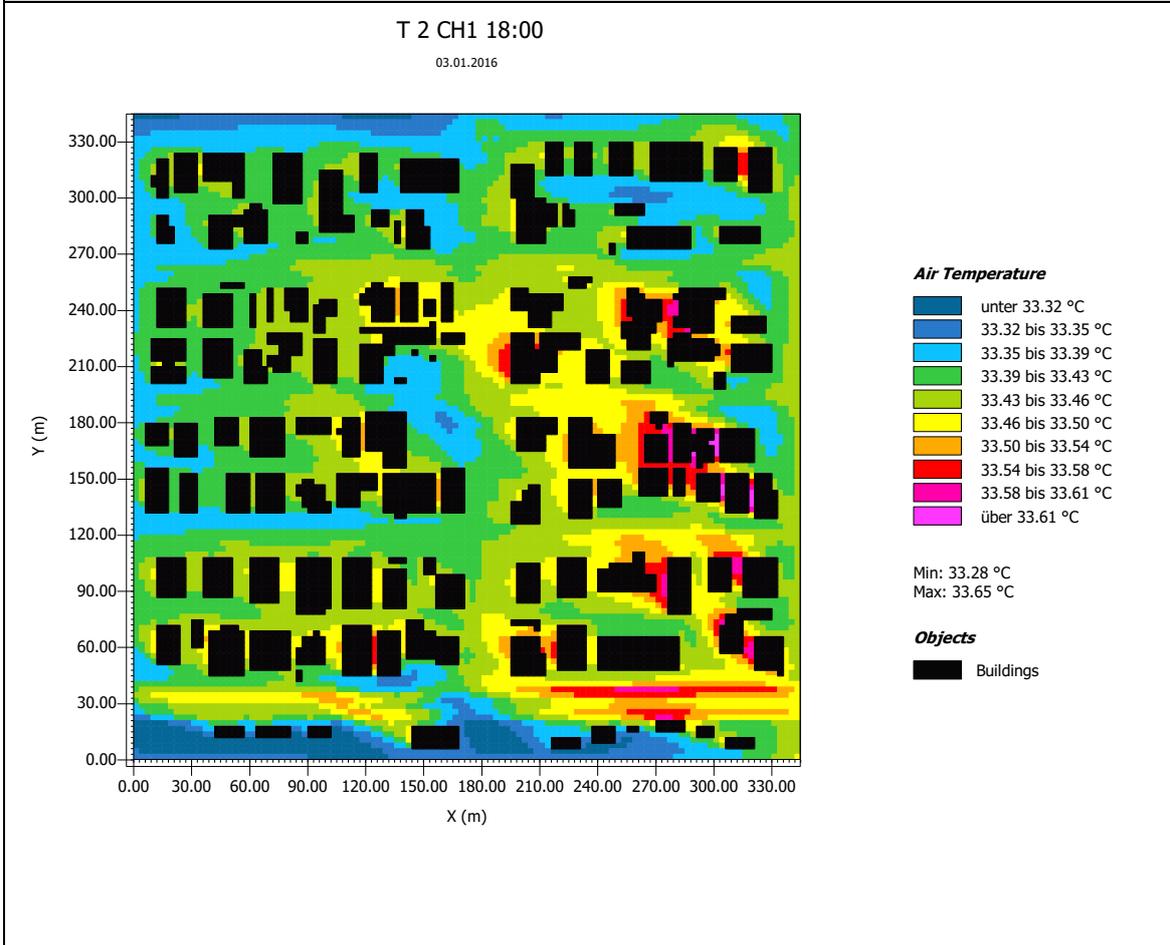
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00

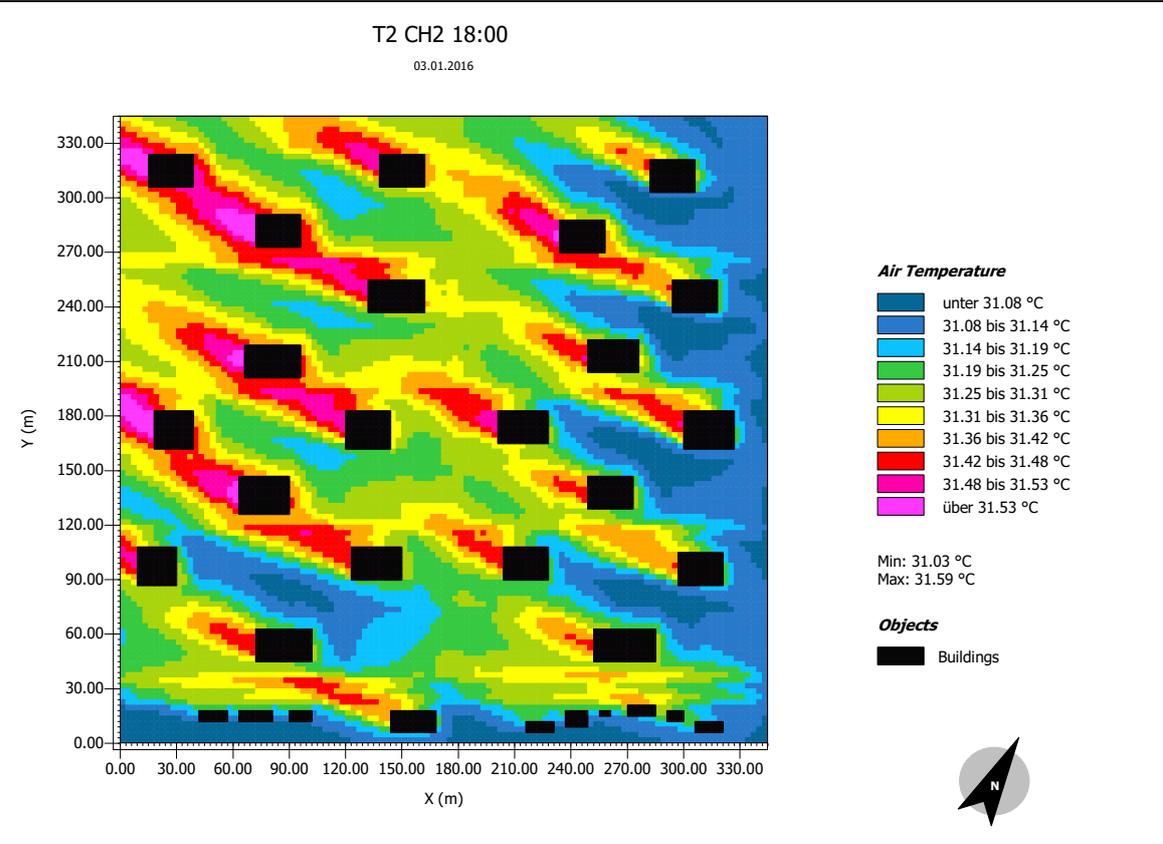


T2 CH1

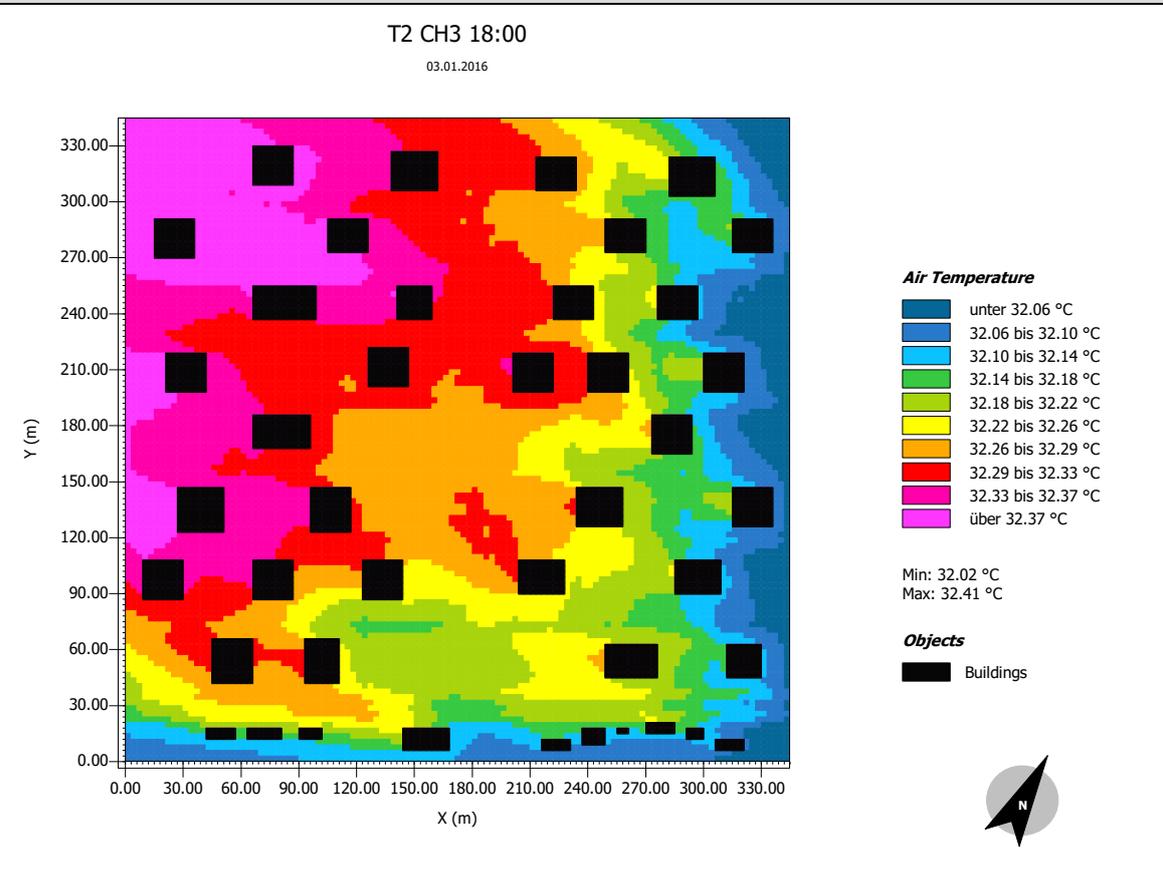


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00

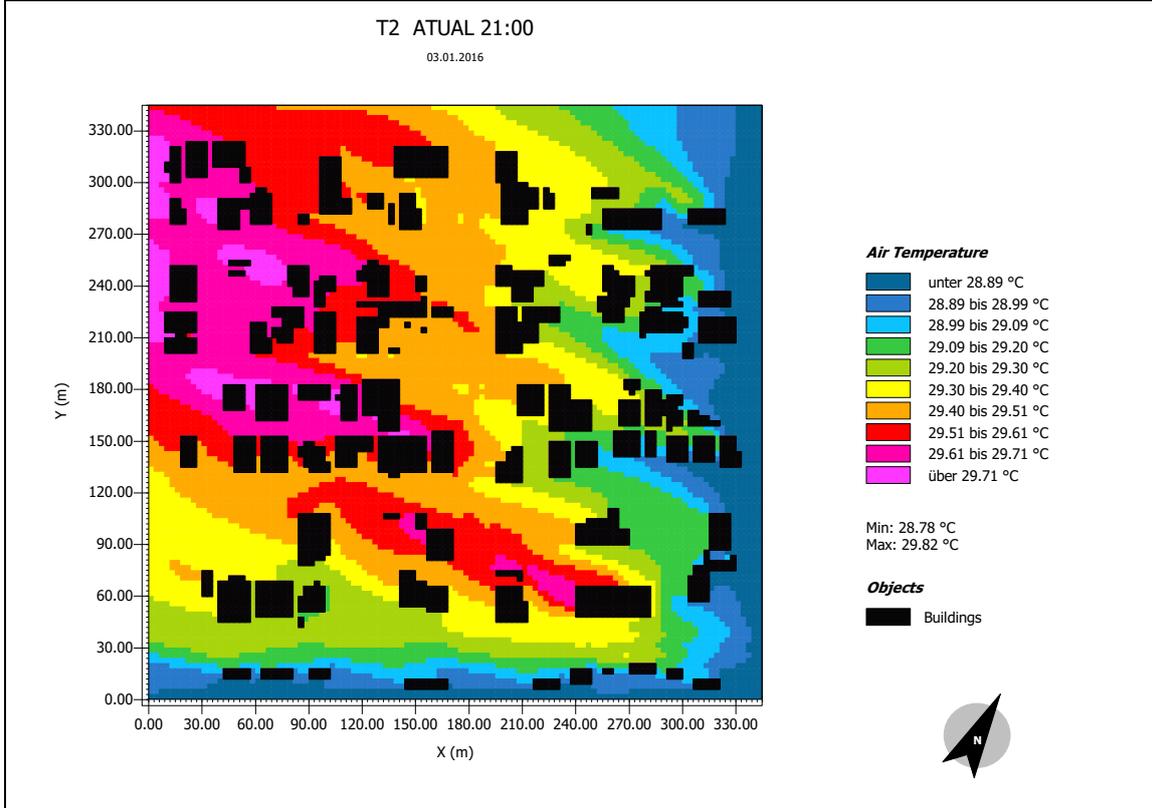
T2 CH2



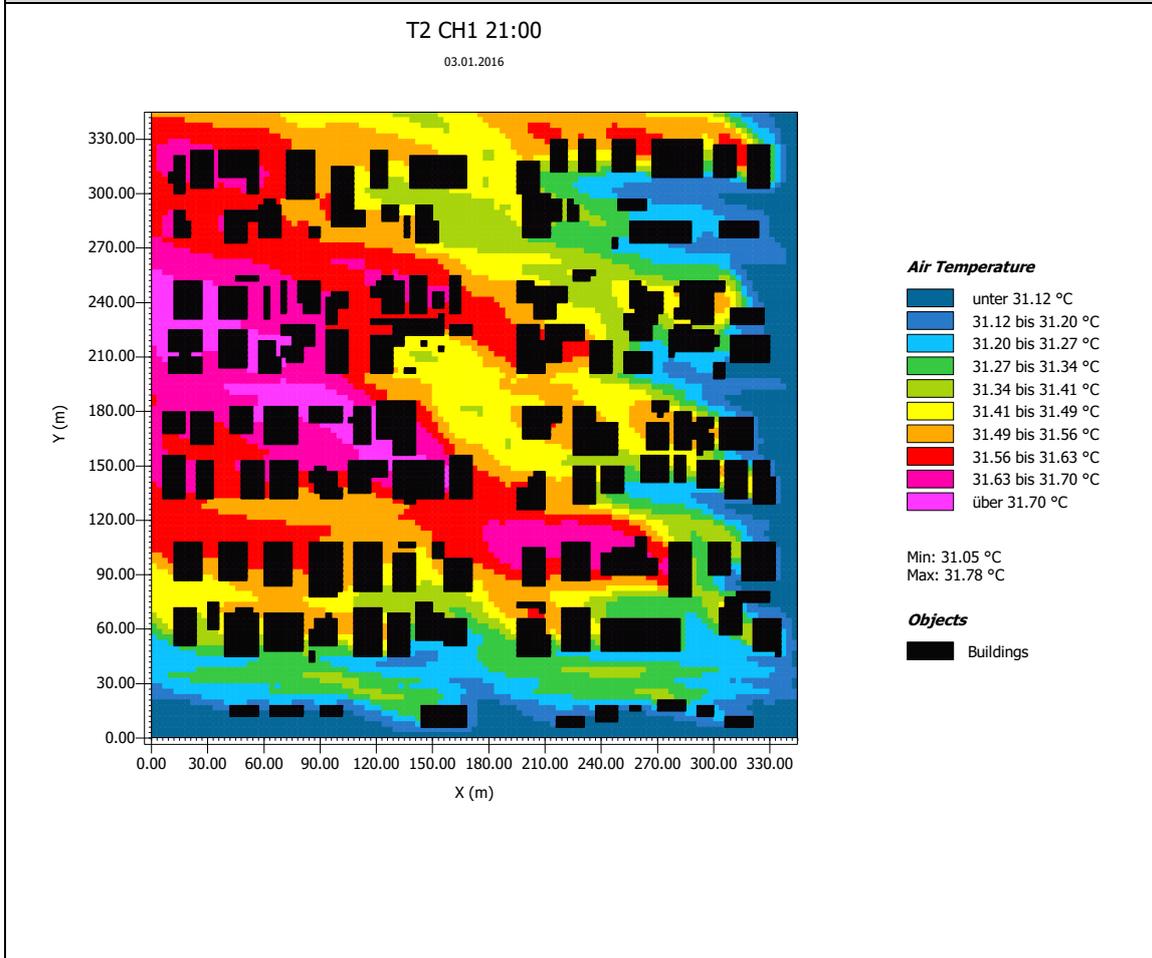
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

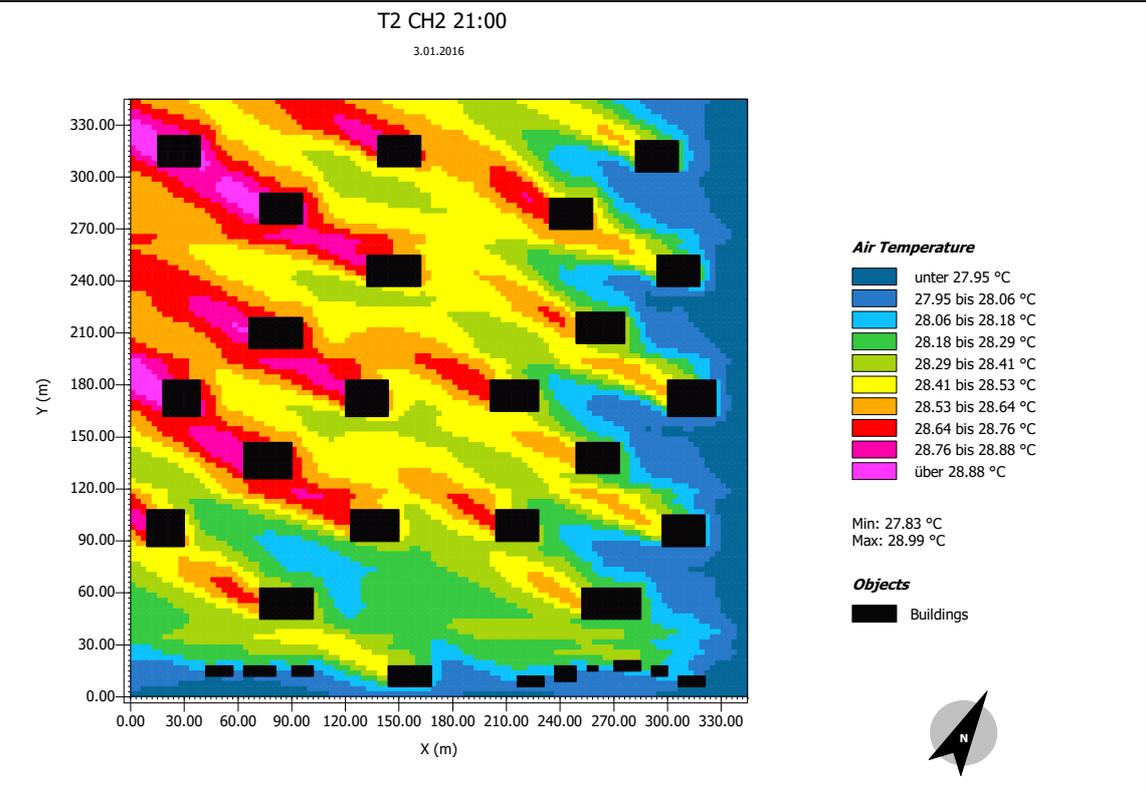


T2 CH1

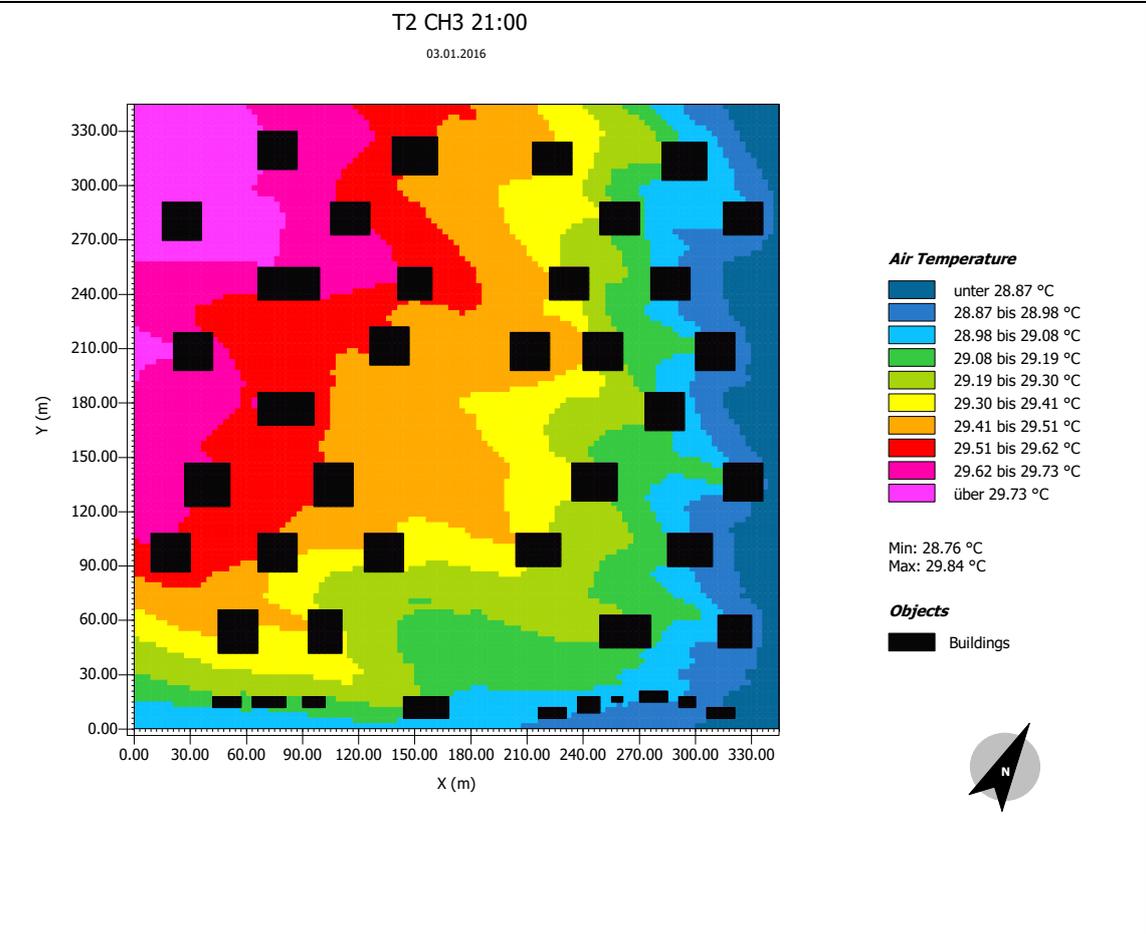


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

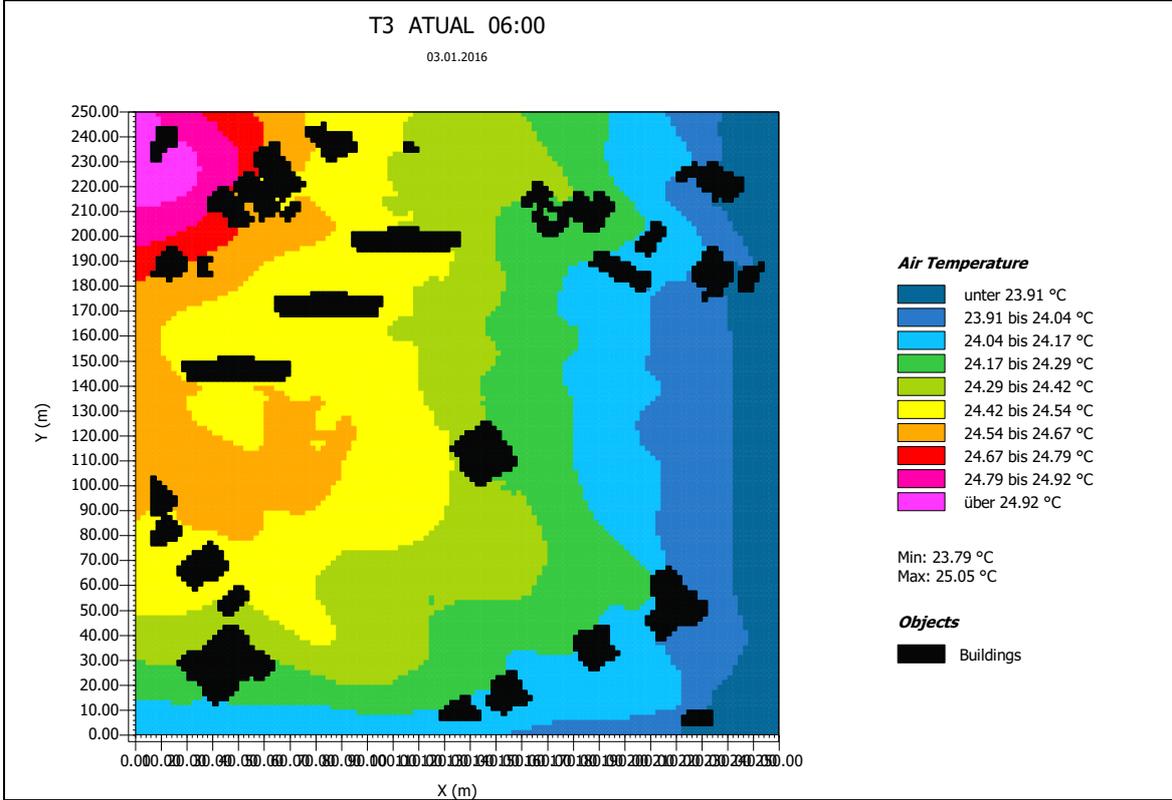
T2 CH2



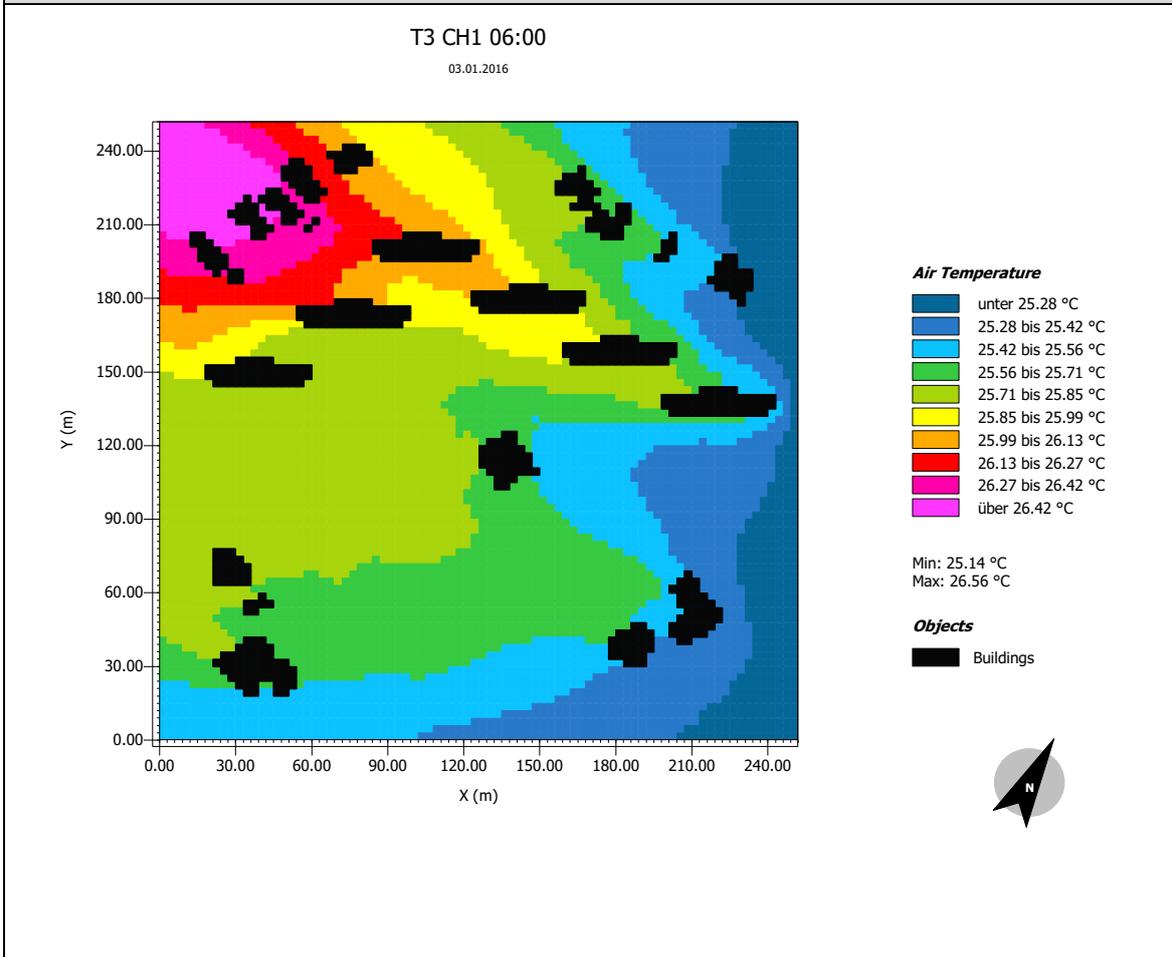
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 6:00

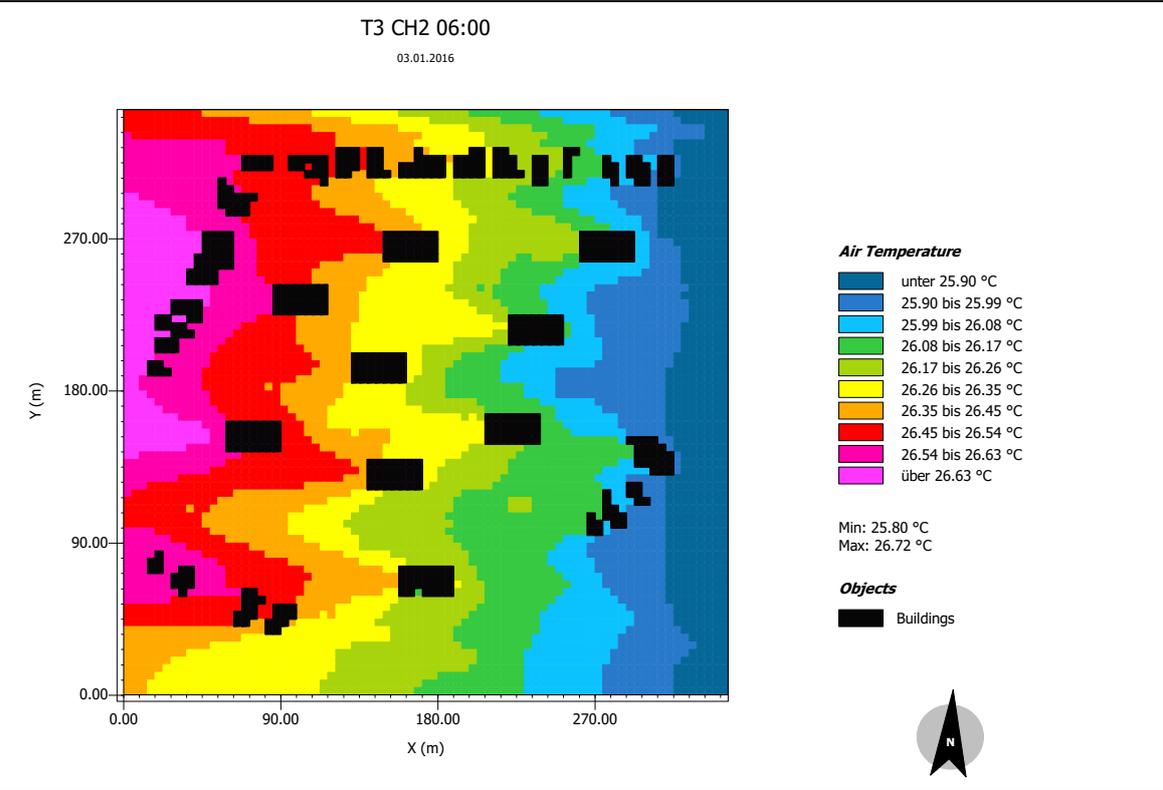


T3 CH1

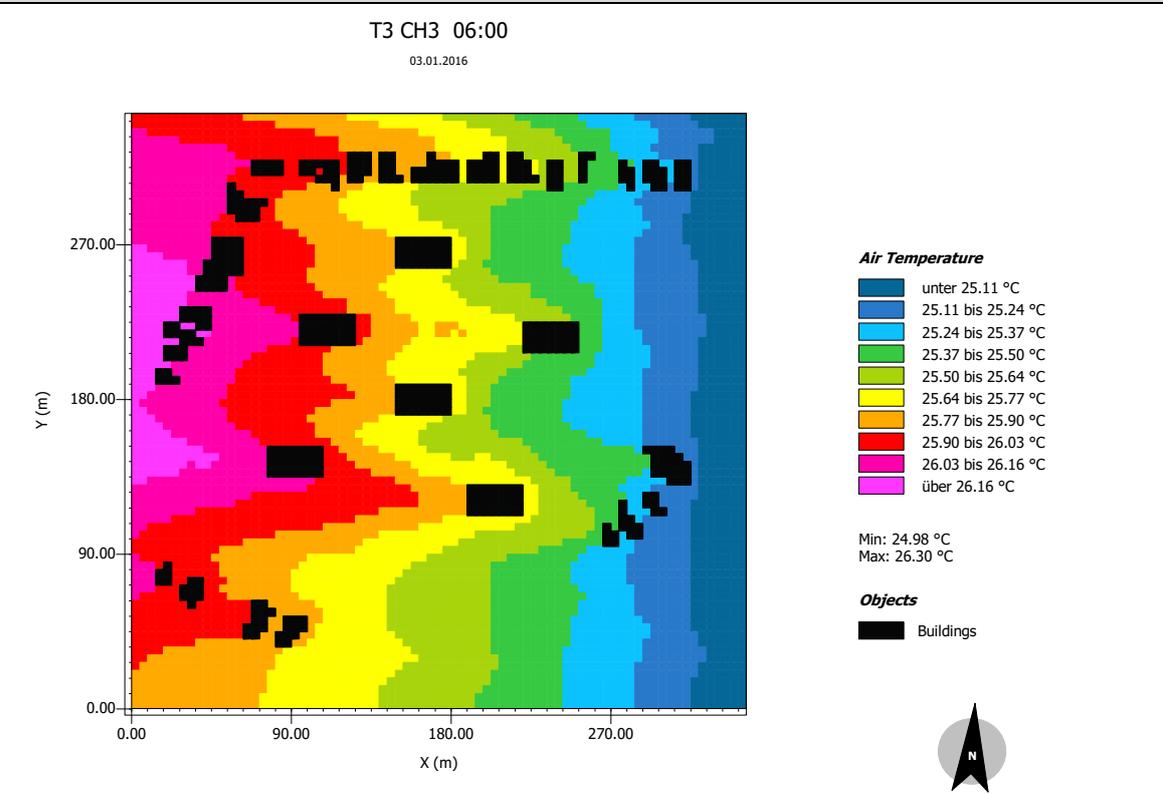


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 6:00

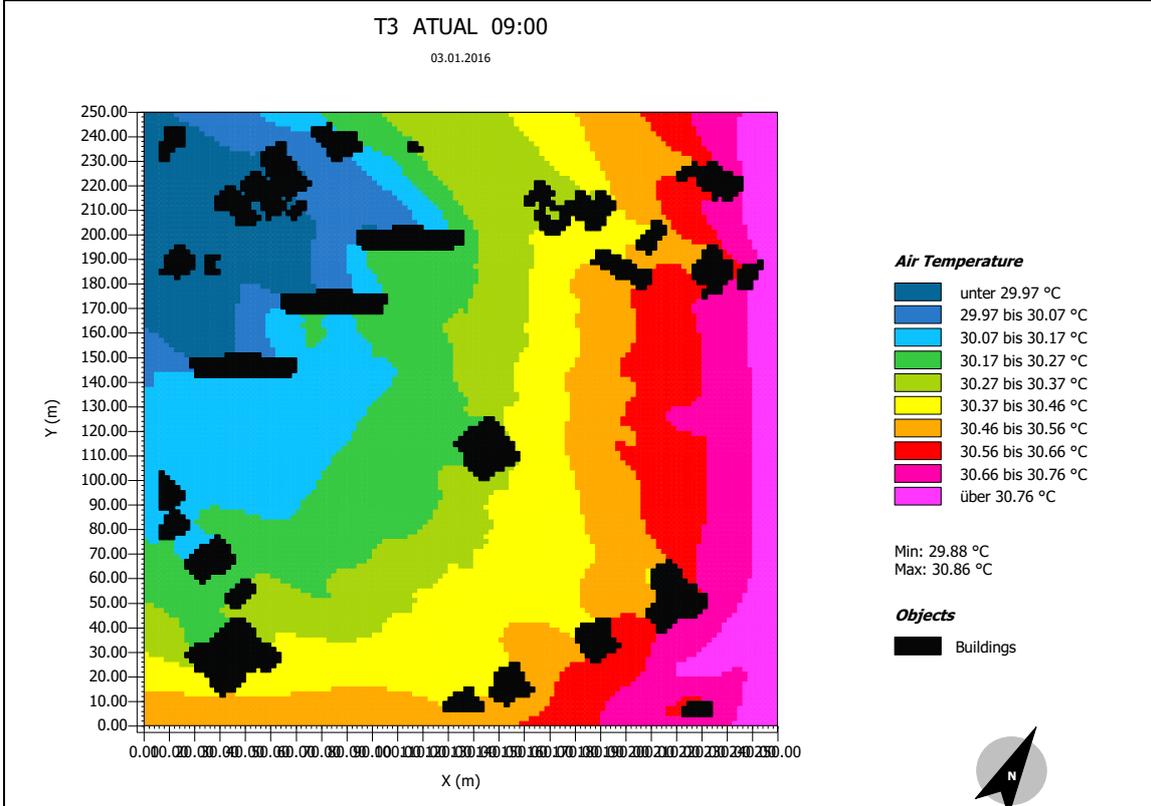
T3CH2



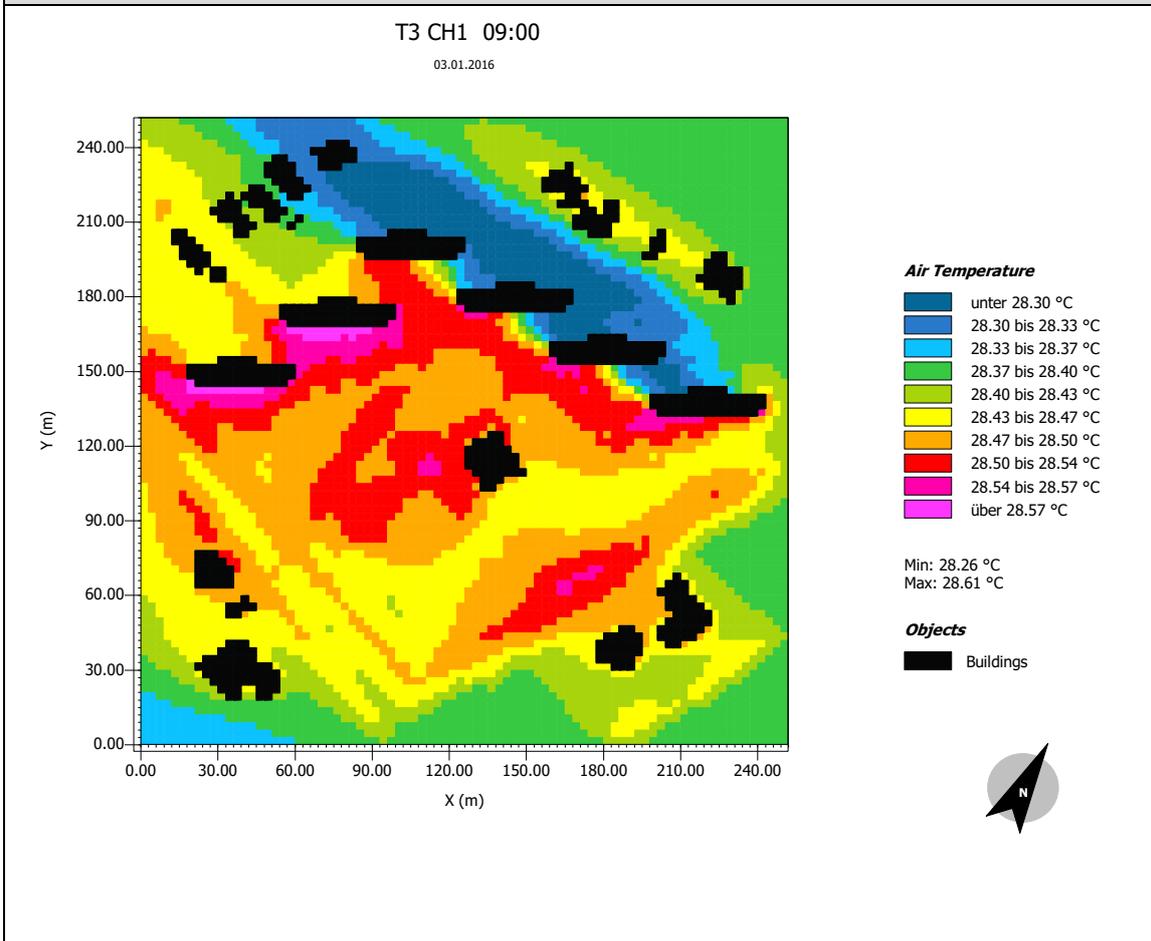
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 9:00

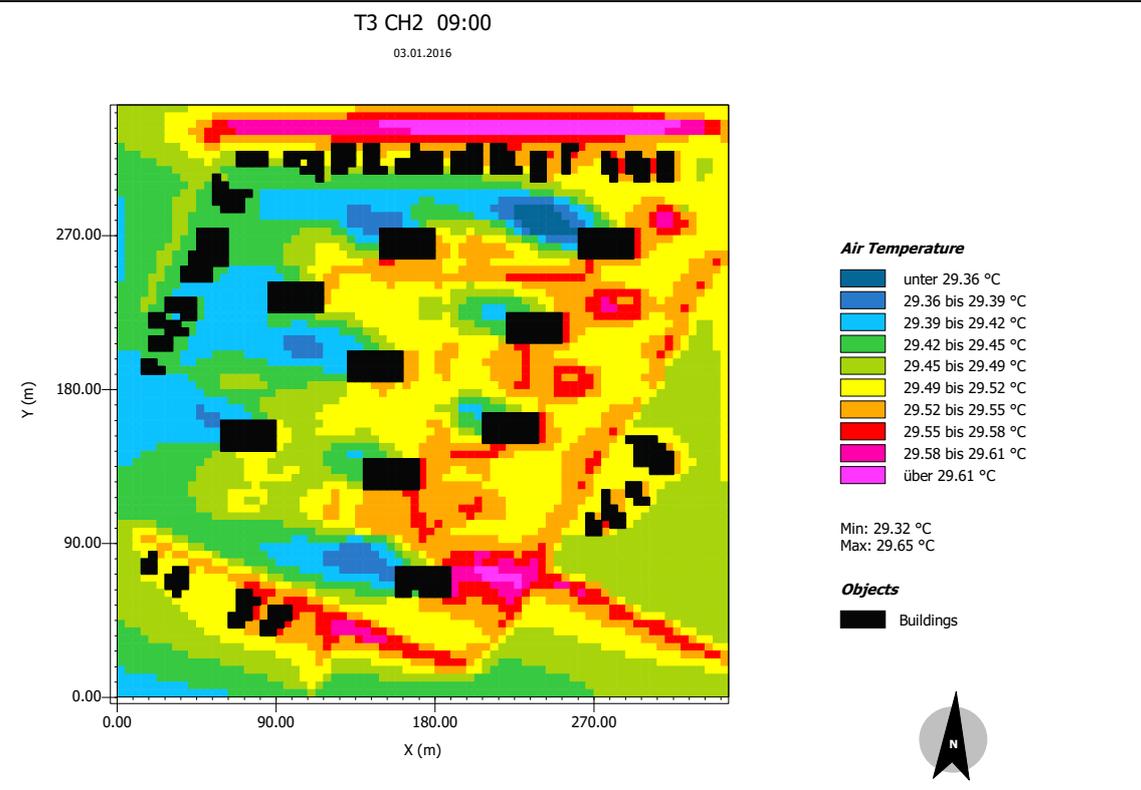


T3 CH1

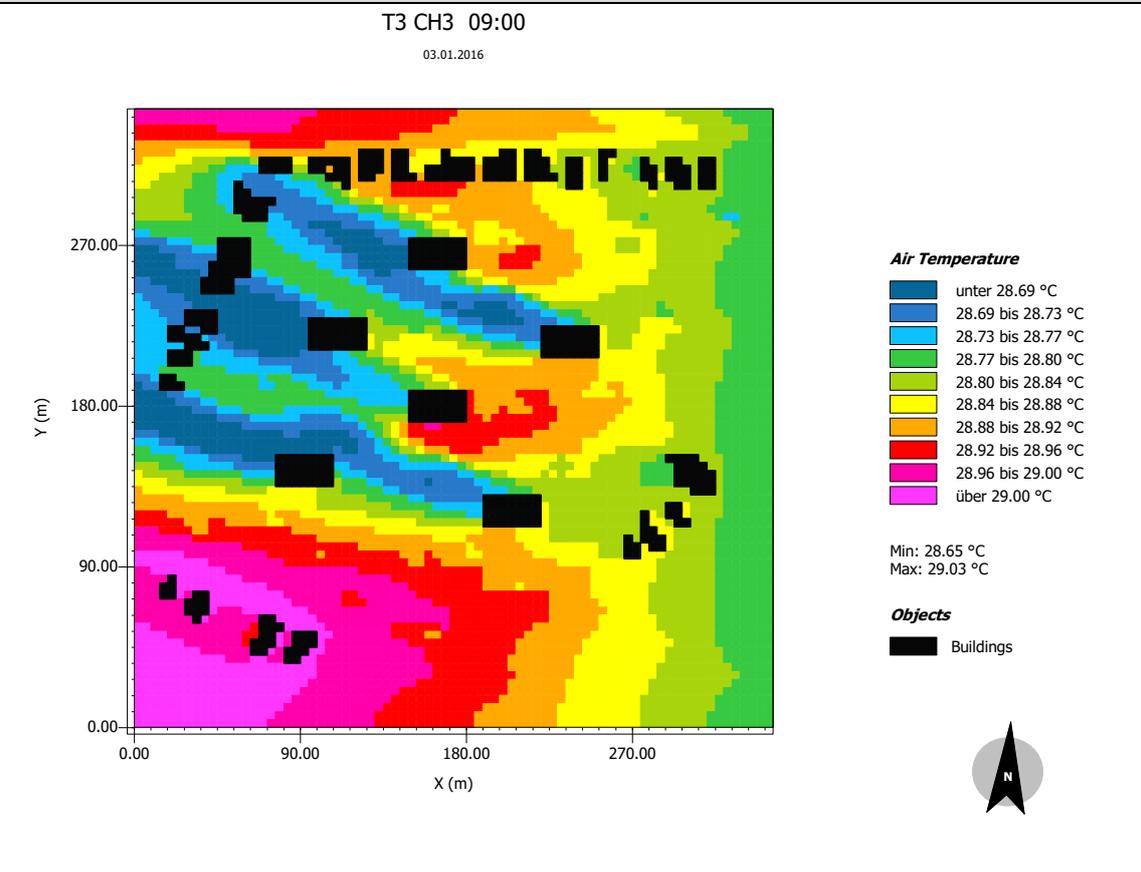


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 9:00

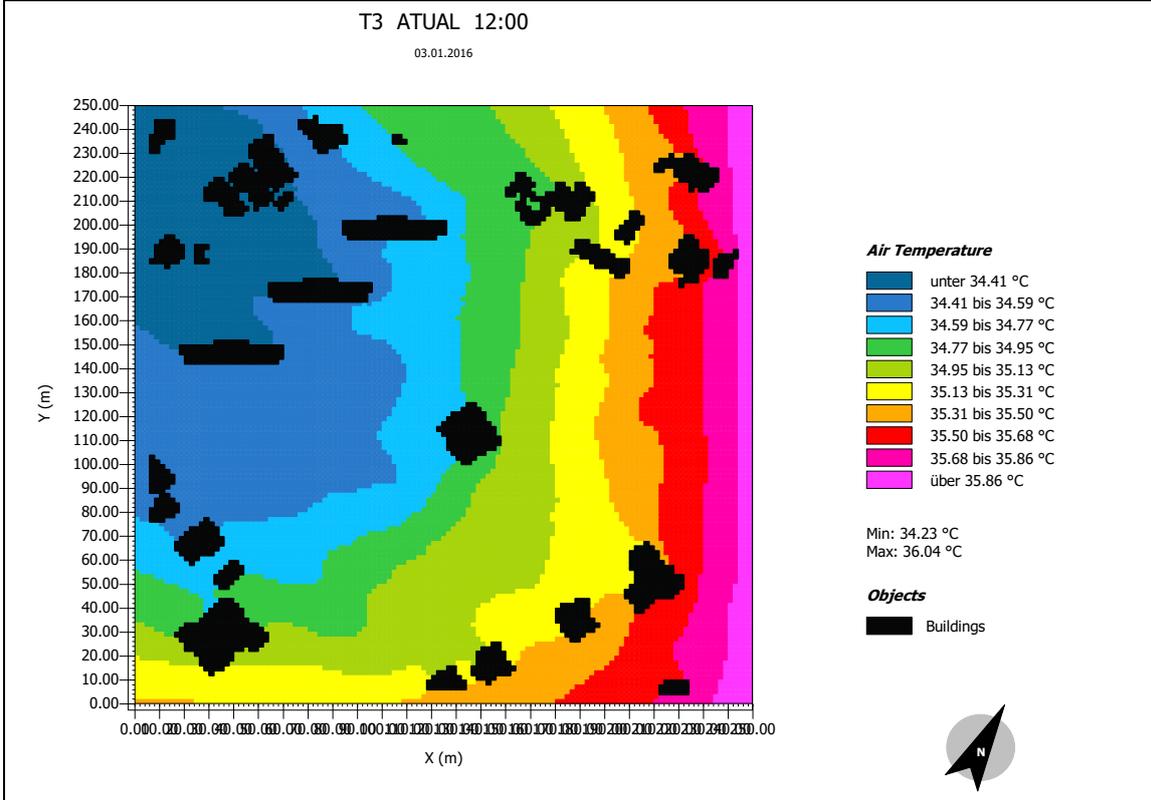
T3CH2



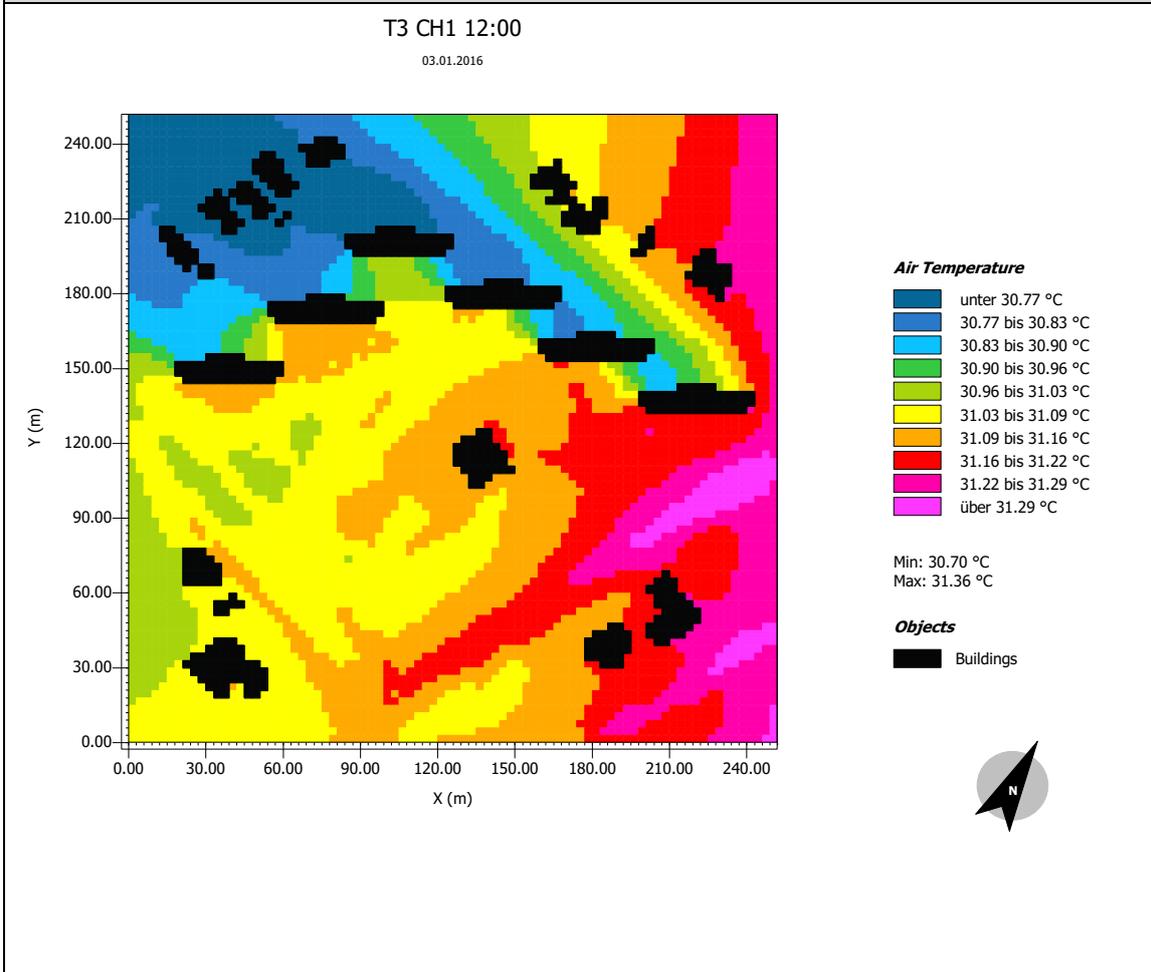
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

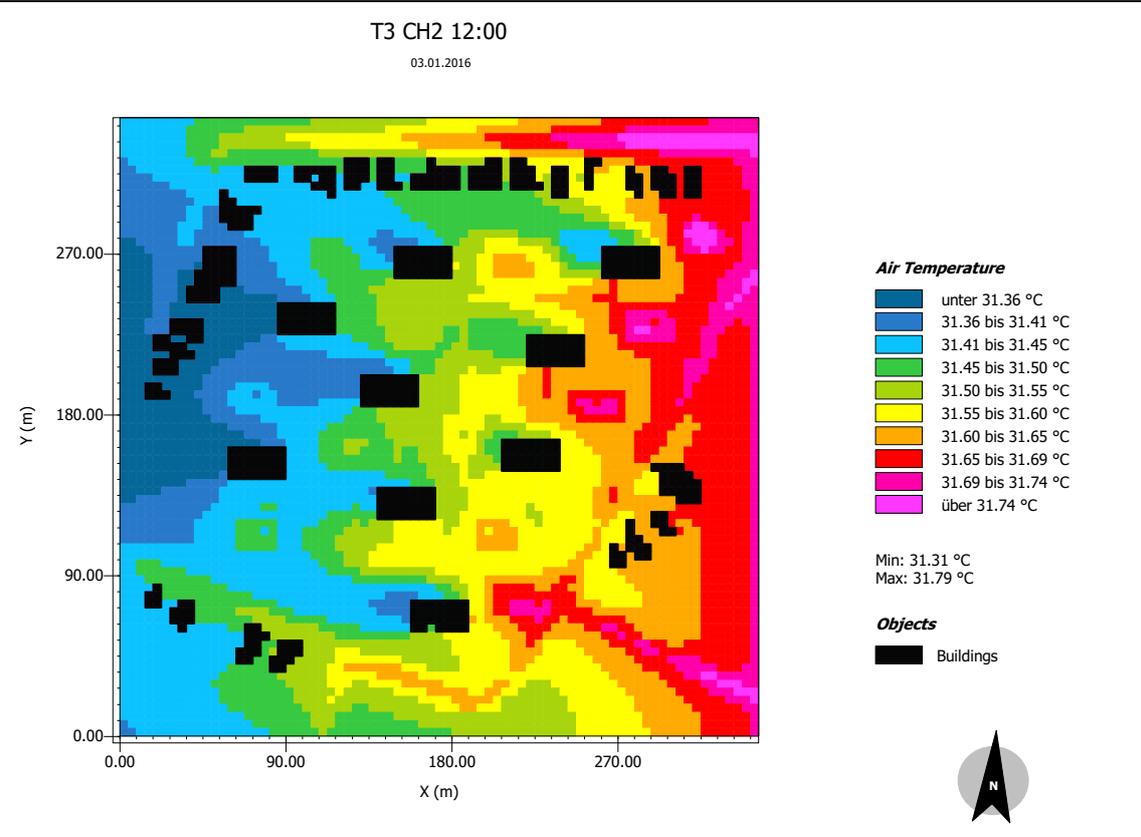


T3 CH1

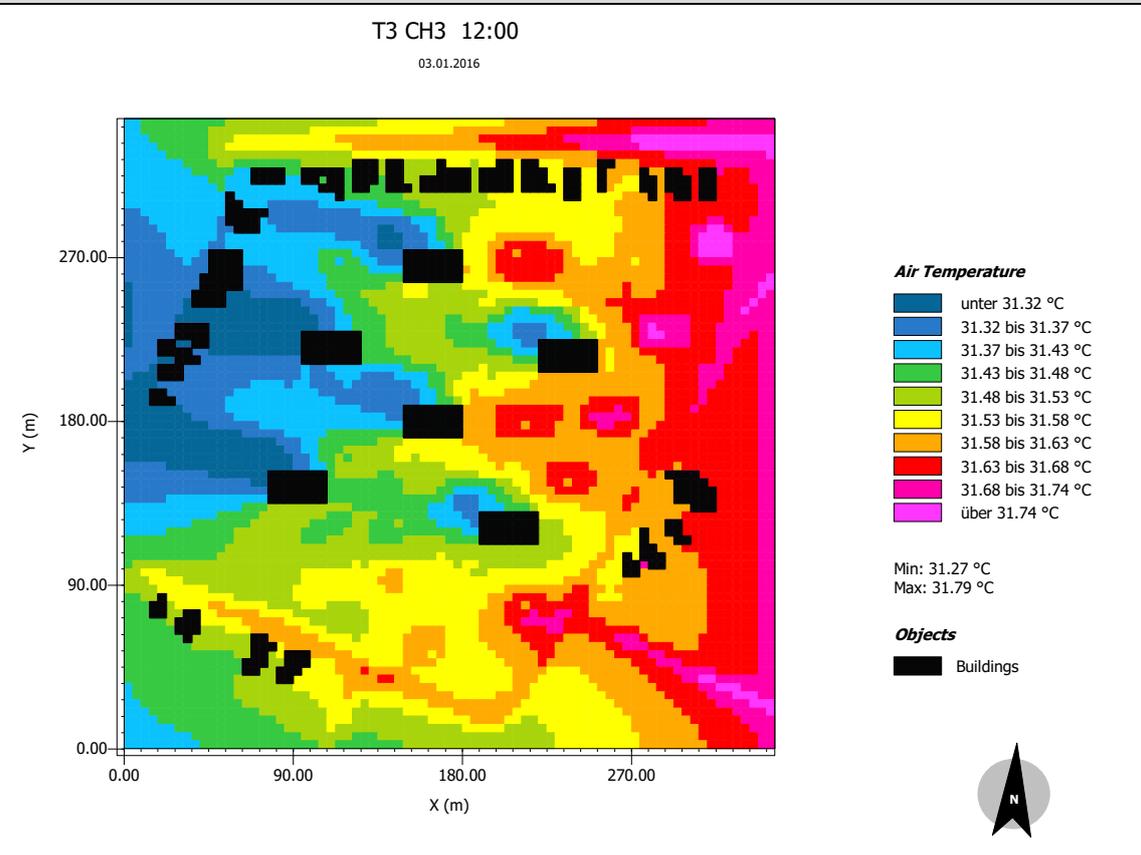


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

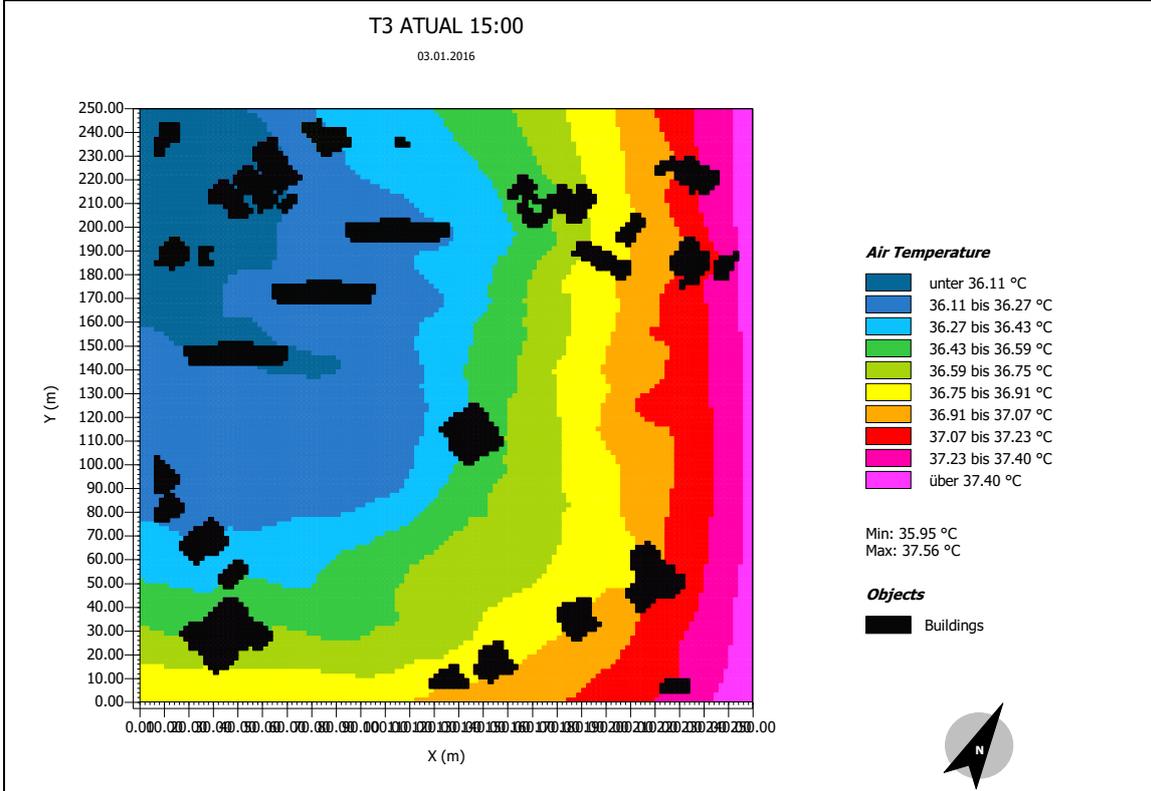
T3CH2



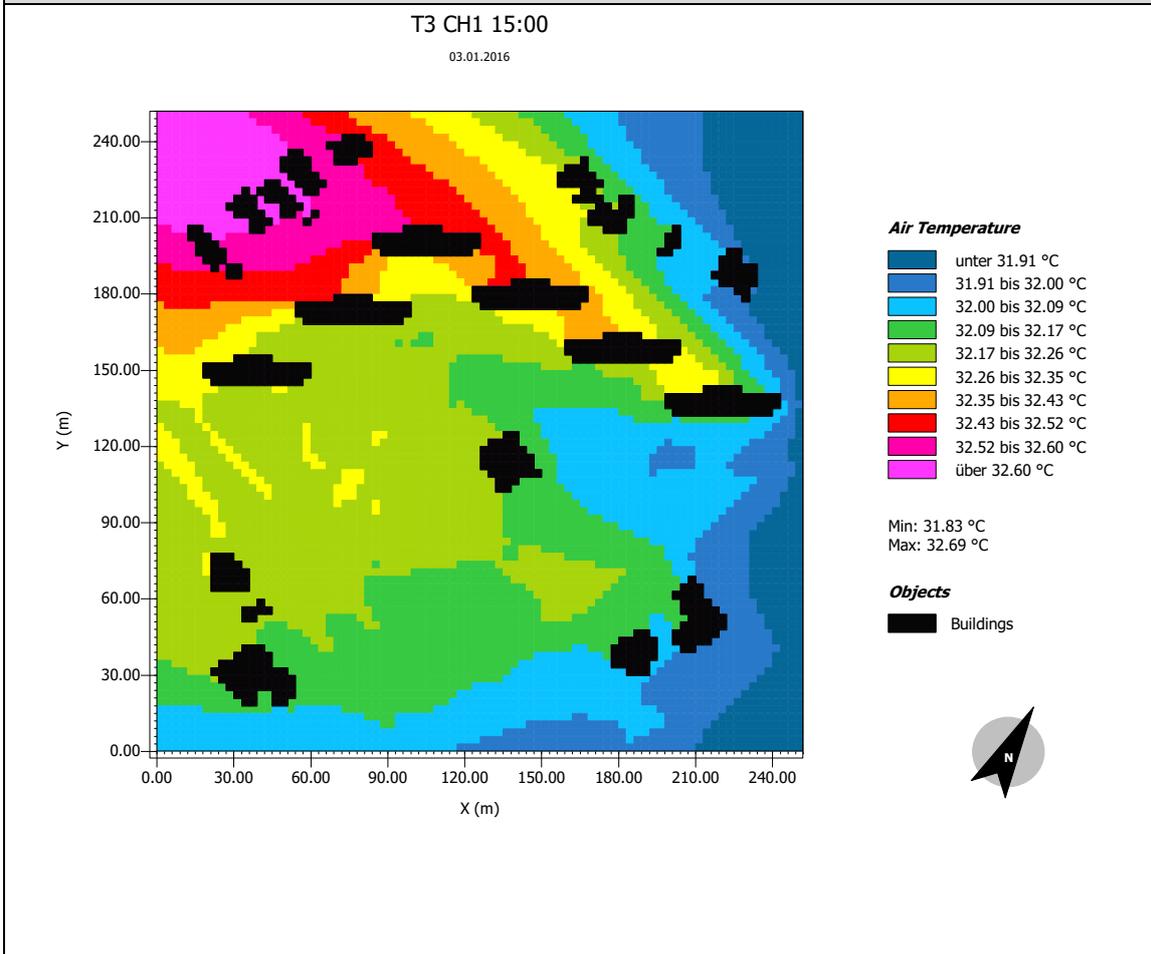
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00

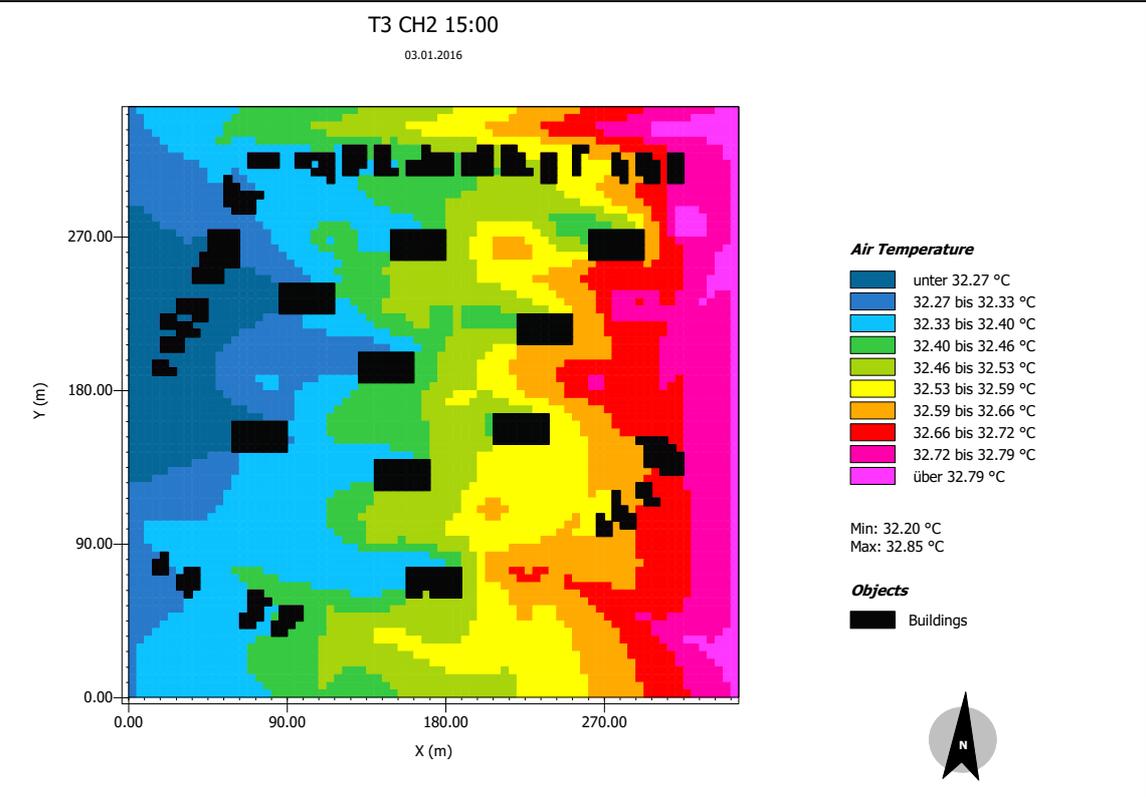


T3 CH1

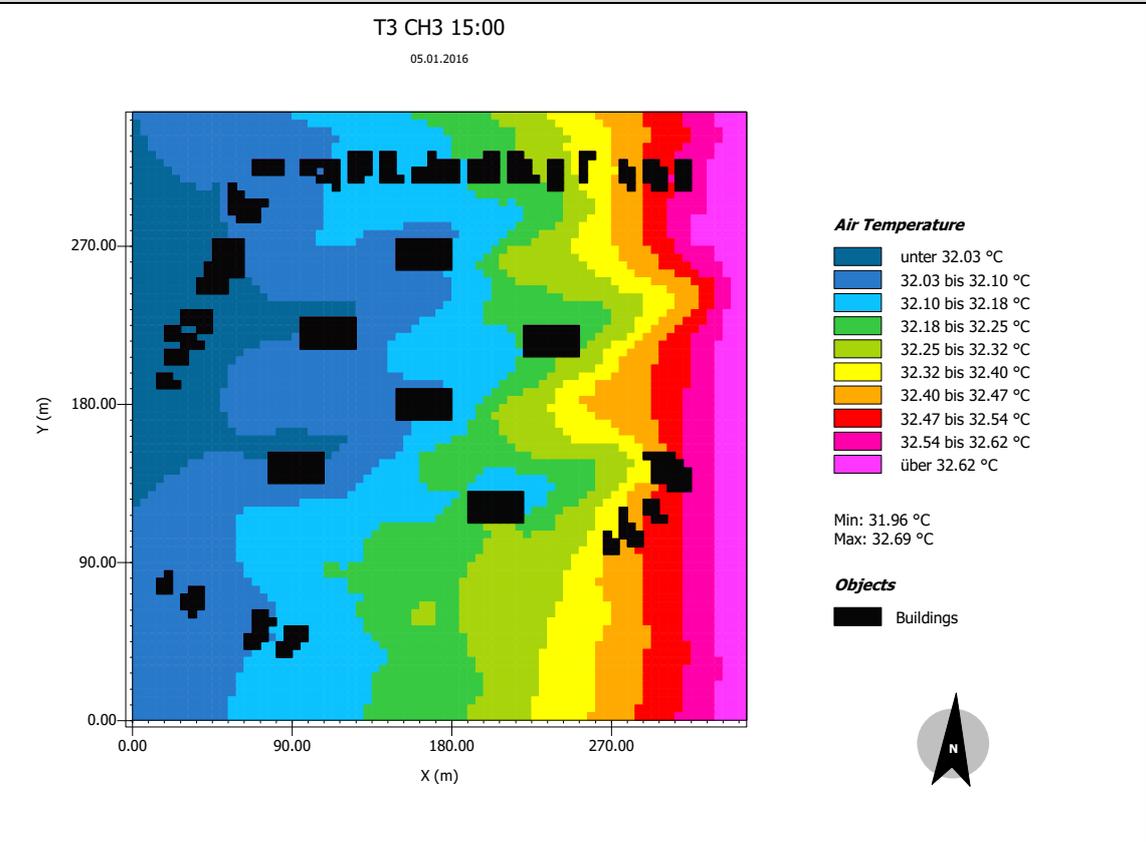


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00

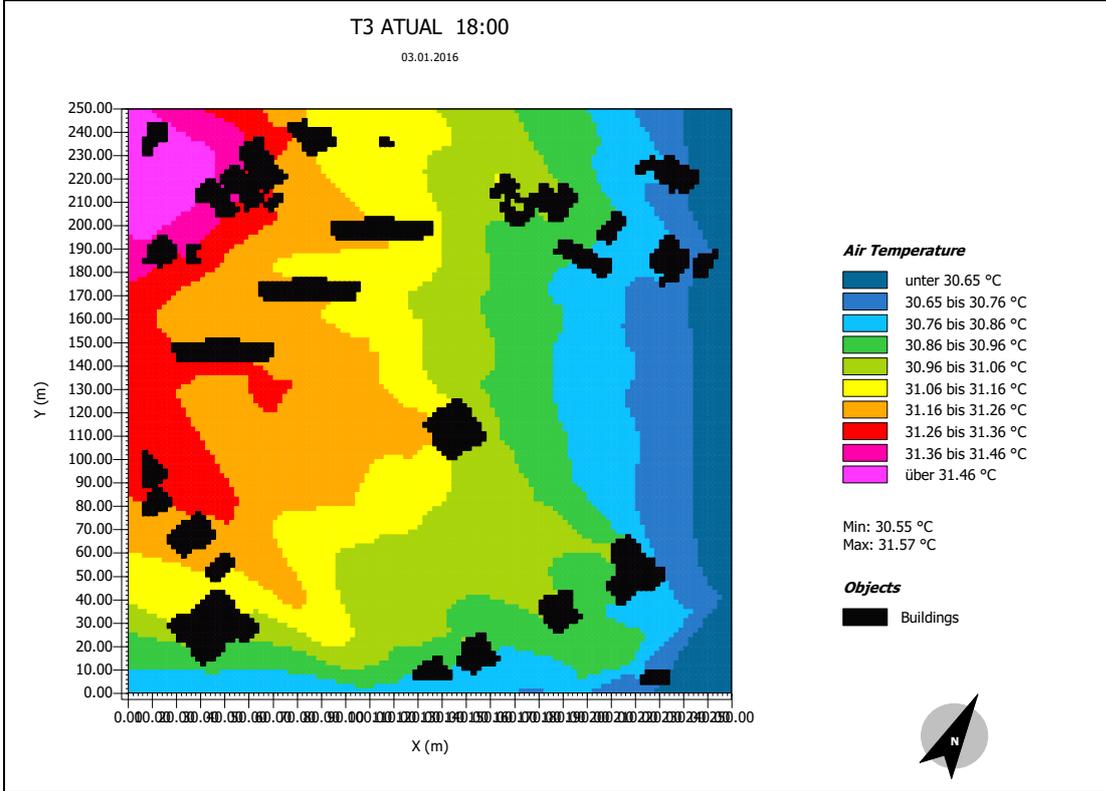
T3 CH2



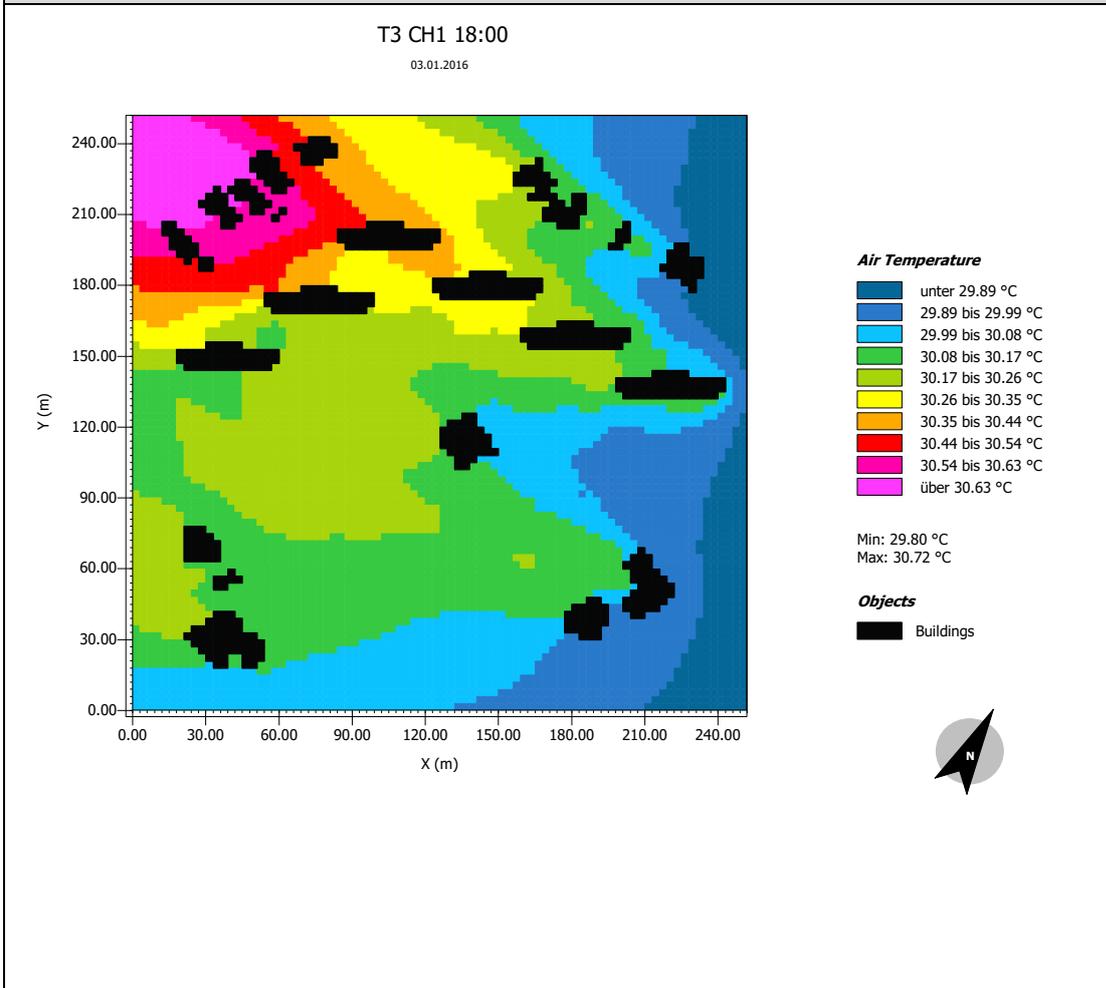
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00



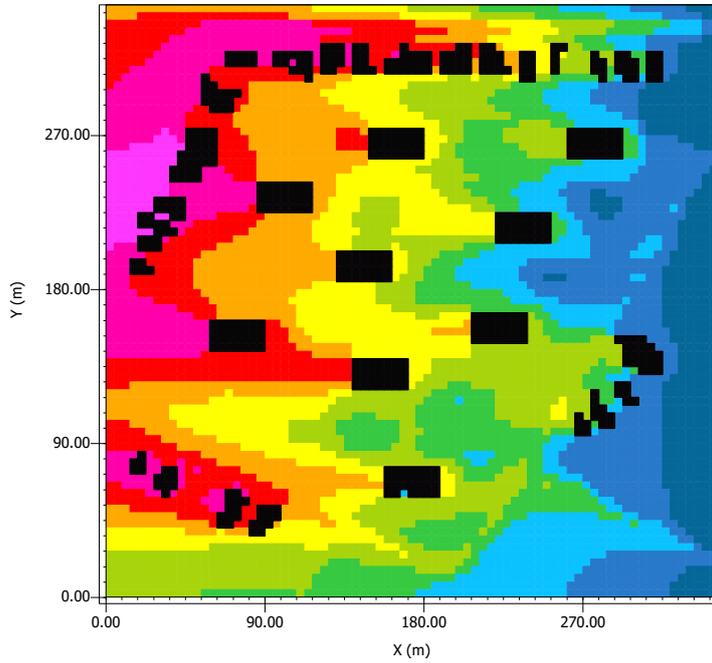
T3 CH1



T3 CH2

T3 CH2 18:00

03.01.2016



Air Temperature

- unter 31.53 °C
- 31.53 bis 31.57 °C
- 31.57 bis 31.60 °C
- 31.60 bis 31.64 °C
- 31.64 bis 31.67 °C
- 31.67 bis 31.71 °C
- 31.71 bis 31.75 °C
- 31.75 bis 31.78 °C
- 31.78 bis 31.82 °C
- über 31.82 °C

Min: 31.49 °C
Max: 31.86 °C

Objects

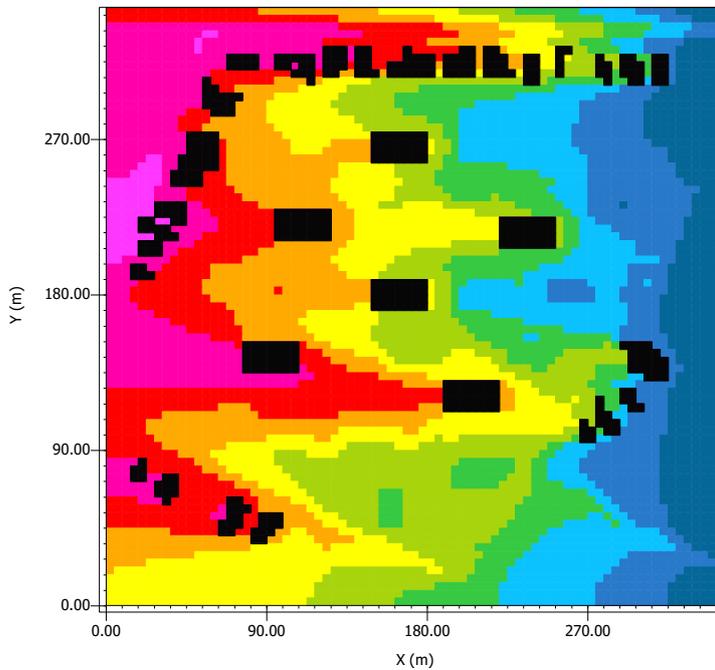
- Buildings



T3 CH3

T3 CH3 18:00

03.01.2016



Air Temperature

- unter 30.77 °C
- 30.77 bis 30.81 °C
- 30.81 bis 30.86 °C
- 30.86 bis 30.90 °C
- 30.90 bis 30.95 °C
- 30.95 bis 30.99 °C
- 30.99 bis 31.03 °C
- 31.03 bis 31.08 °C
- 31.08 bis 31.12 °C
- über 31.12 °C

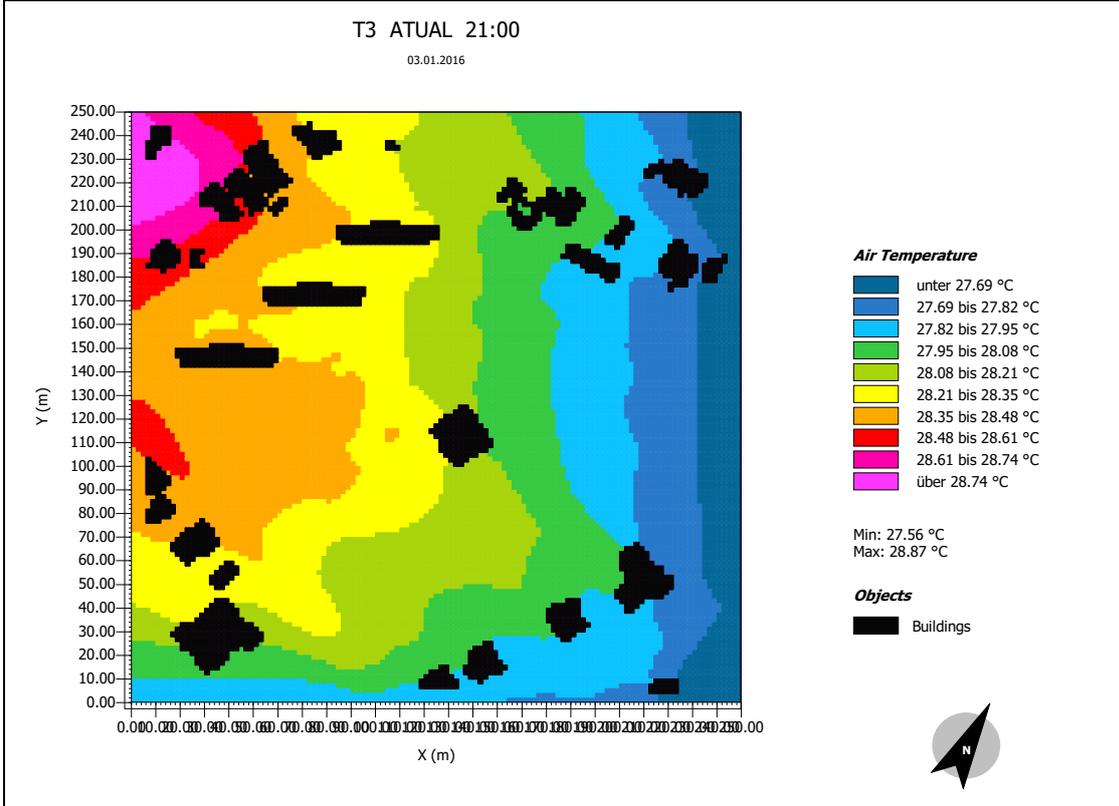
Min: 30.73 °C
Max: 31.16 °C

Objects

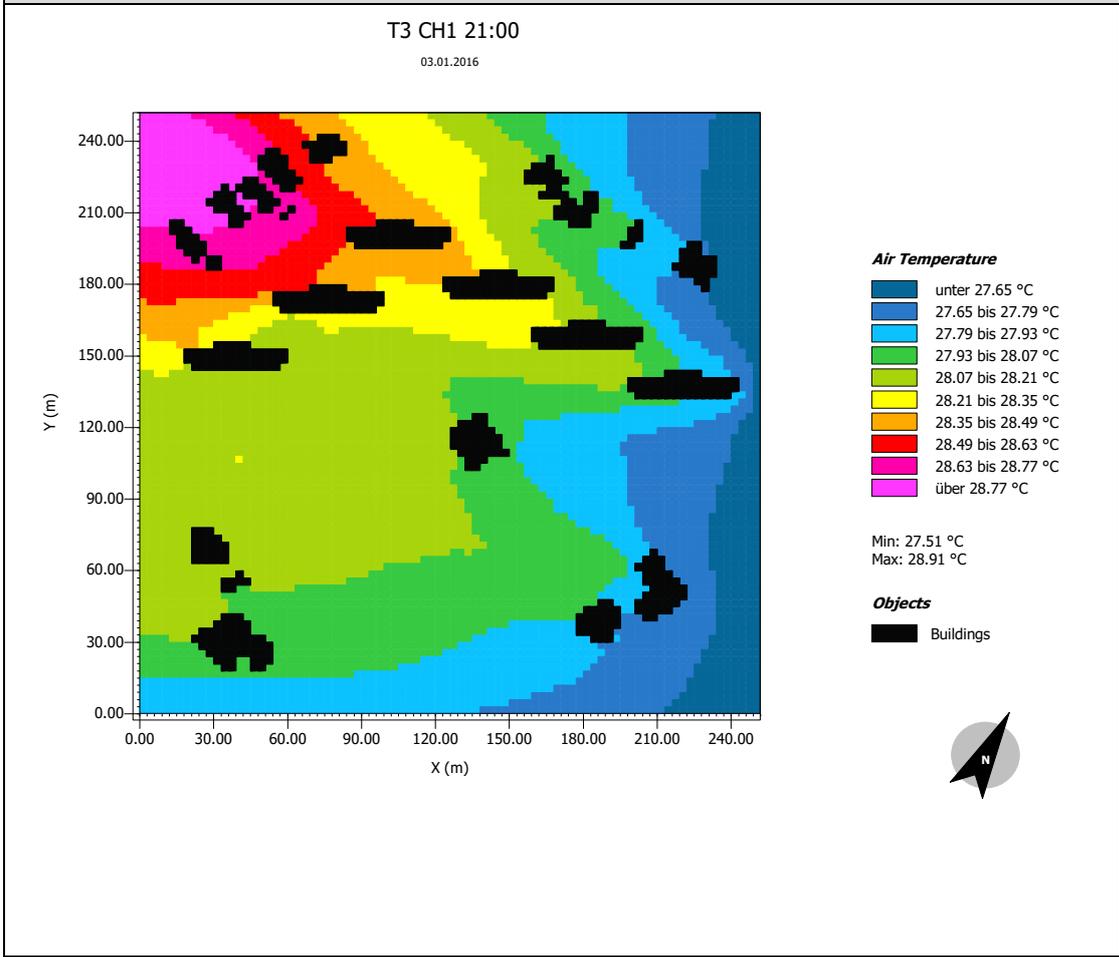
- Buildings



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

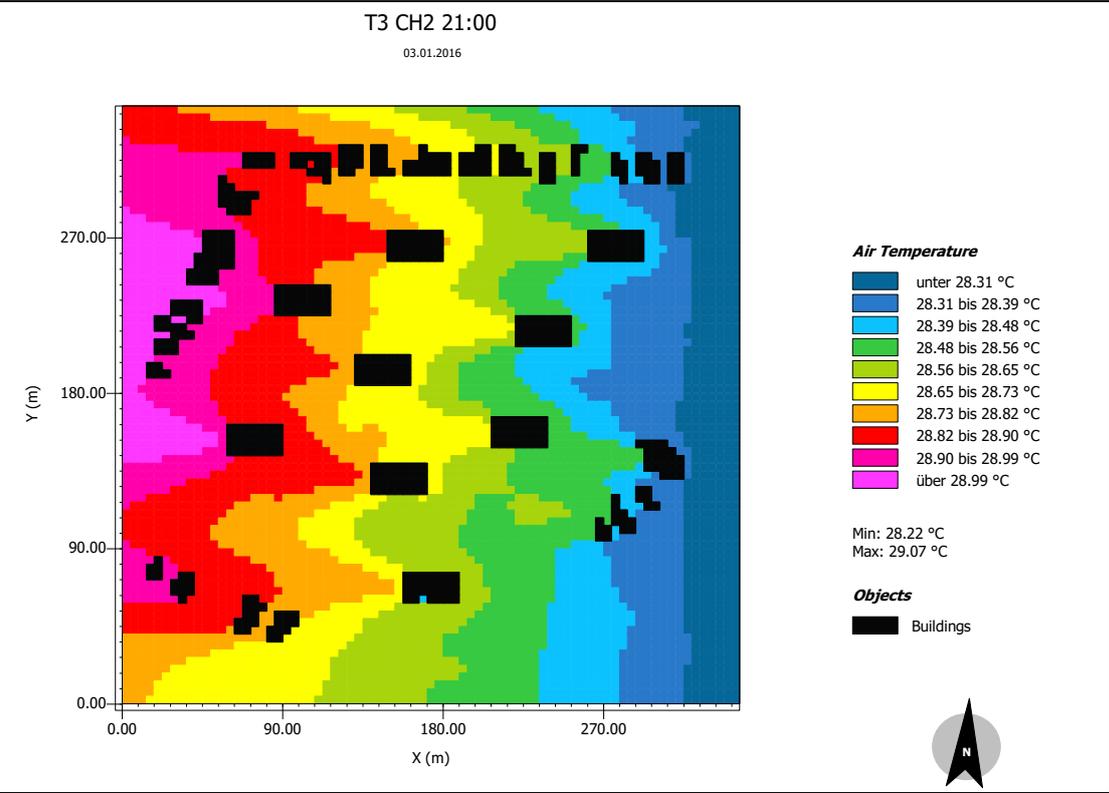


T3 CH1

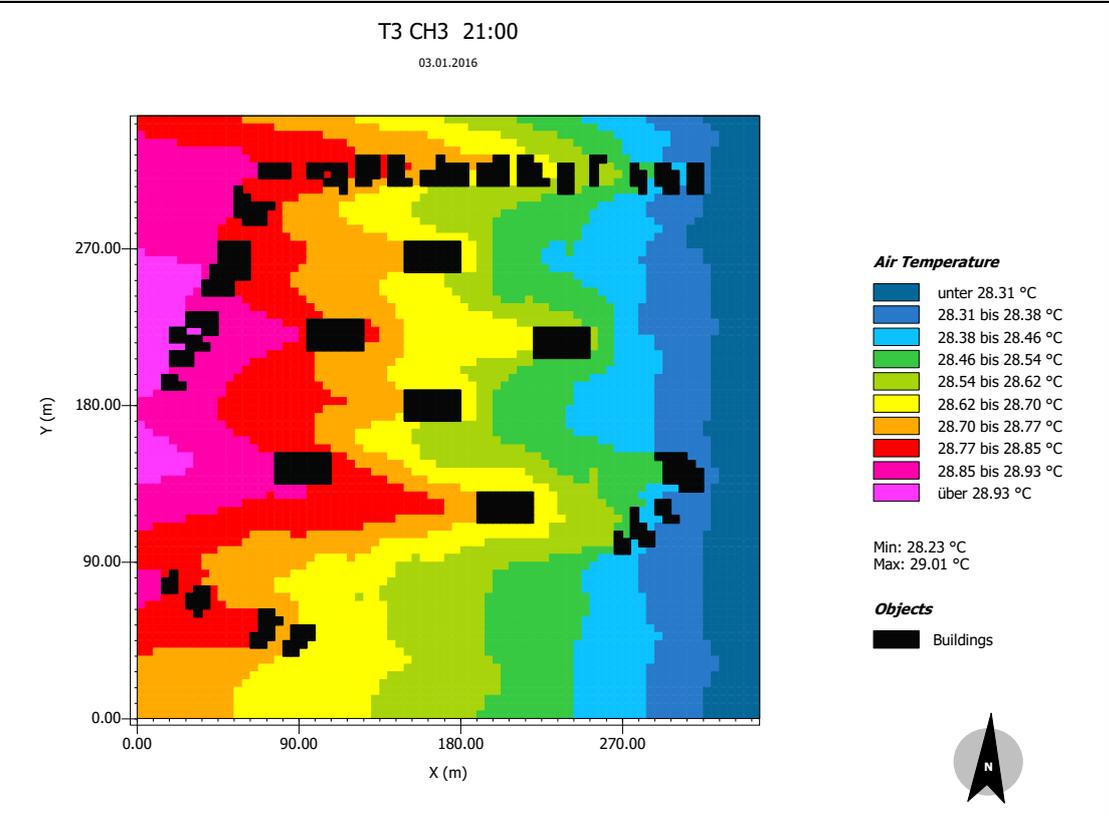


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

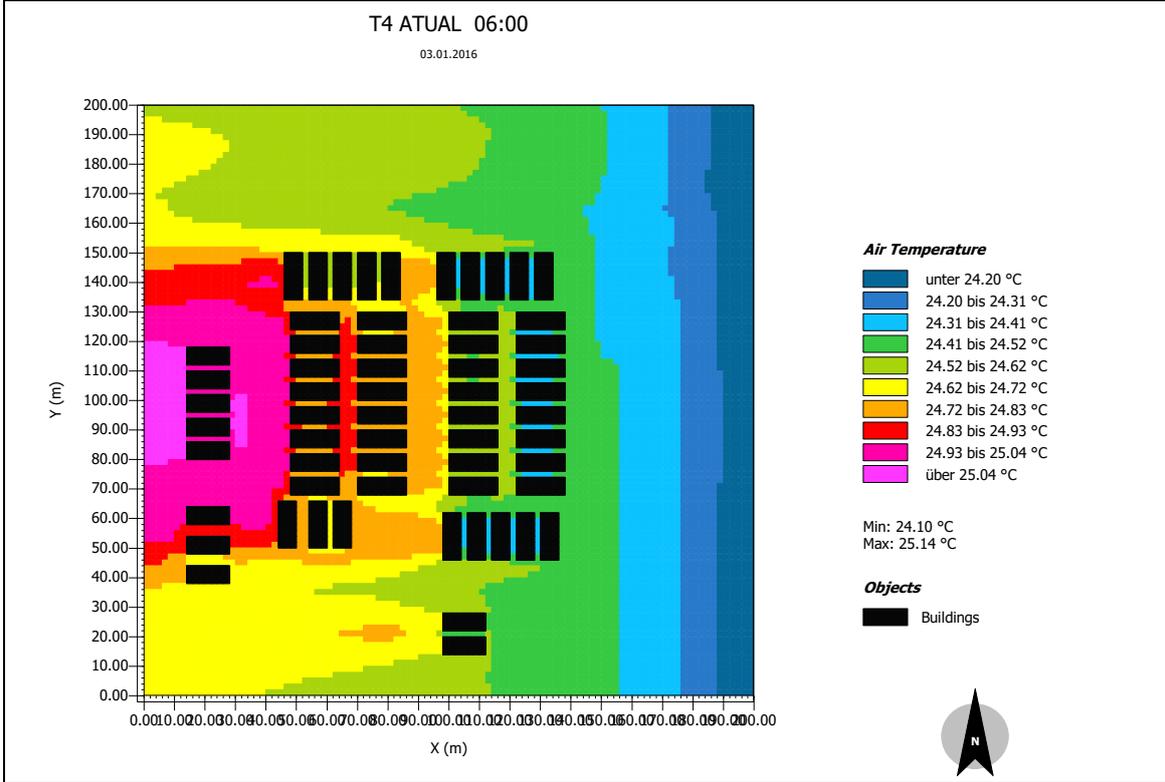
T3 CH2



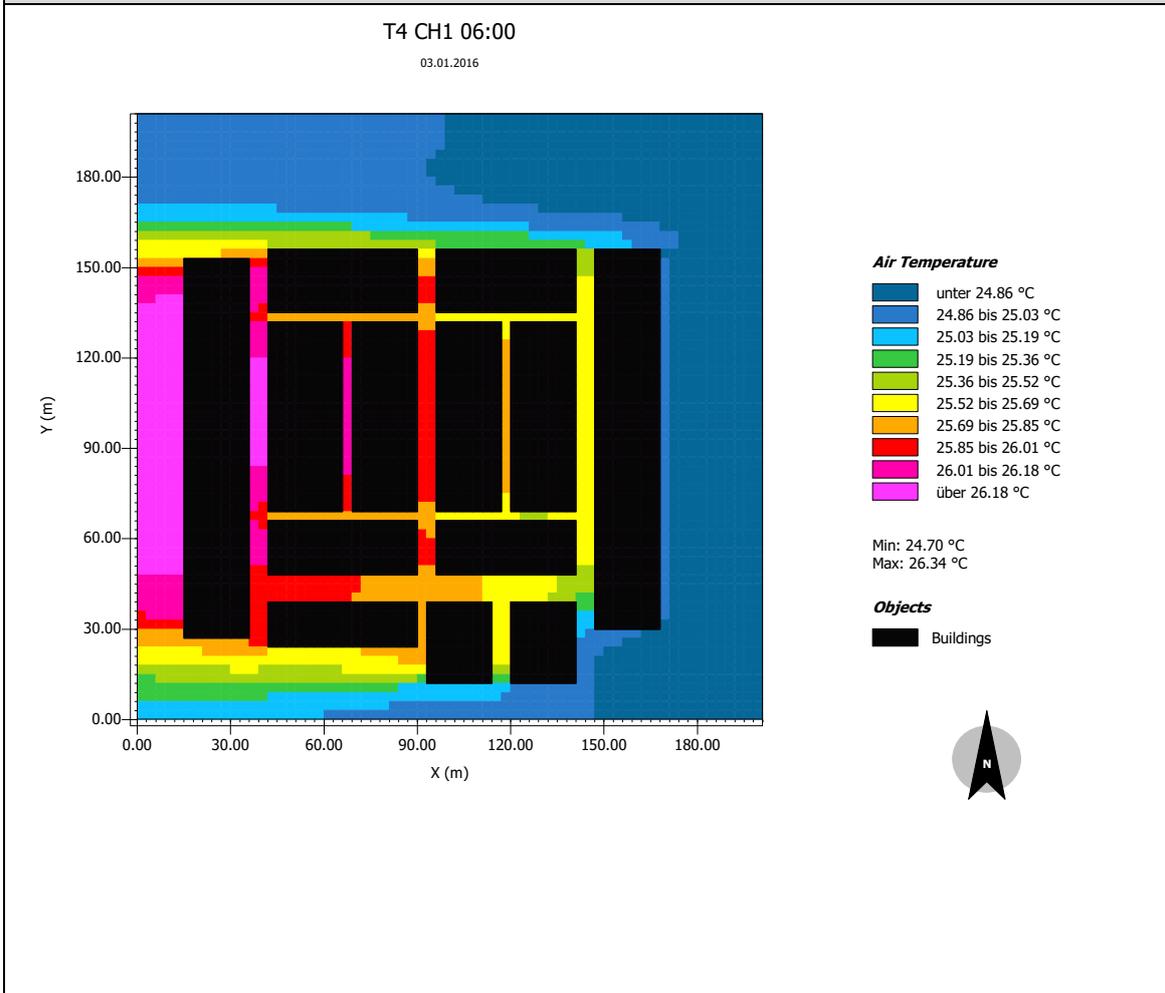
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 6:00

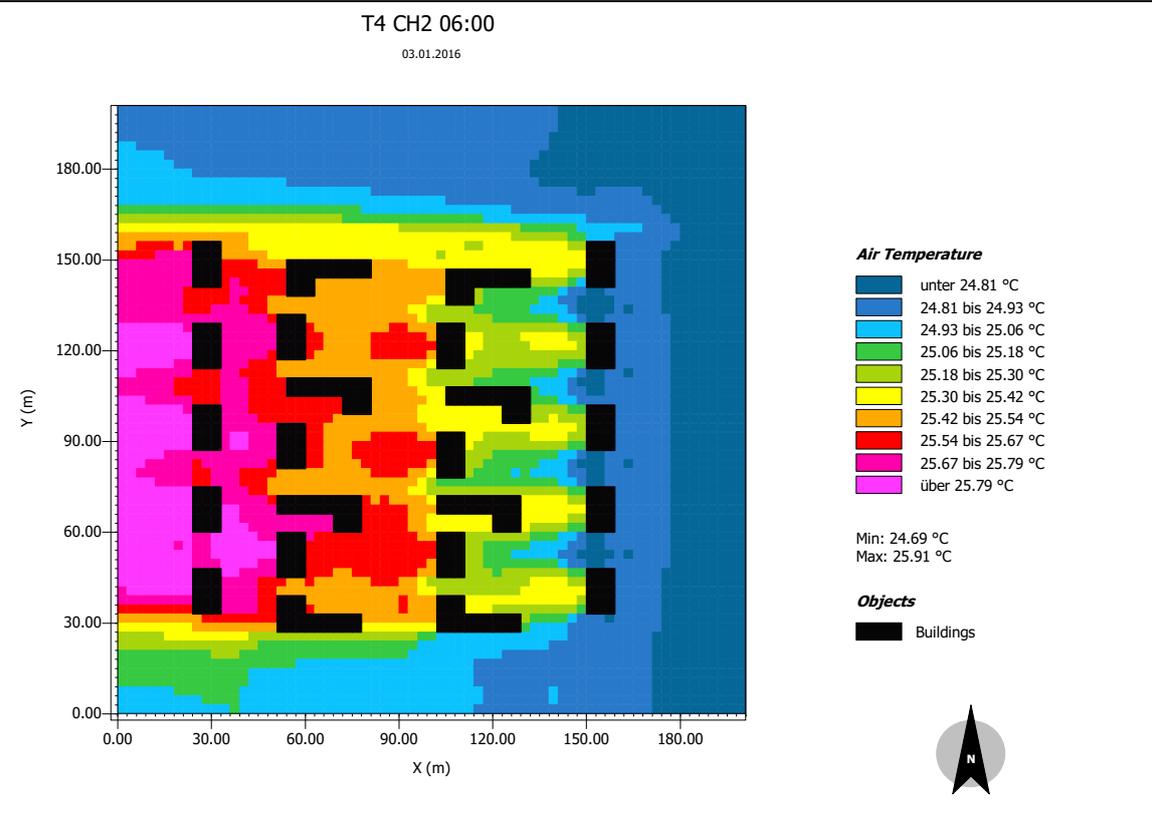


T4 CH1

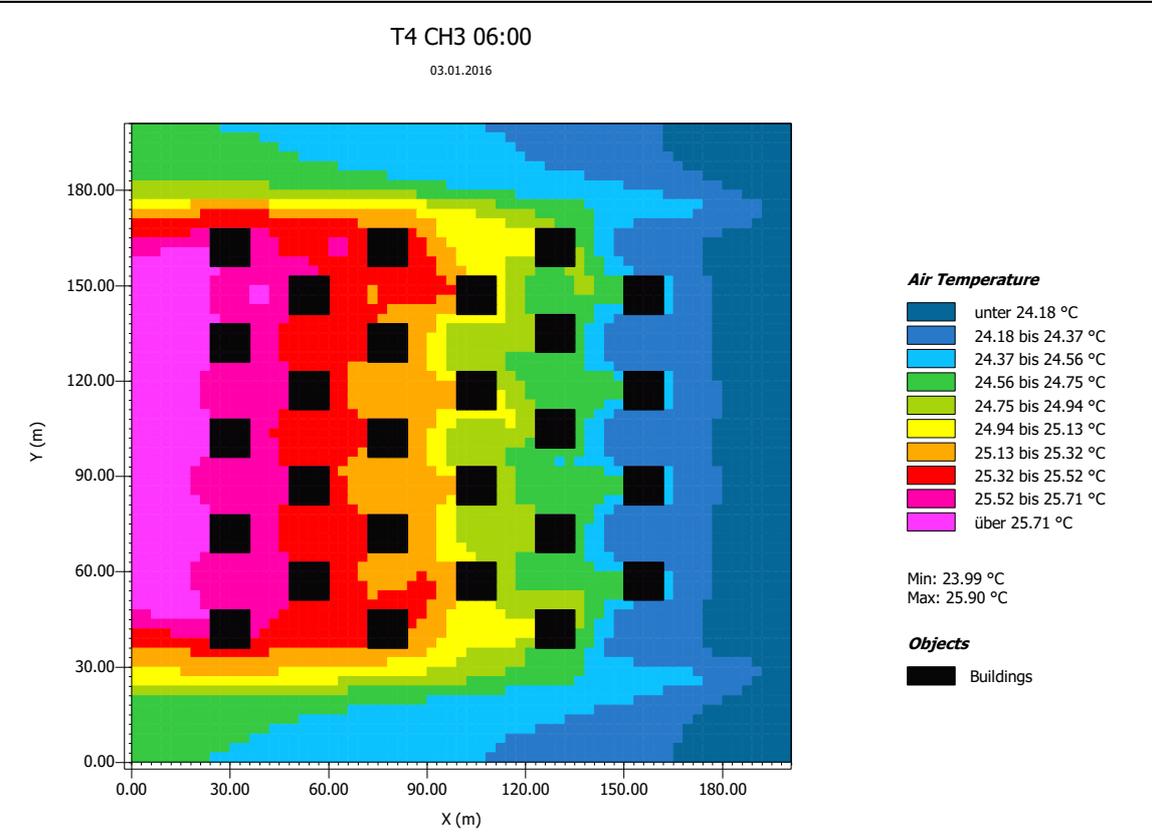


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 6:00

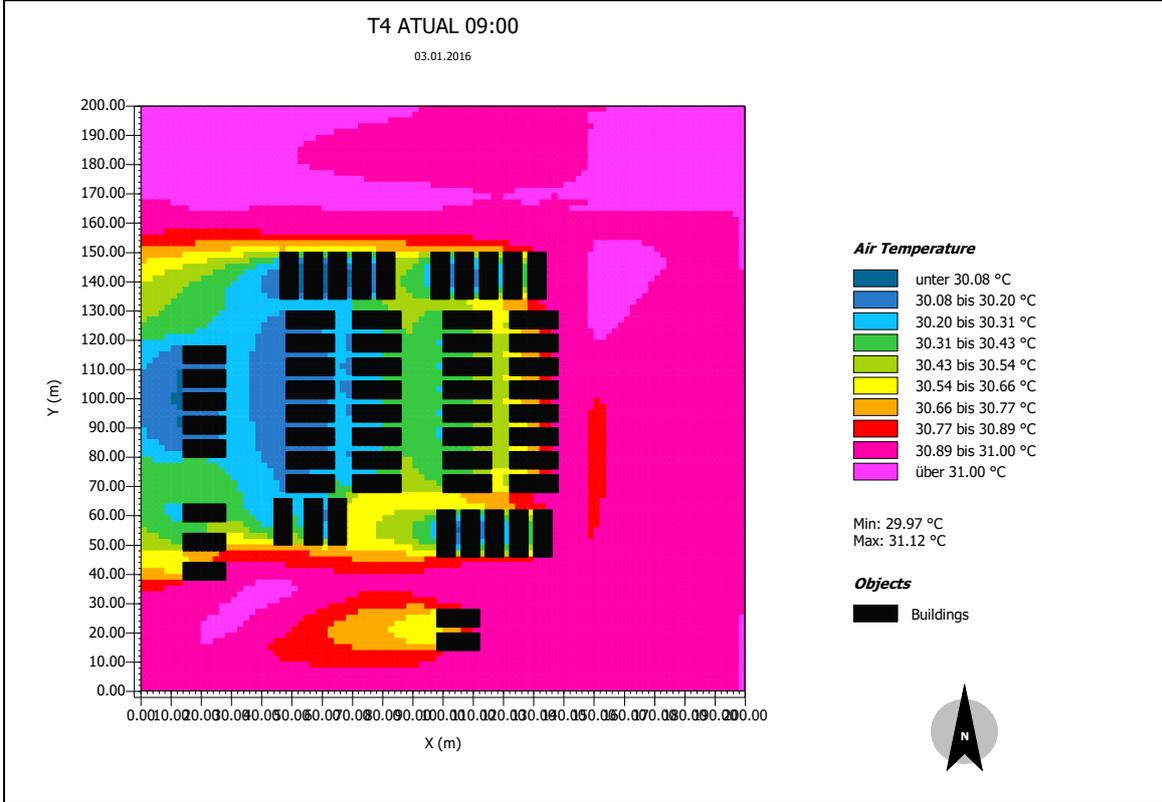
T4 CH2



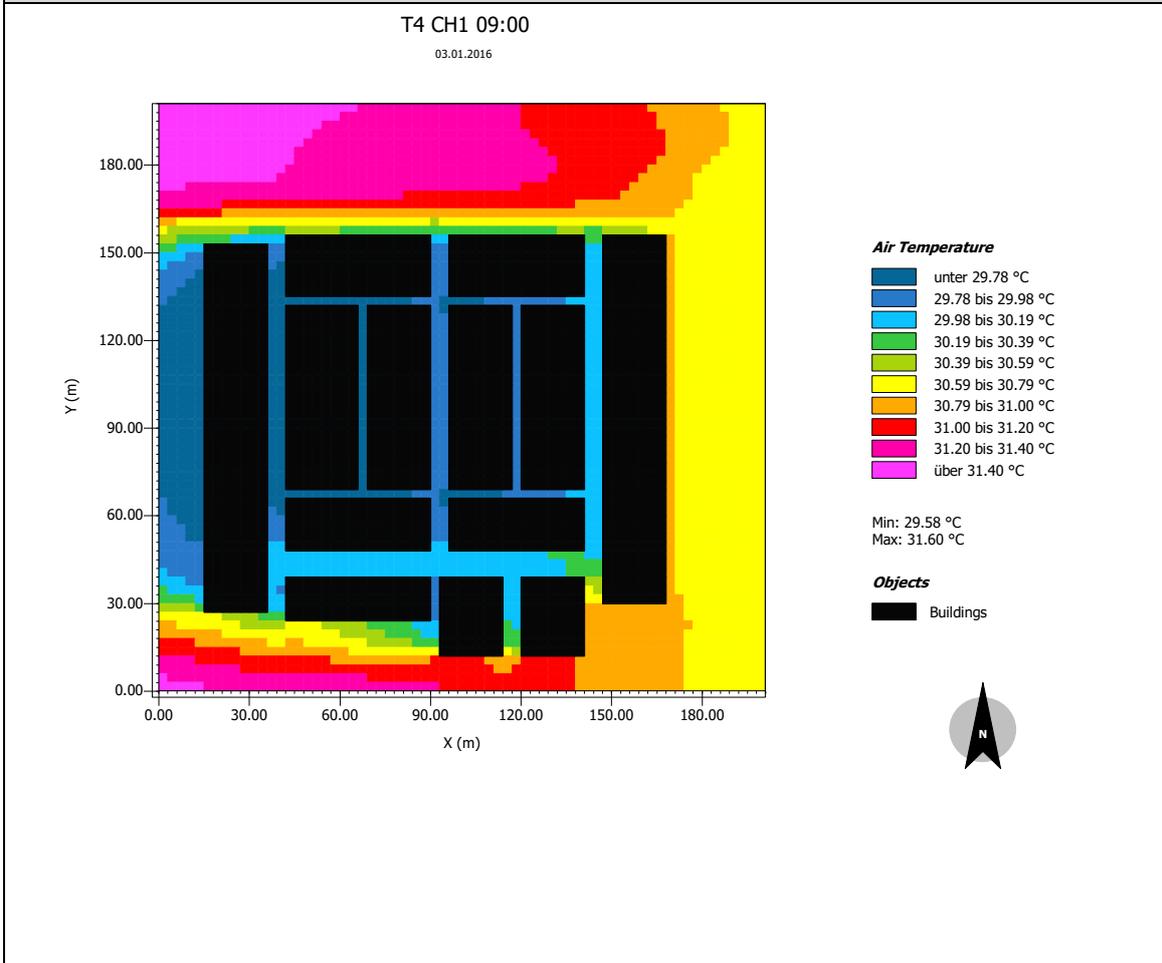
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 09:00

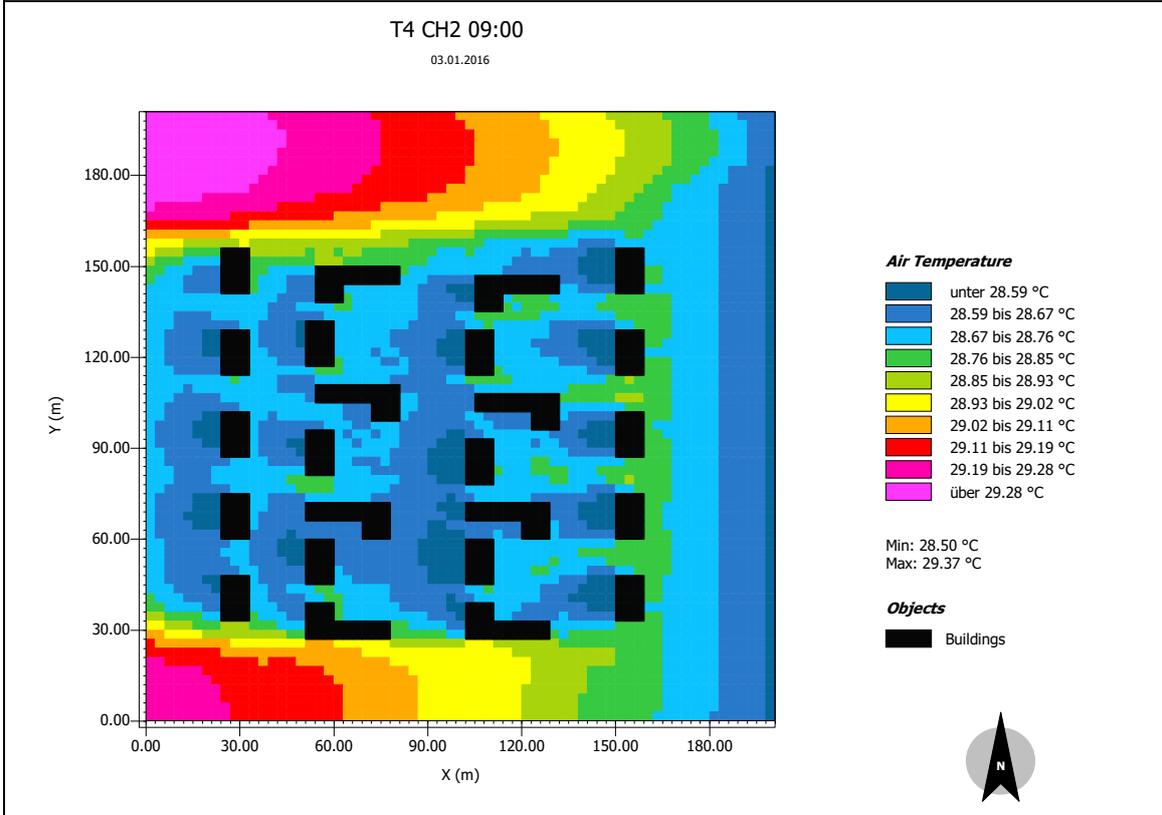


T4 CH1

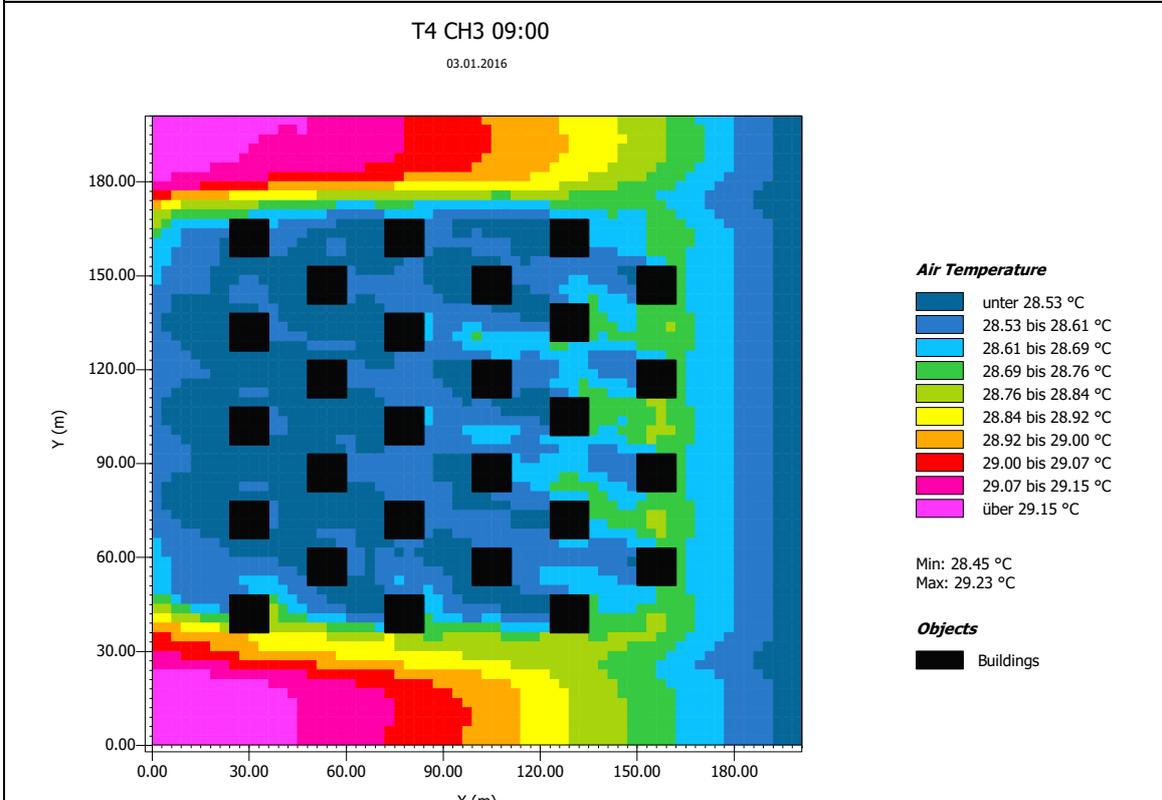


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 09:00

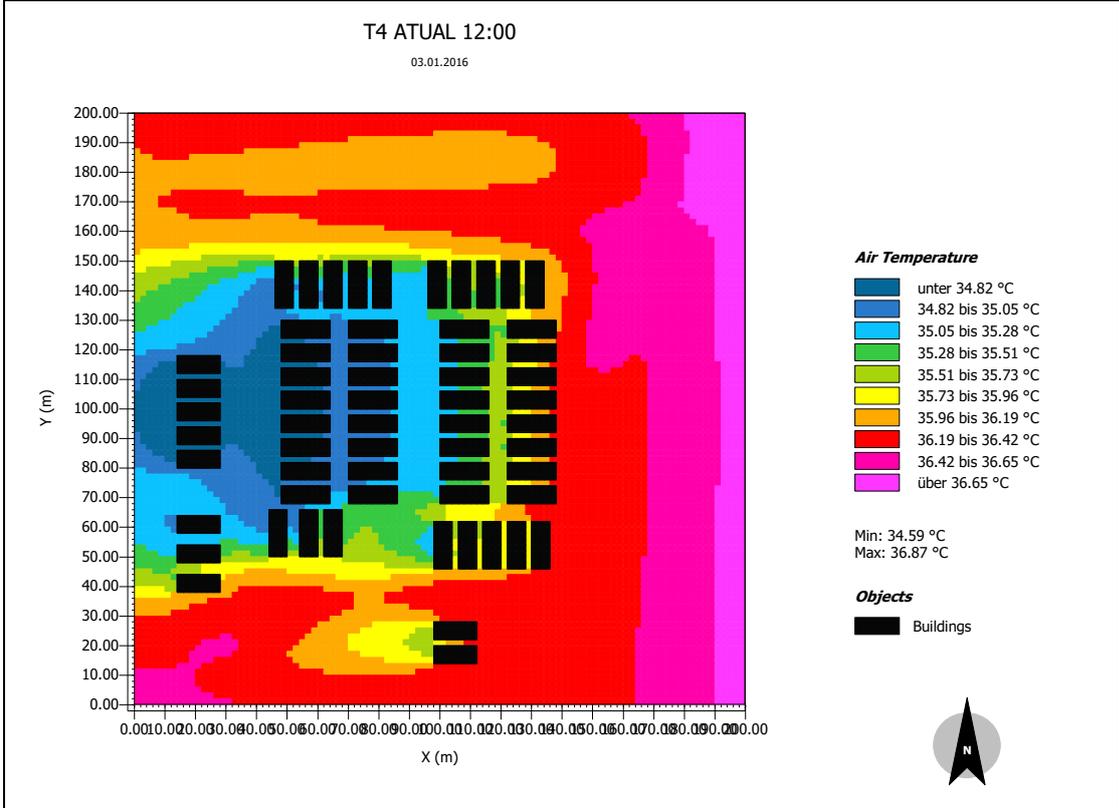
T4CH2



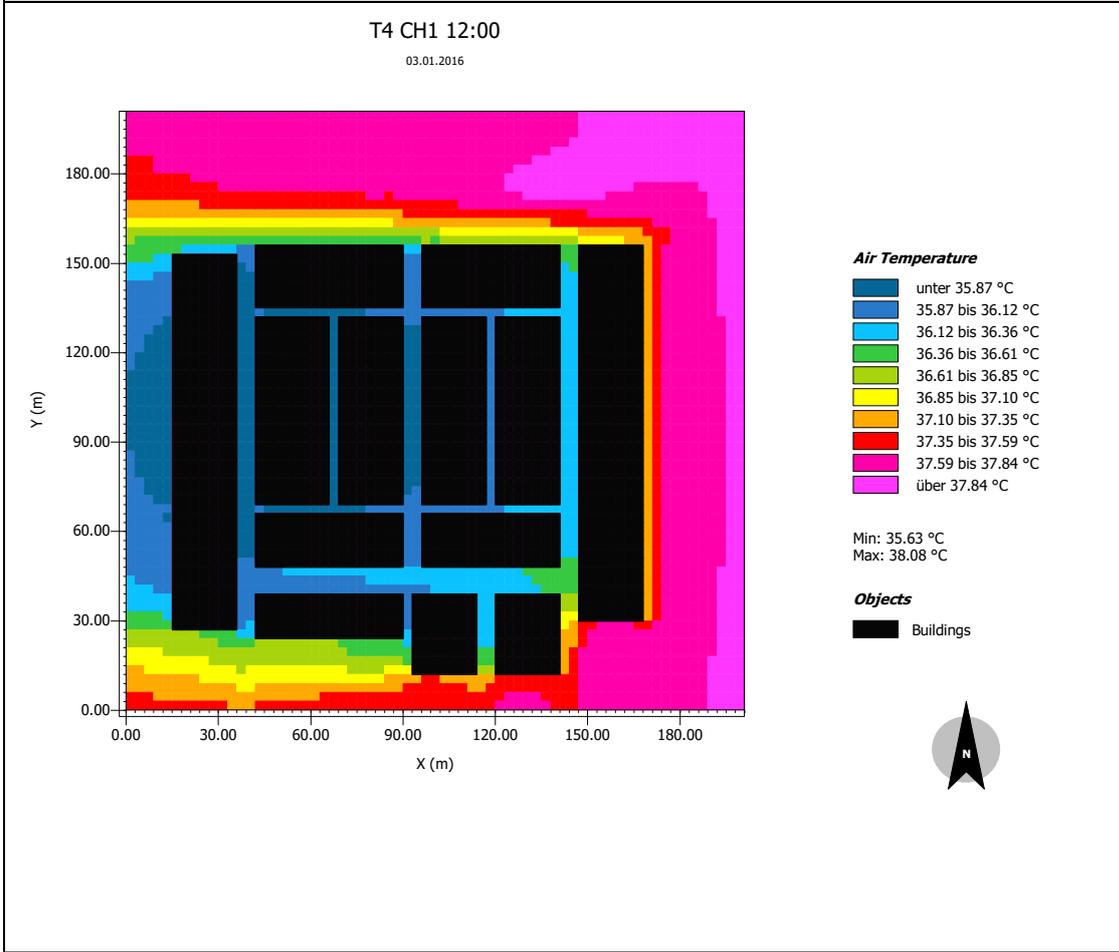
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

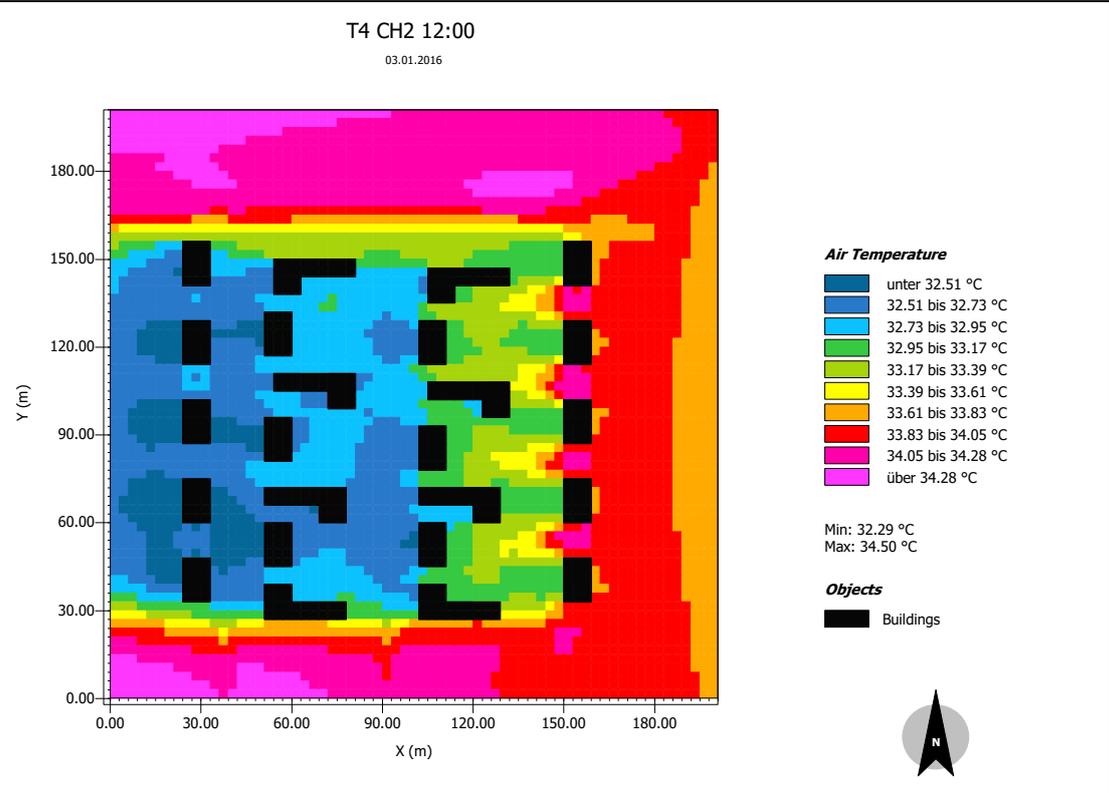


T4 CH1

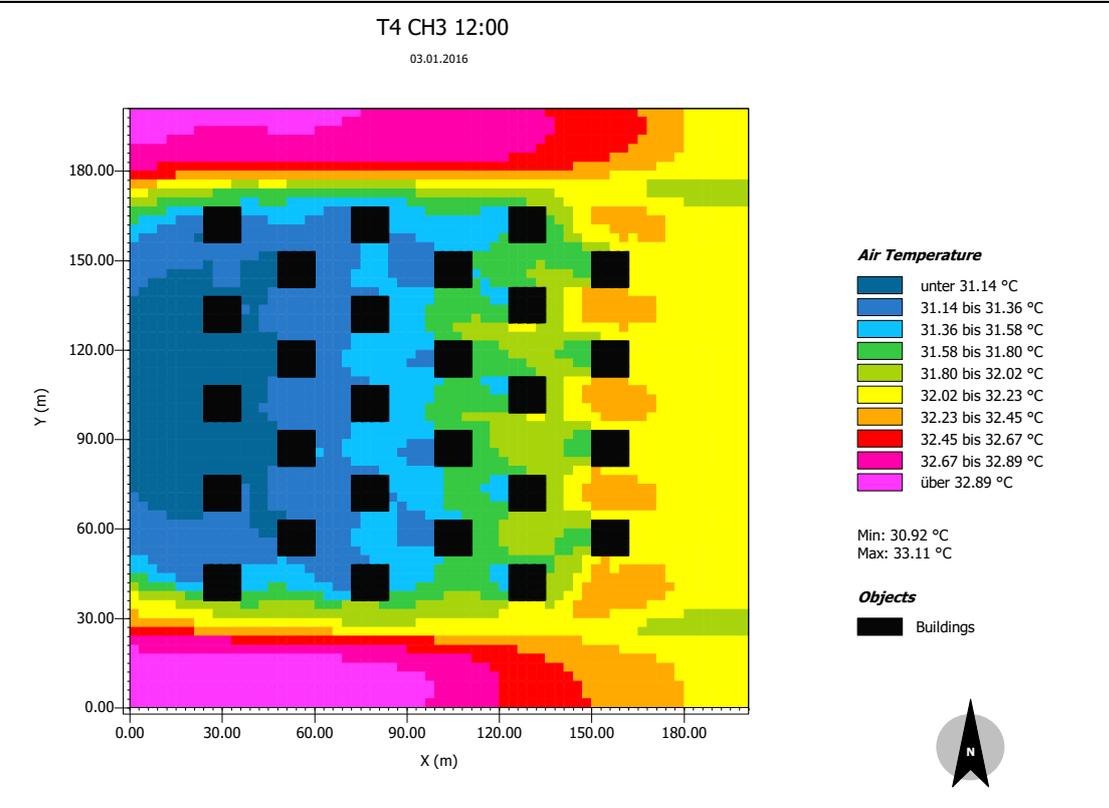


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 12:00

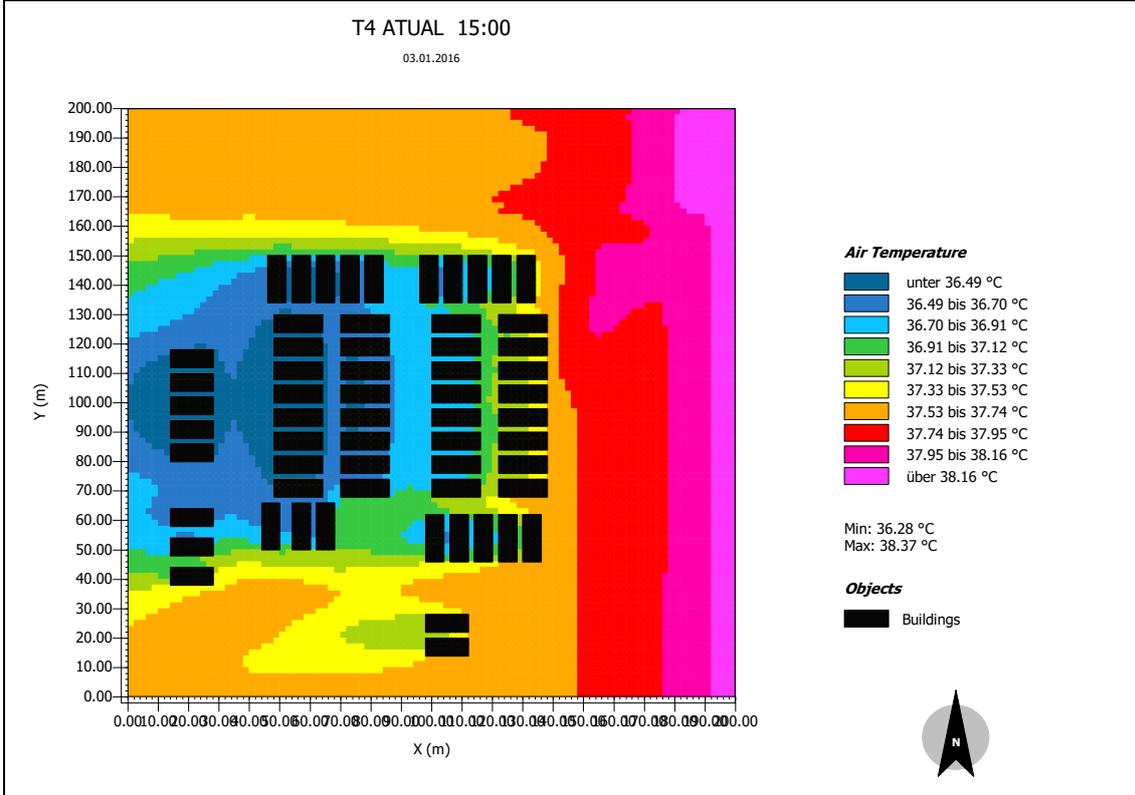
T4 CH2



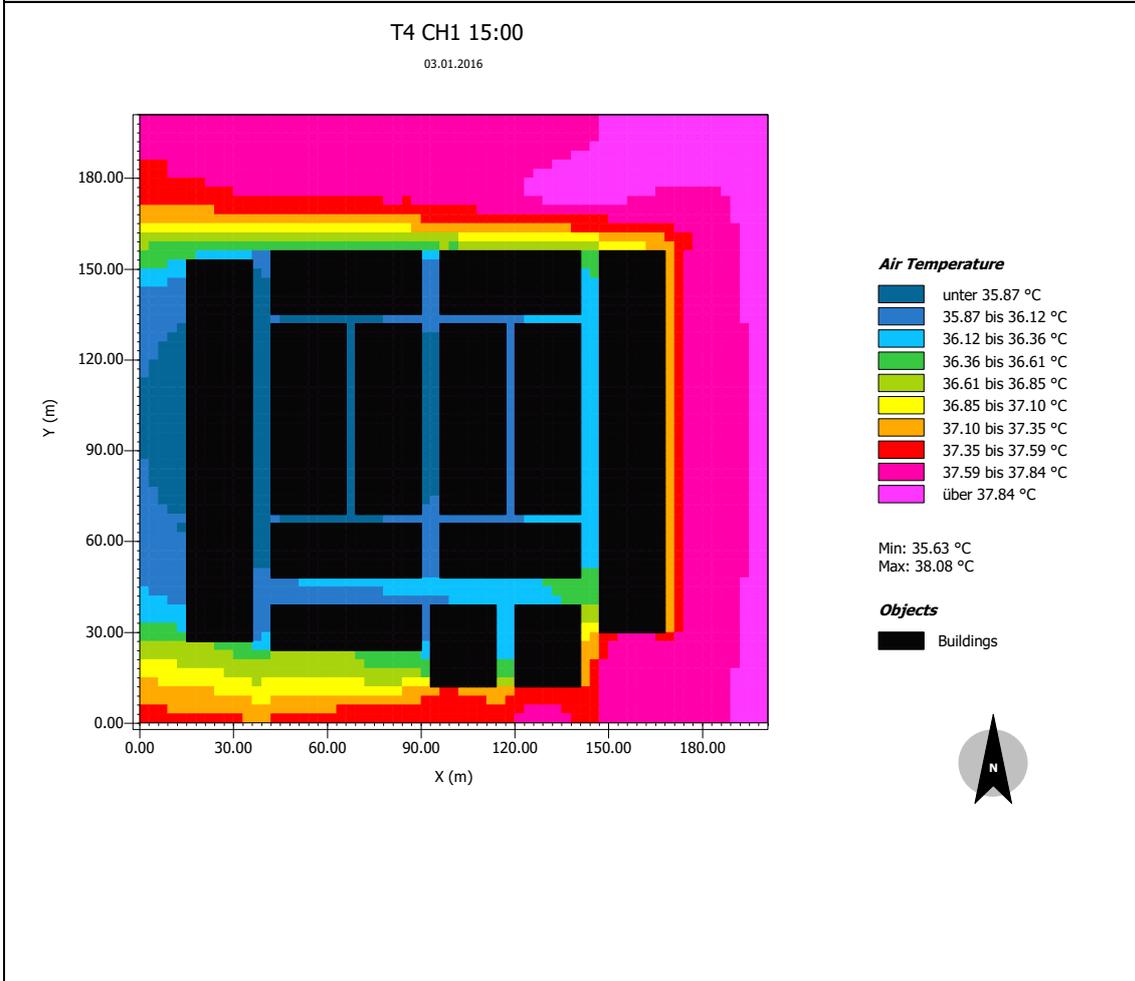
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00

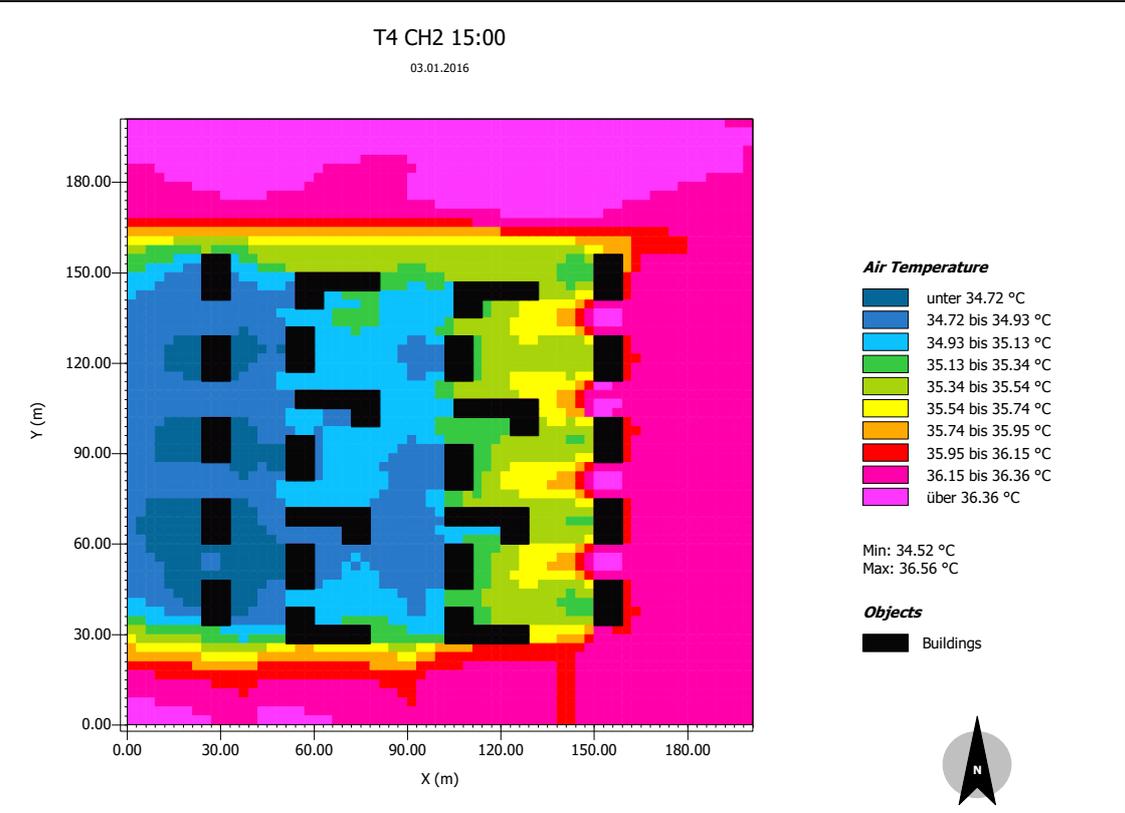


T4 CH1

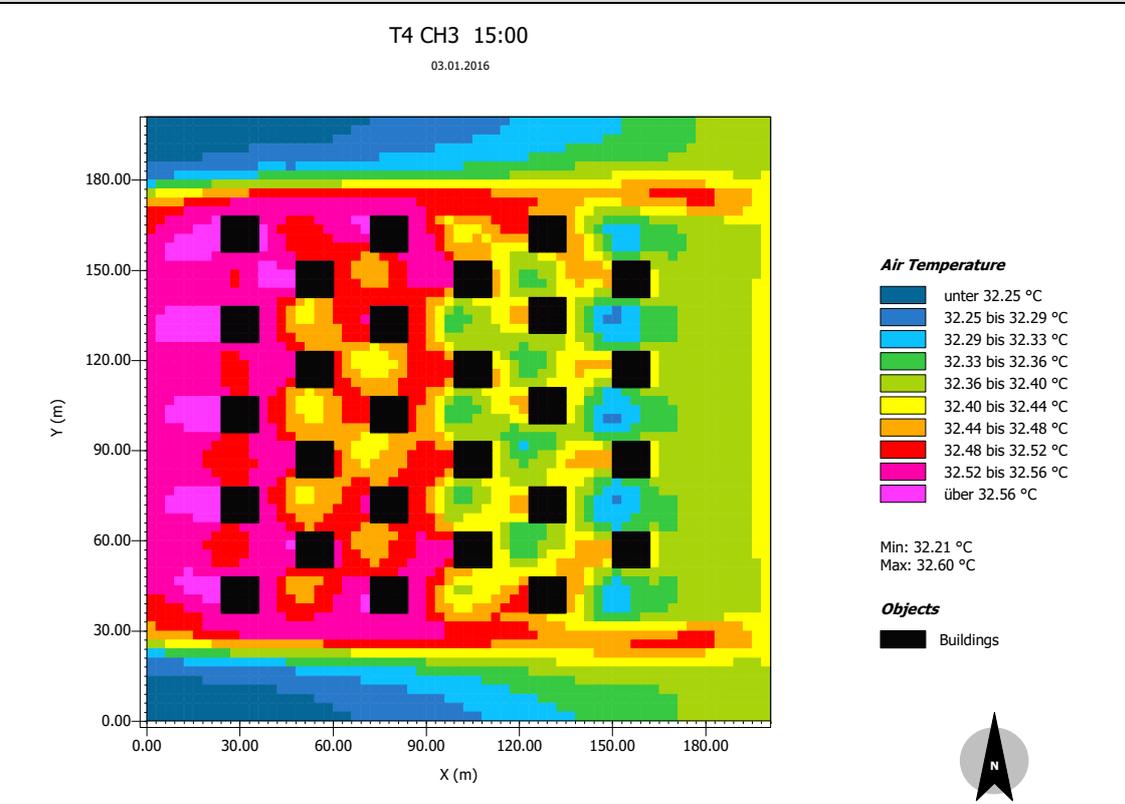


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 15:00

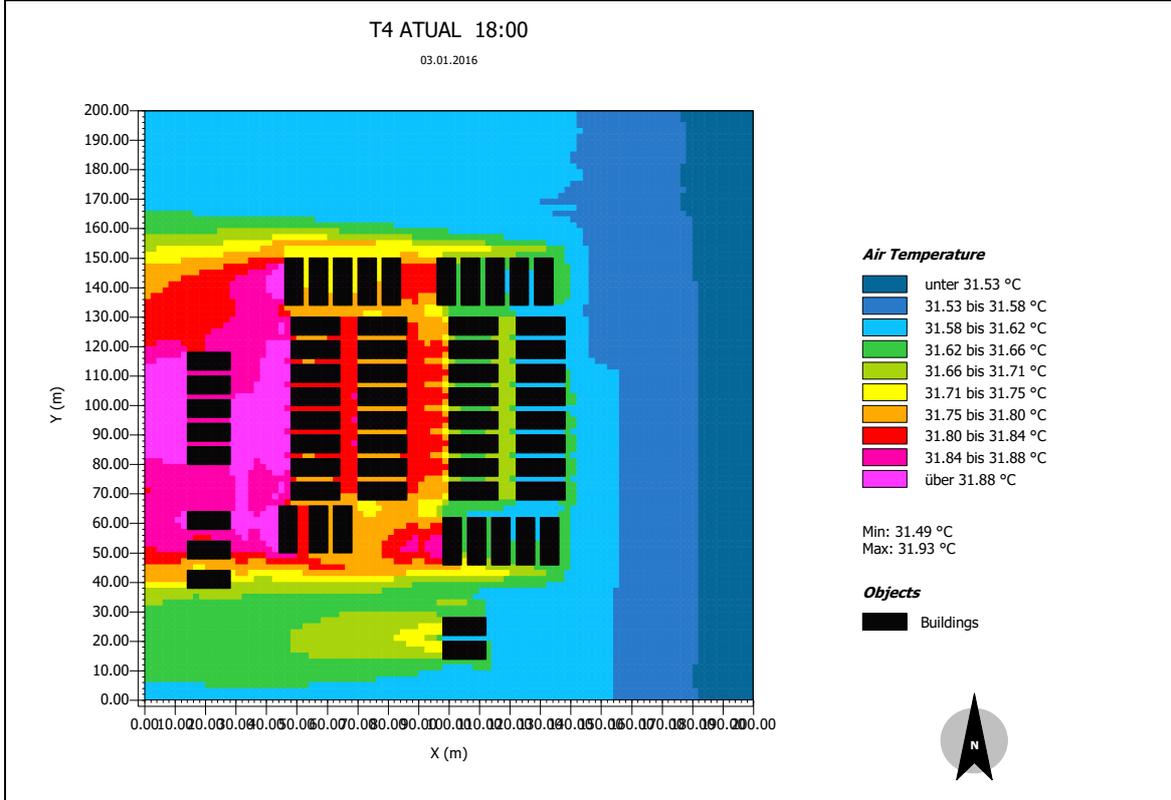
T4 CH2



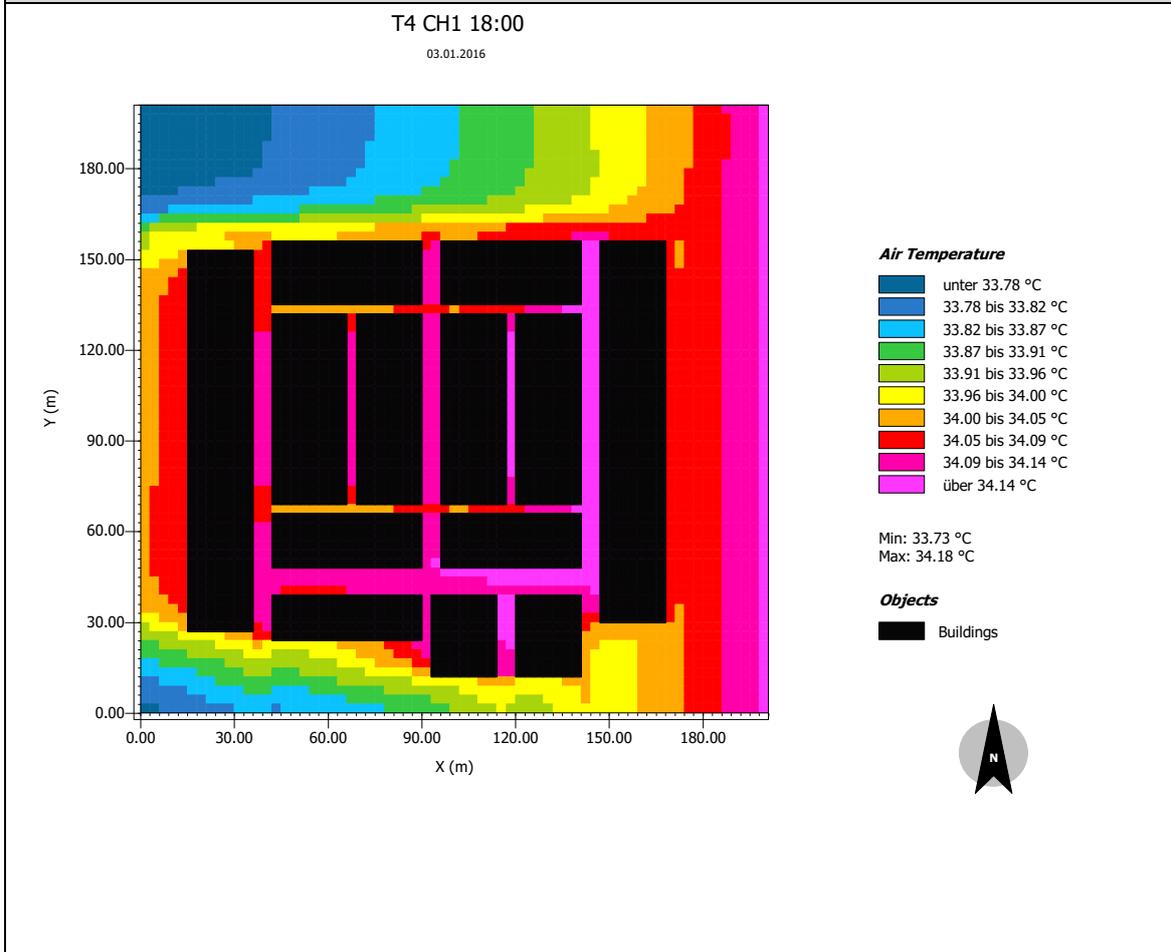
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00



T4 CH1

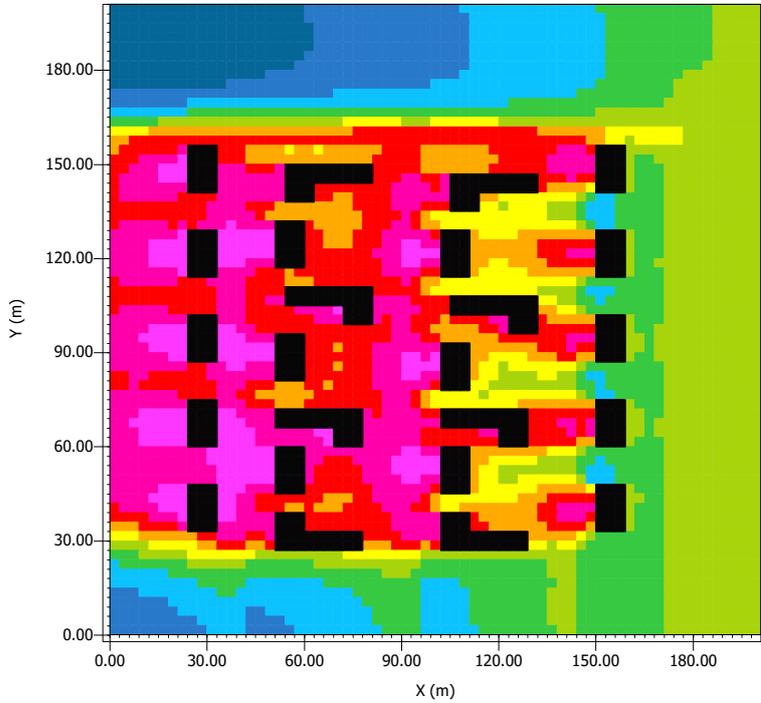


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 18:00

T4CH2

T4 CH2 18:00

03.01.2016



Air Temperature

- unter 32.22 °C
- 32.22 bis 32.27 °C
- 32.27 bis 32.31 °C
- 32.31 bis 32.36 °C
- 32.36 bis 32.40 °C
- 32.40 bis 32.44 °C
- 32.44 bis 32.49 °C
- 32.49 bis 32.53 °C
- 32.53 bis 32.58 °C
- über 32.58 °C

Min: 32.18 °C
Max: 32.62 °C

Objects

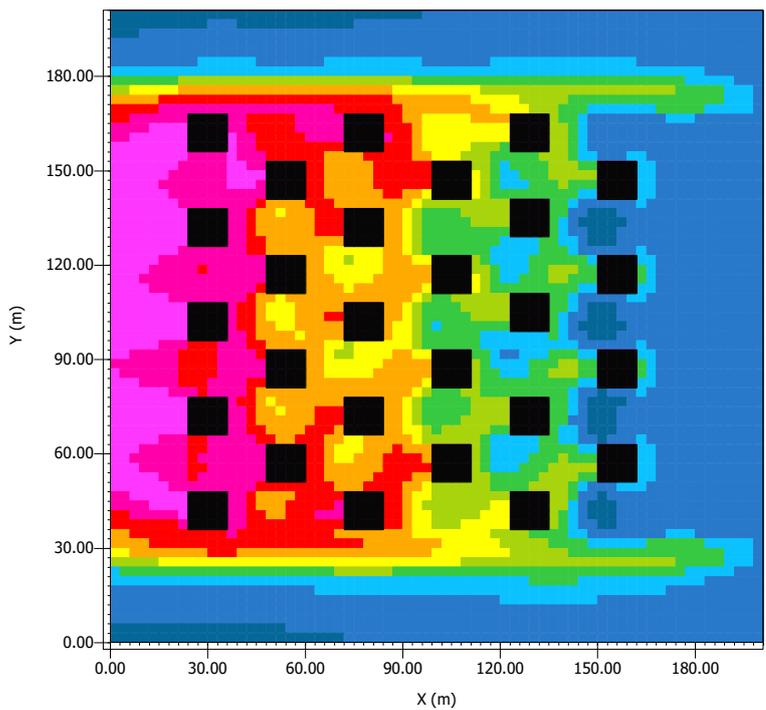
- Buildings



T4 CH3

T4 CH3 18:00

03.01.2016



Air Temperature

- unter 30.49 °C
- 30.49 bis 30.56 °C
- 30.56 bis 30.62 °C
- 30.62 bis 30.69 °C
- 30.69 bis 30.75 °C
- 30.75 bis 30.82 °C
- 30.82 bis 30.88 °C
- 30.88 bis 30.95 °C
- 30.95 bis 31.01 °C
- über 31.01 °C

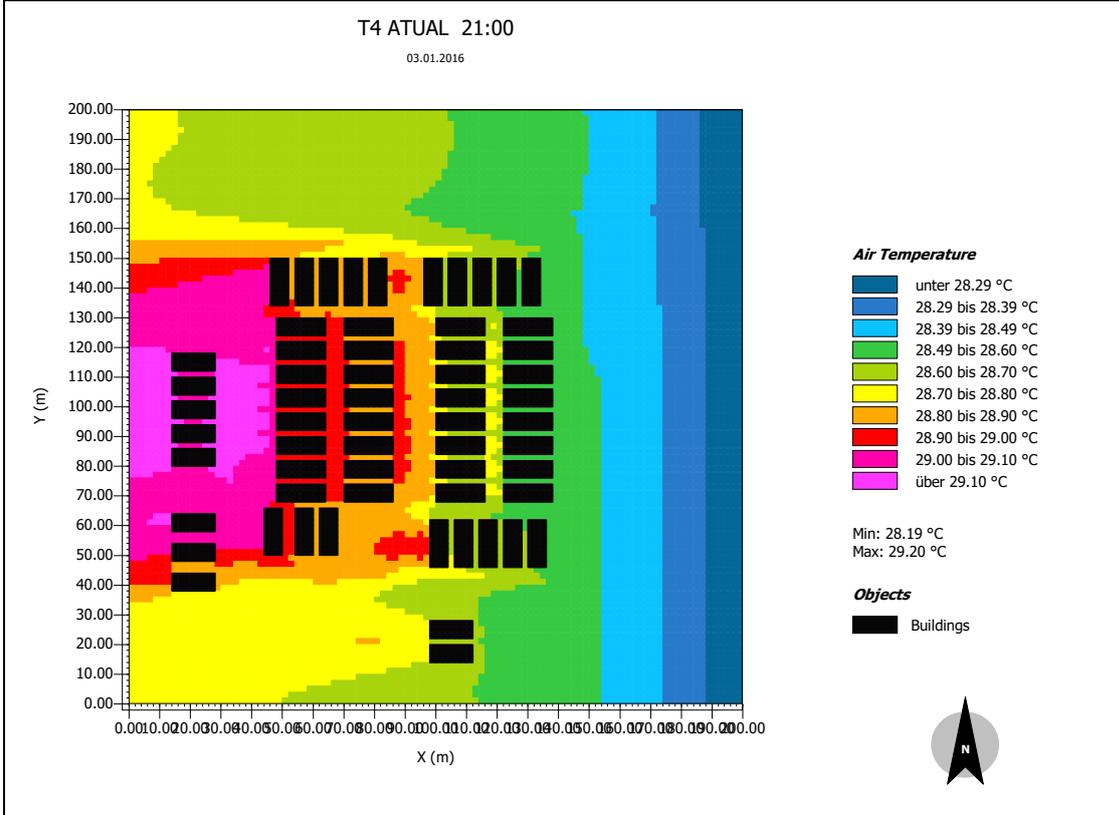
Min: 30.43 °C
Max: 31.08 °C

Objects

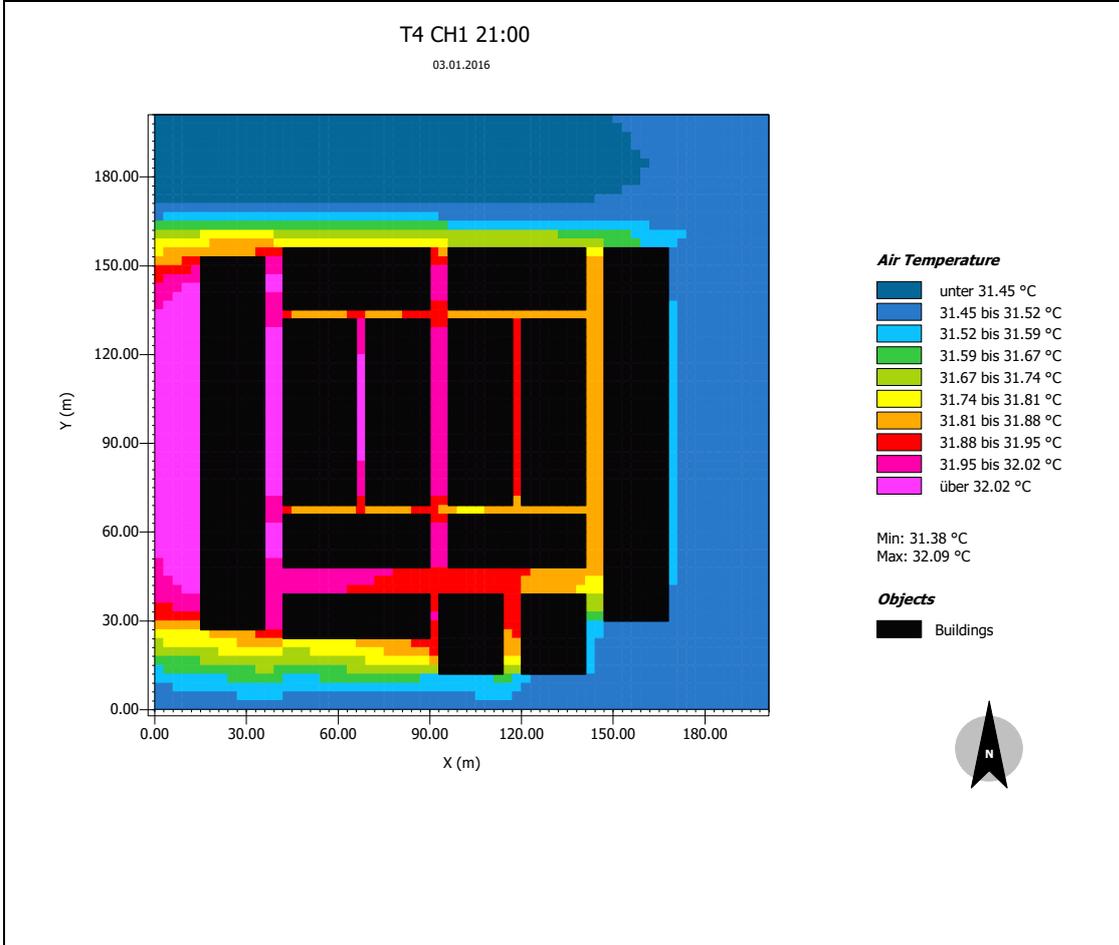
- Buildings



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

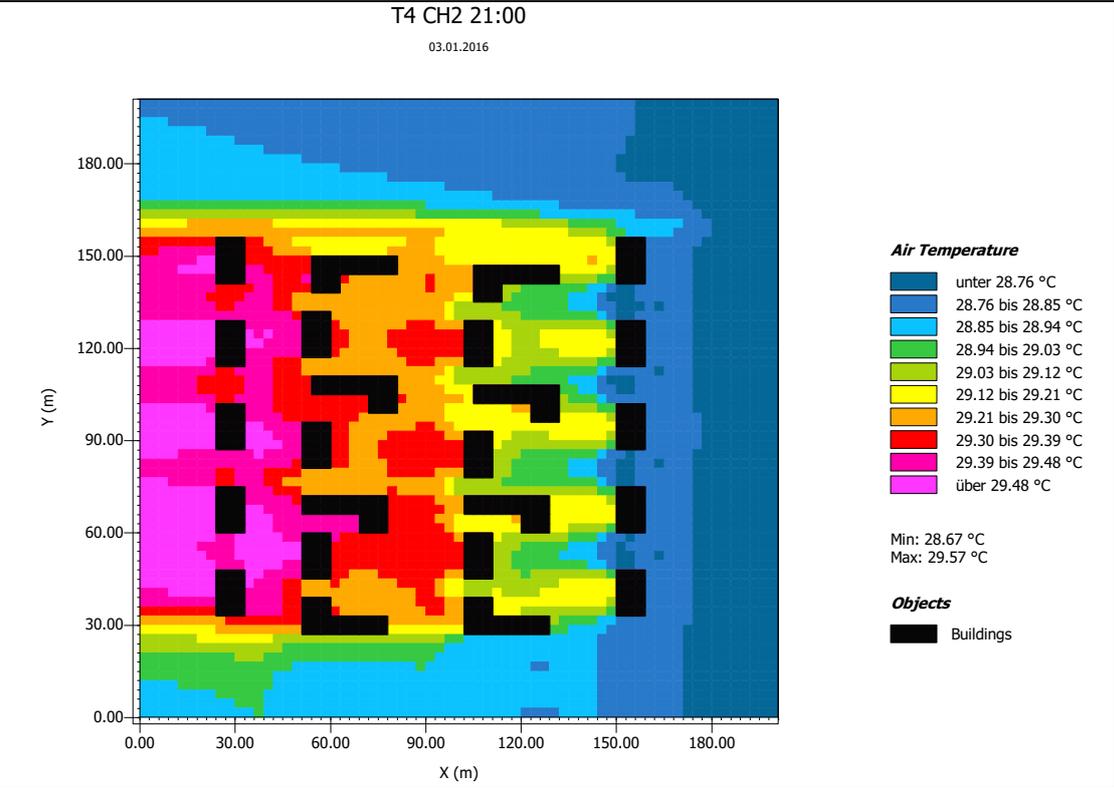


T4 CH1

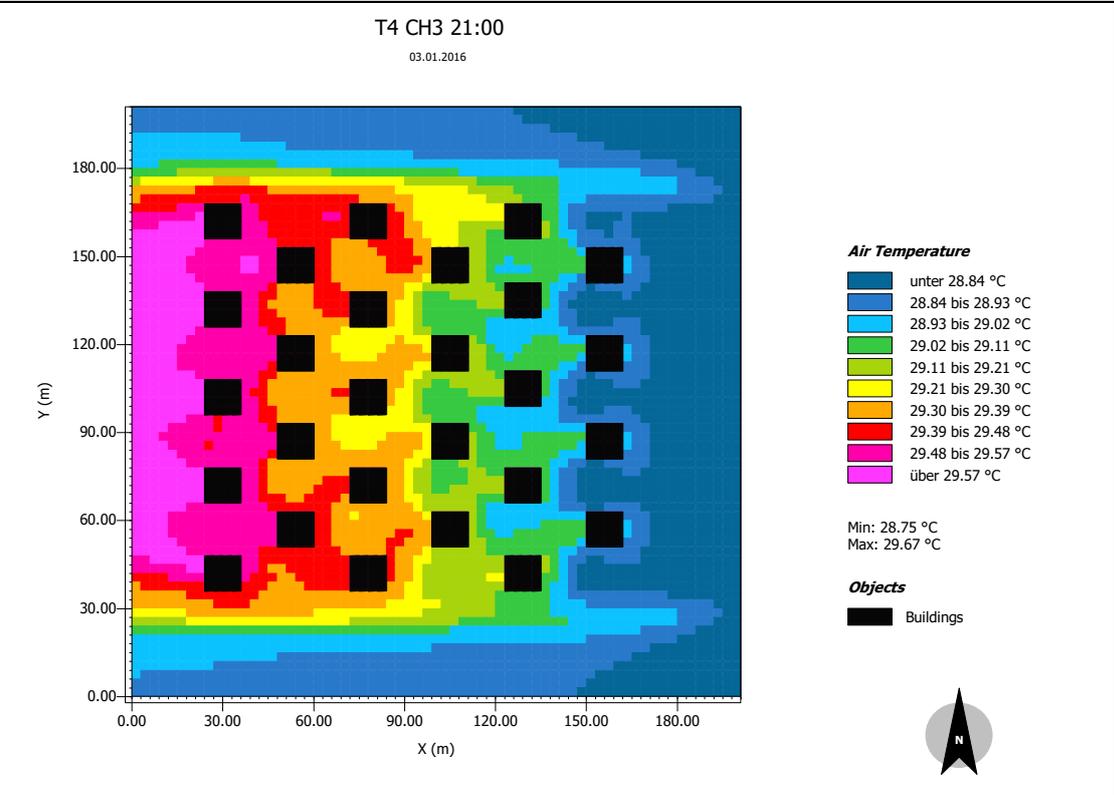


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Temperatura do ar – 21:00

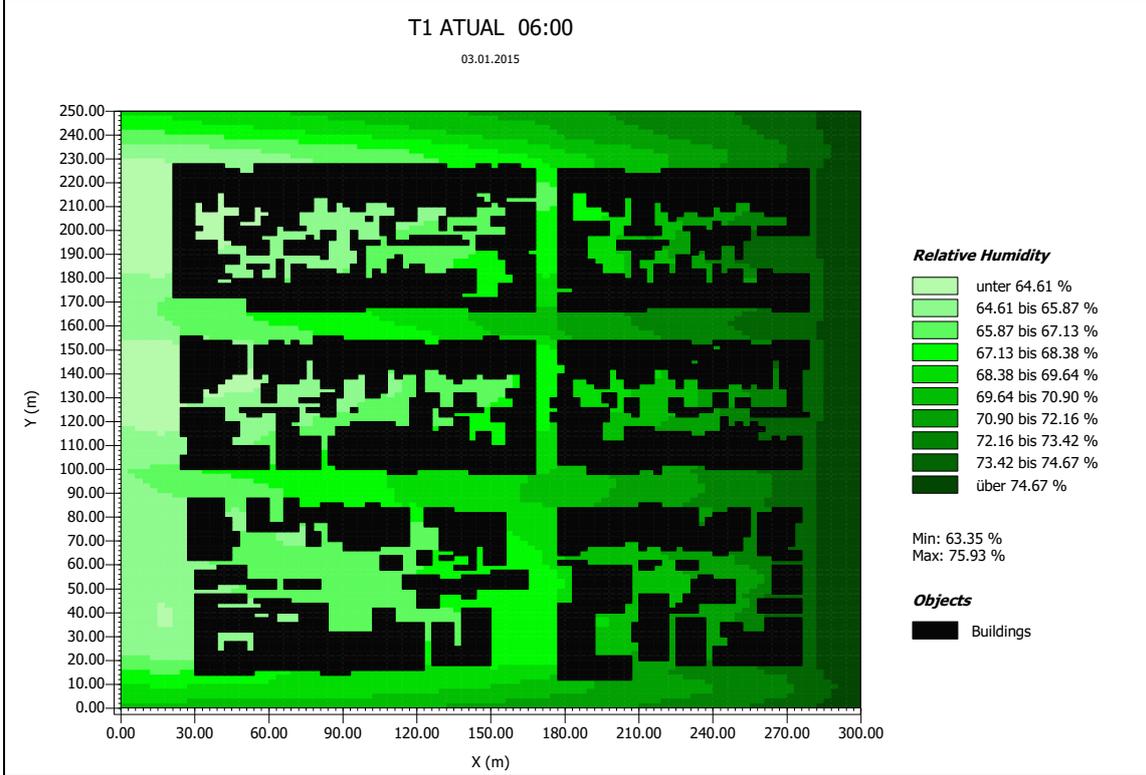
T4 CH2



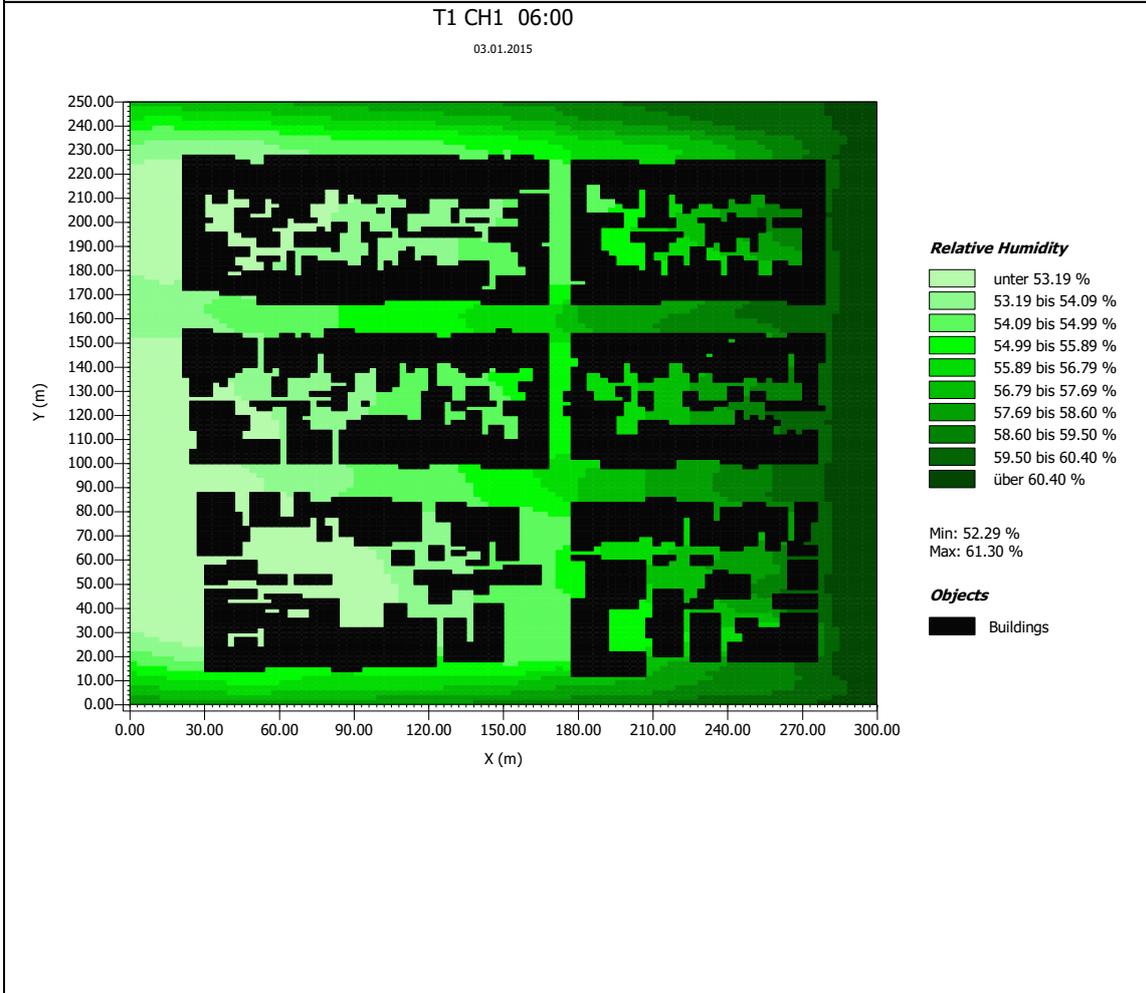
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

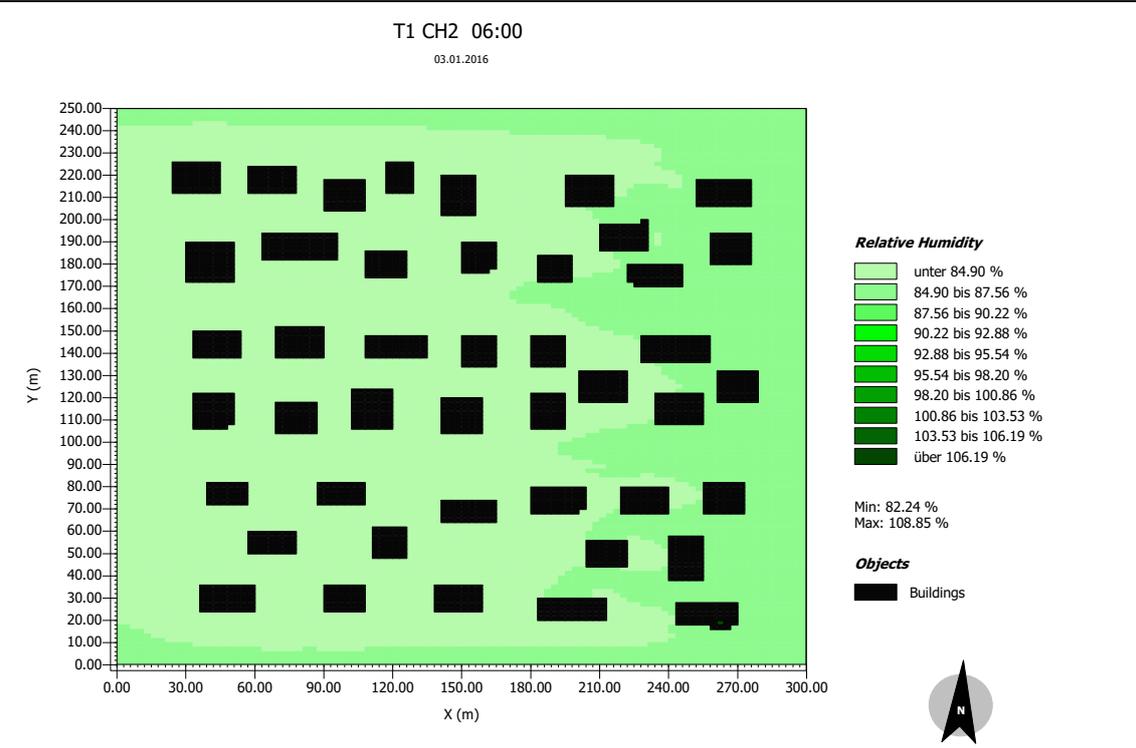


T1 CH1

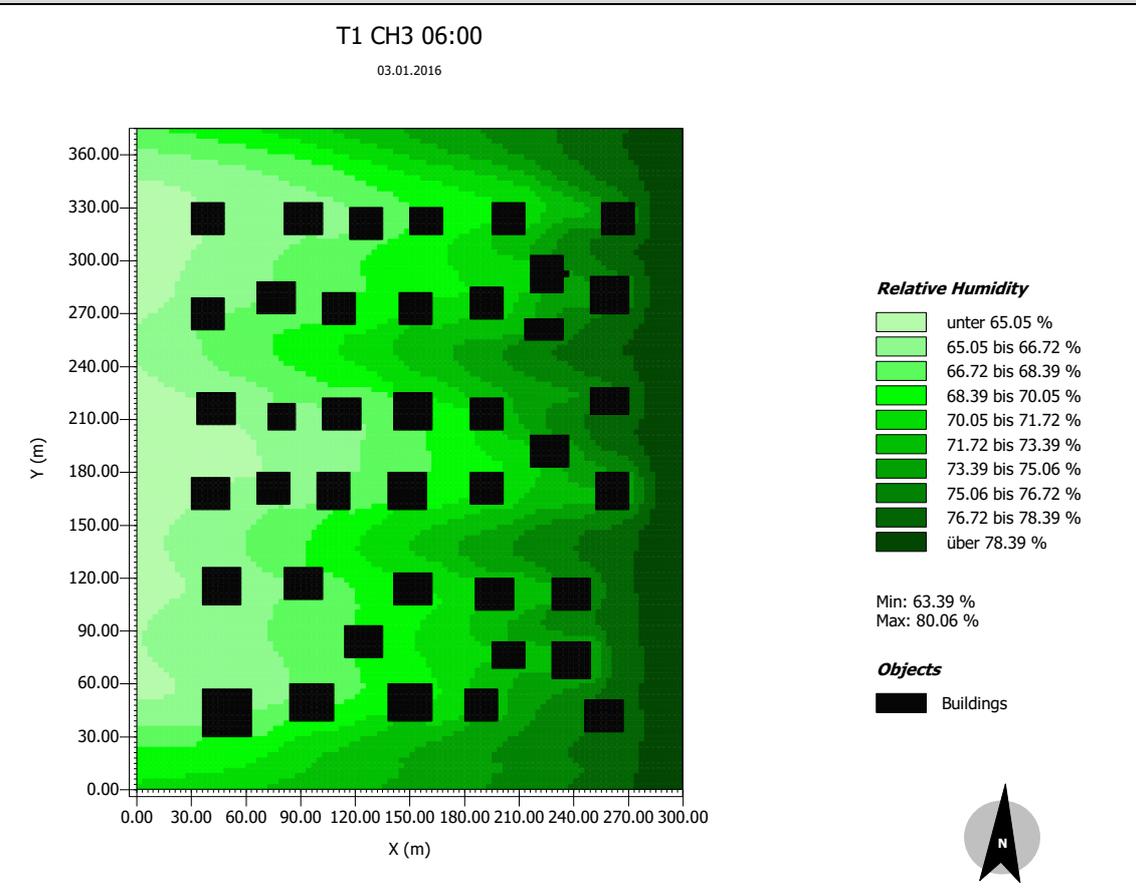


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

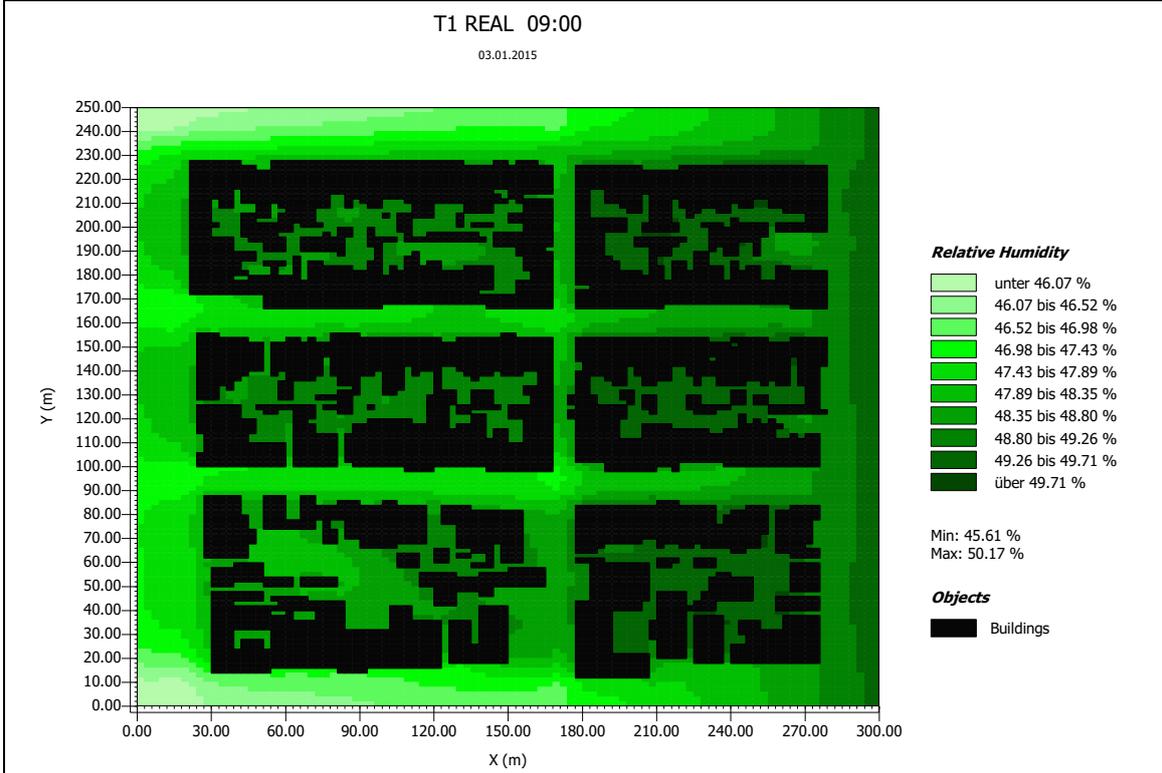
T1 CH2



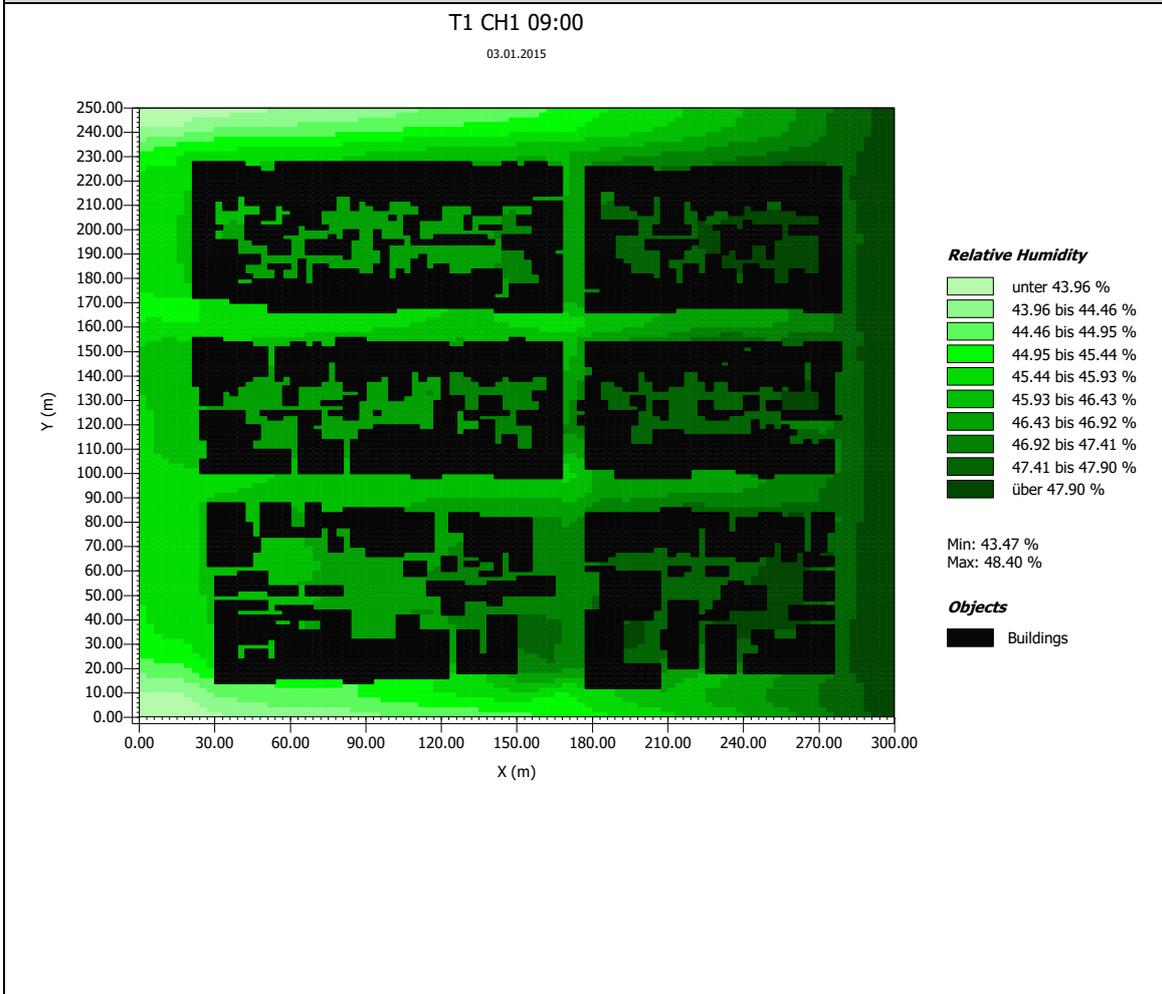
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

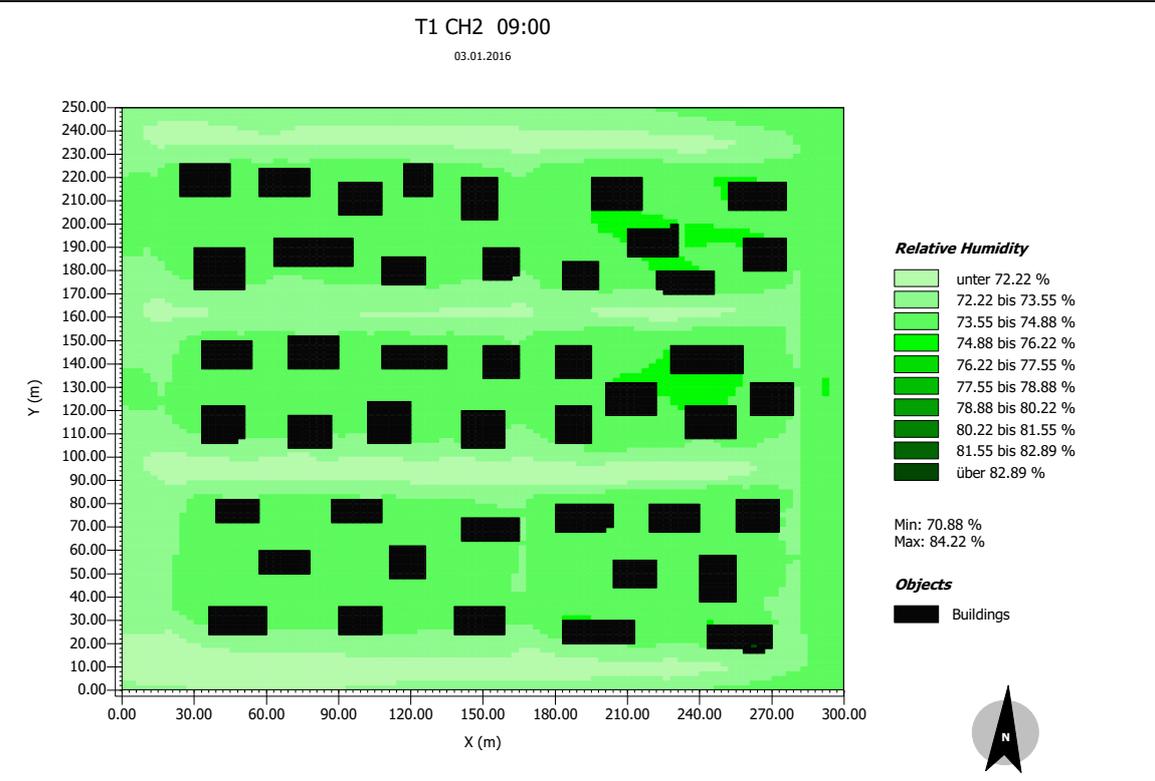


T1 CH1

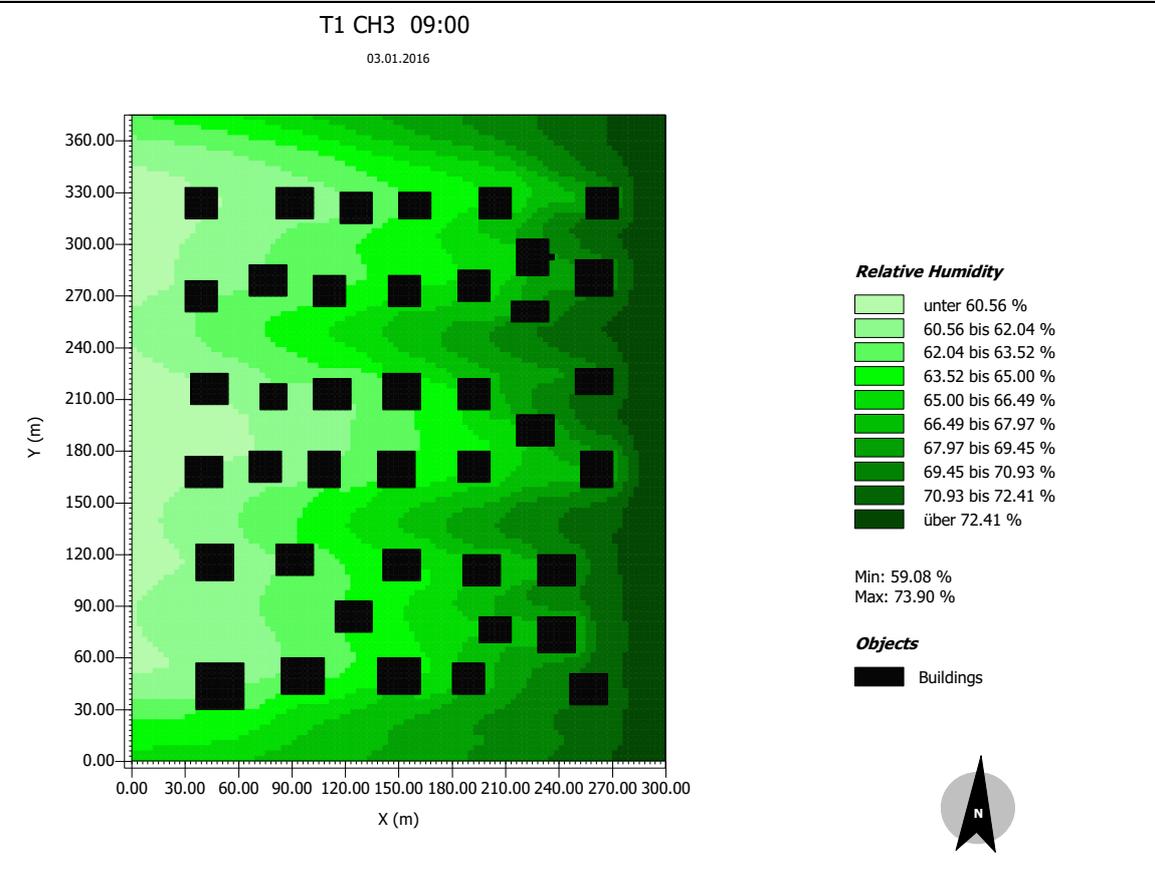


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

T1 CH2

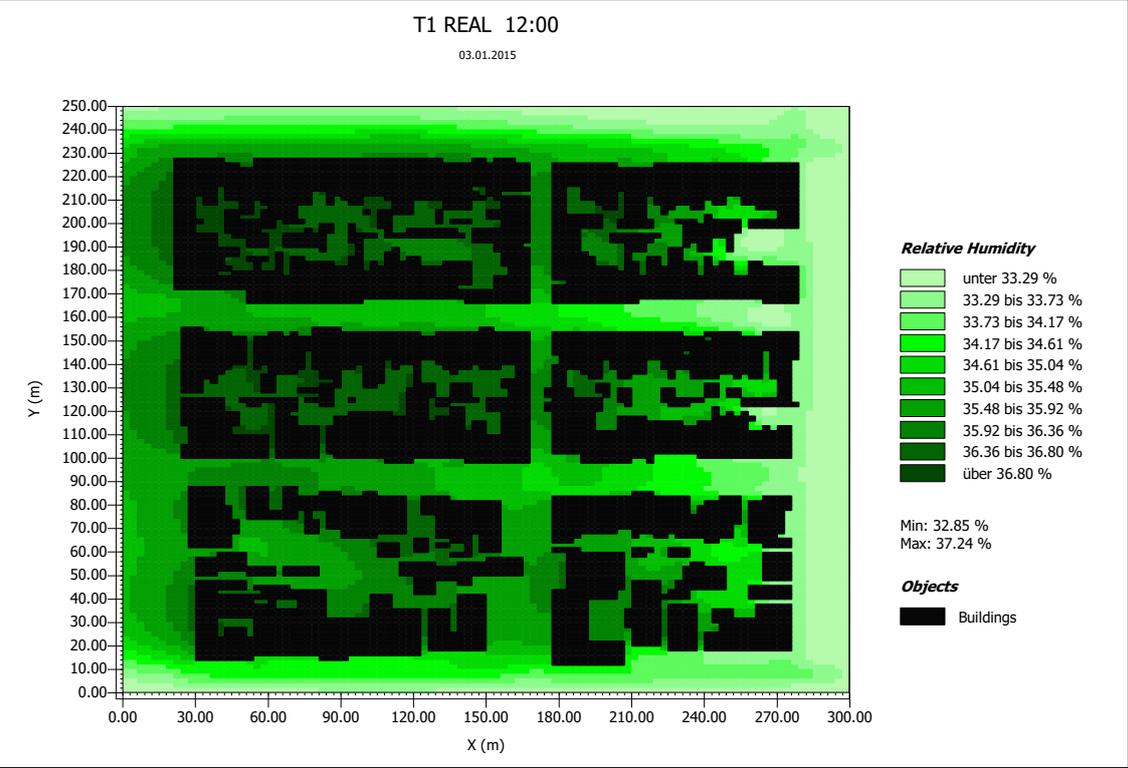


T1 CH3

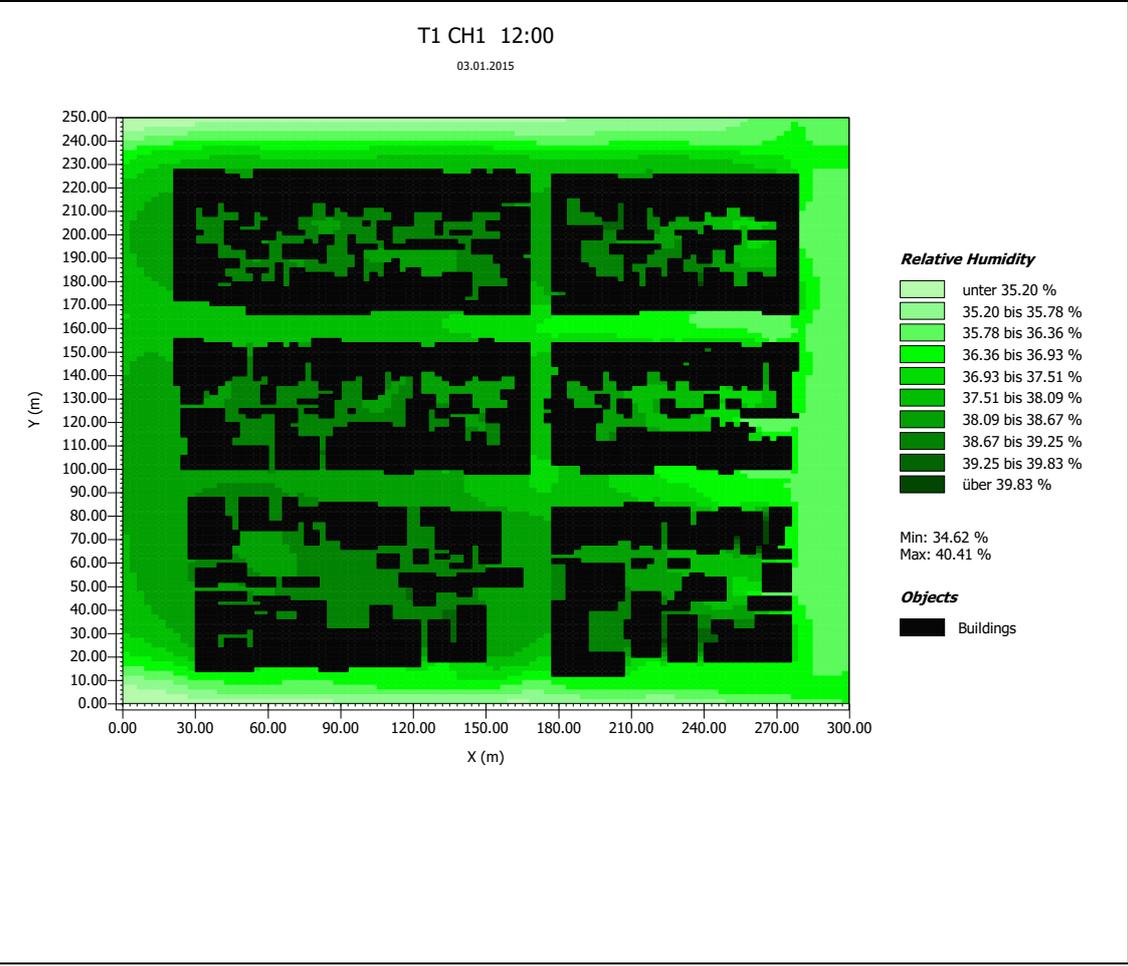


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

Tipologia 1 Condição Atual

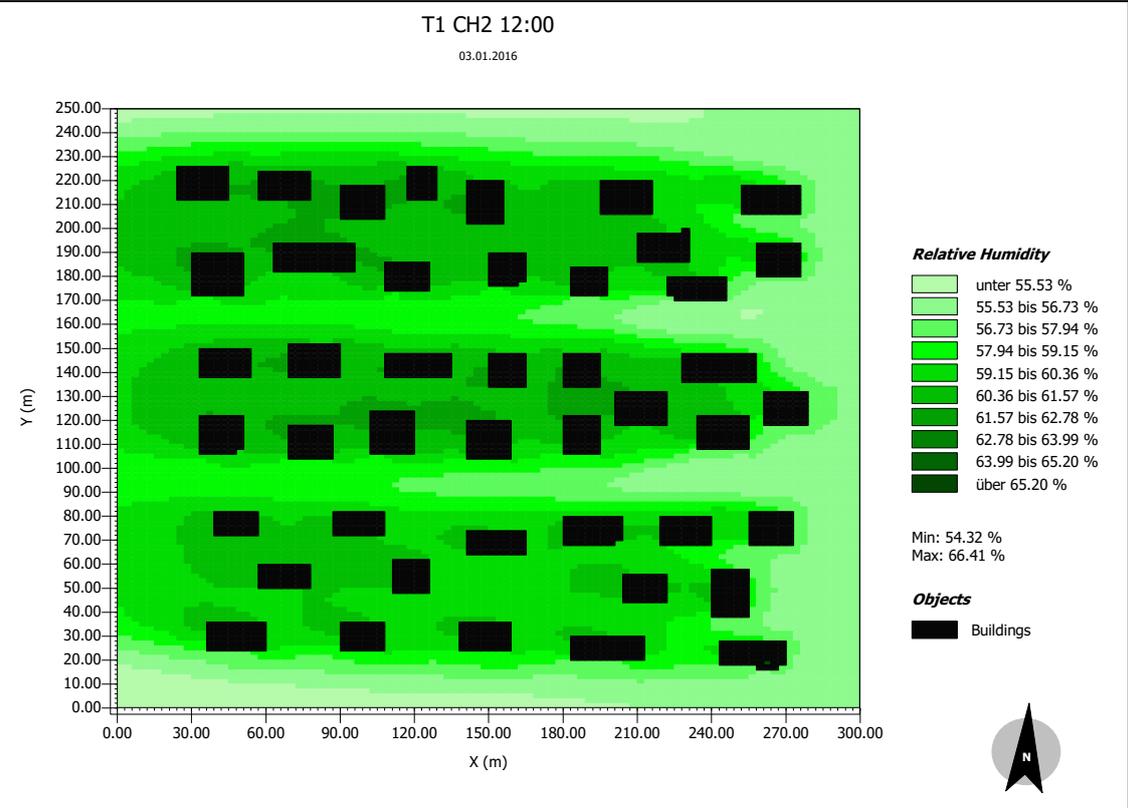


T1 CH1

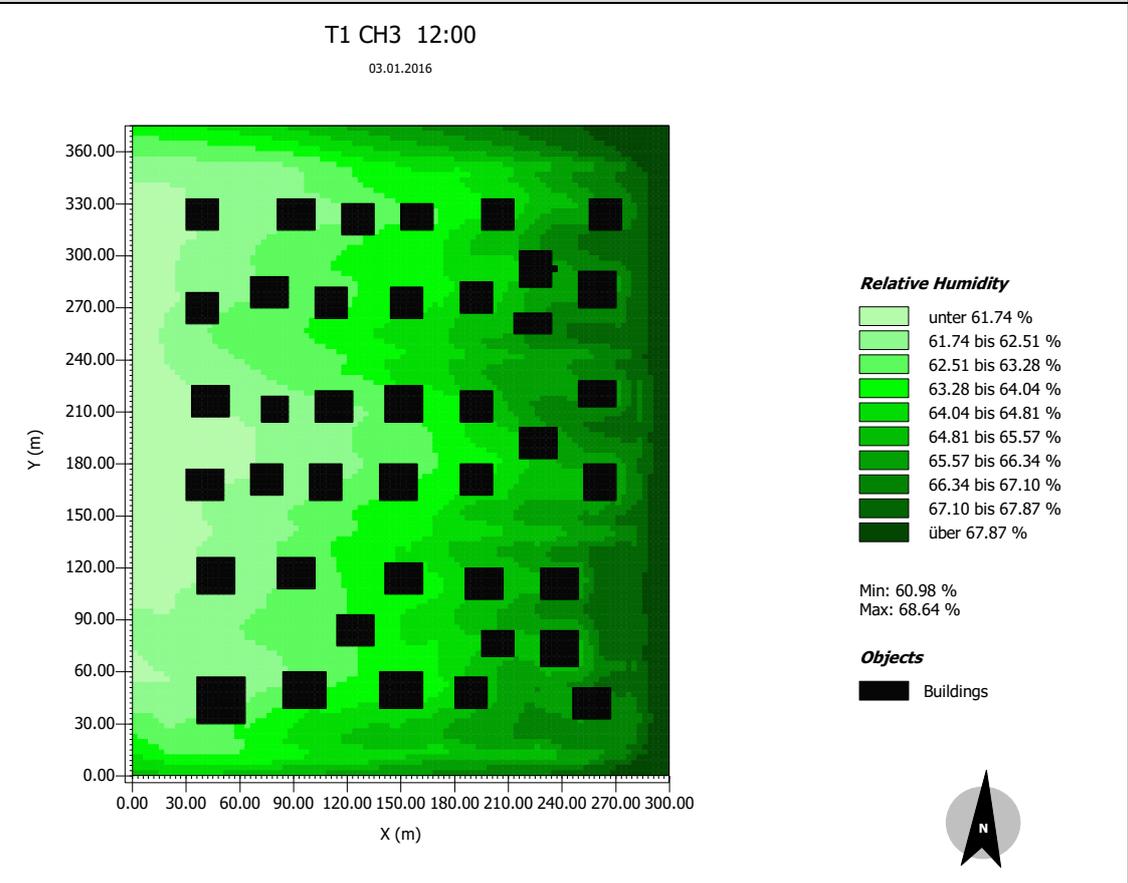


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

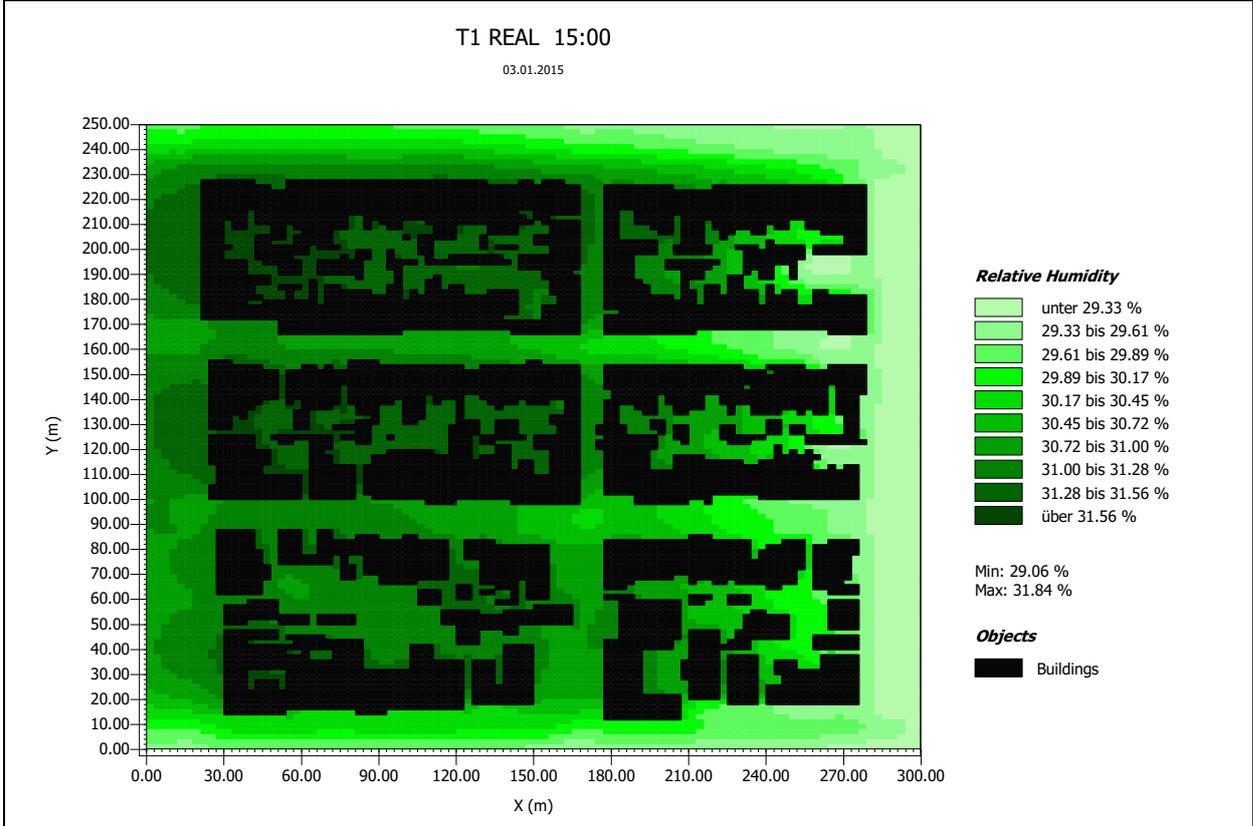
T1 CH2



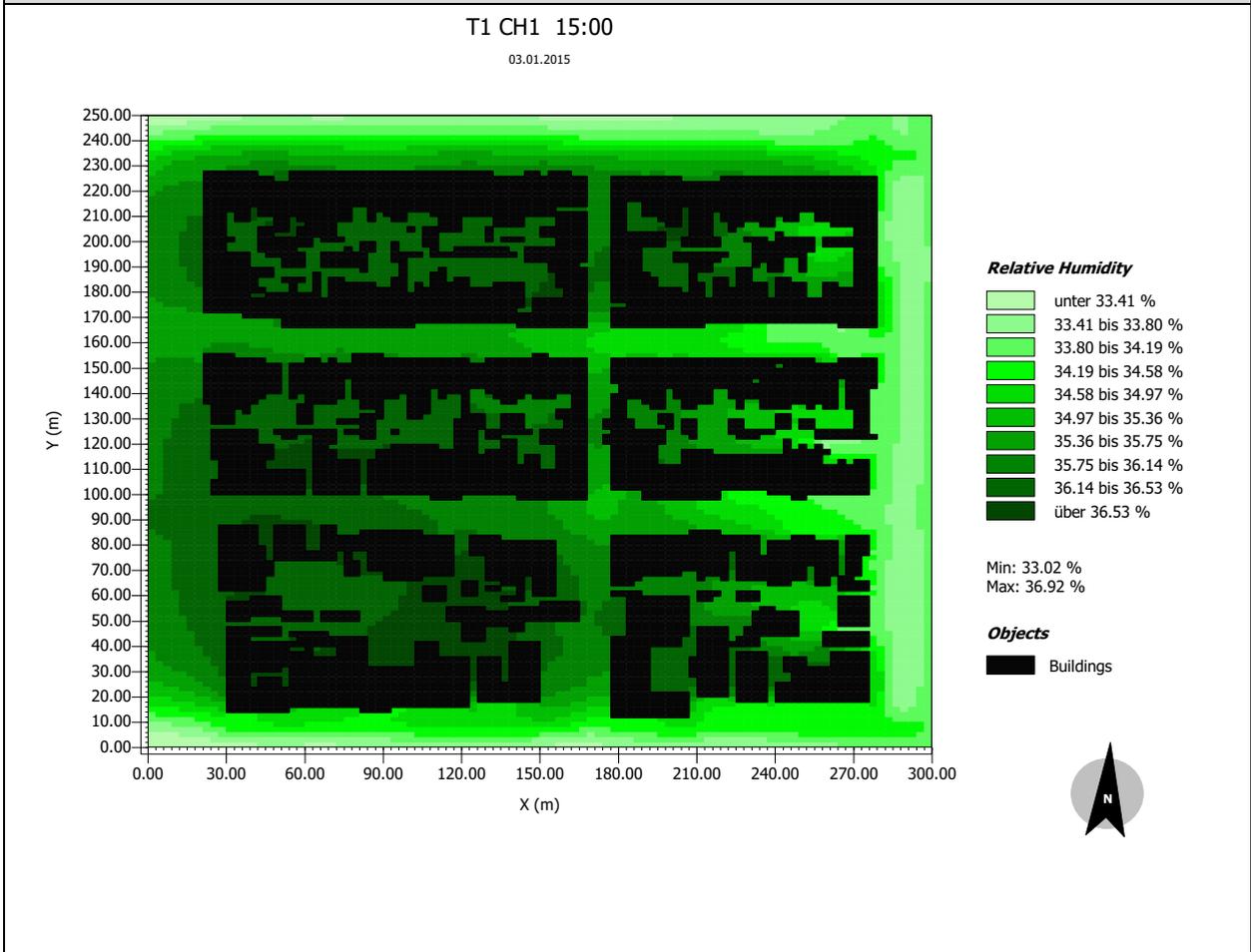
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

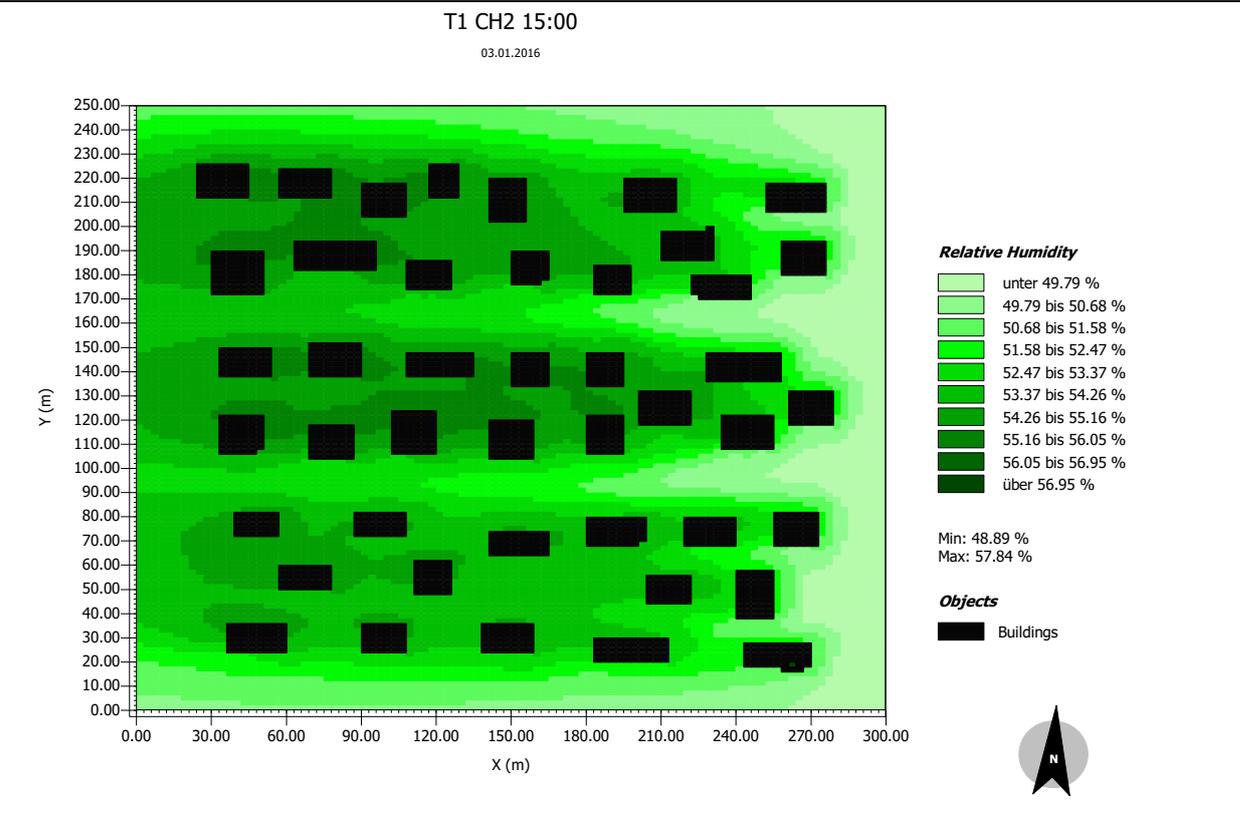


T1 CH1

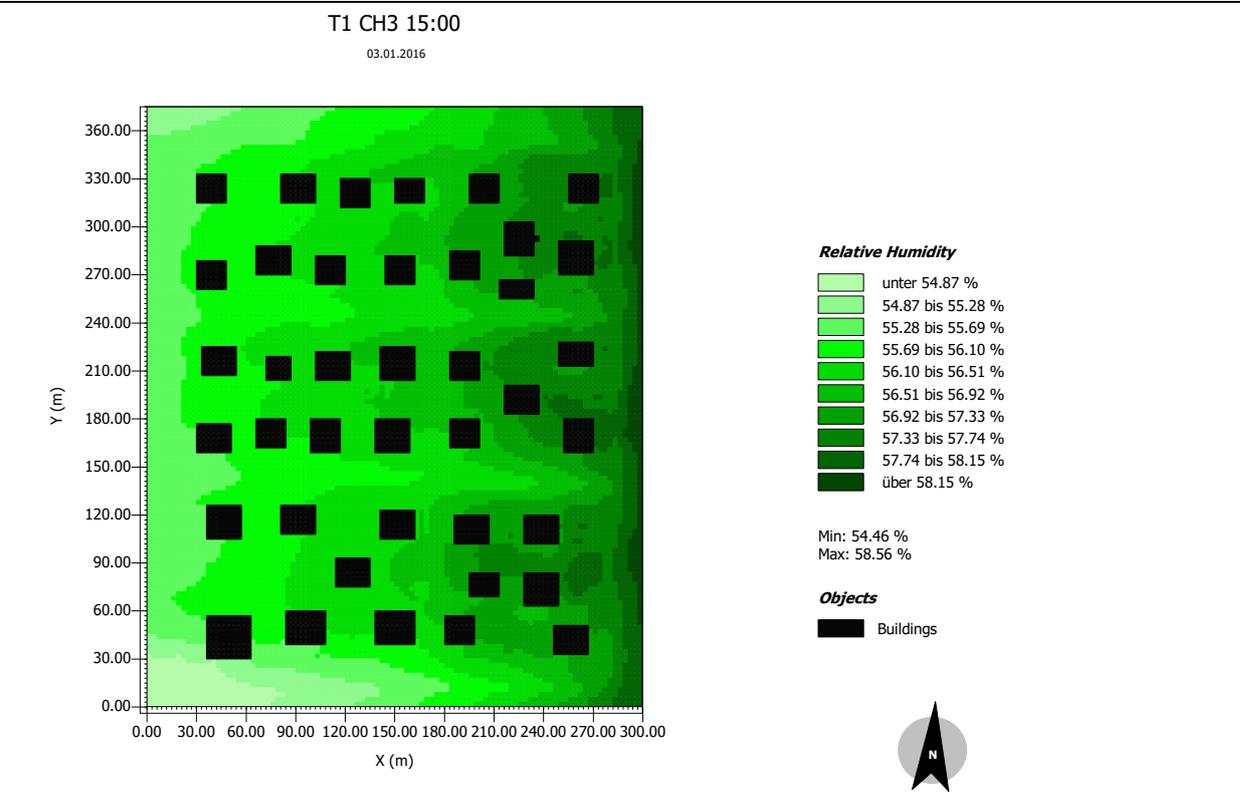


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

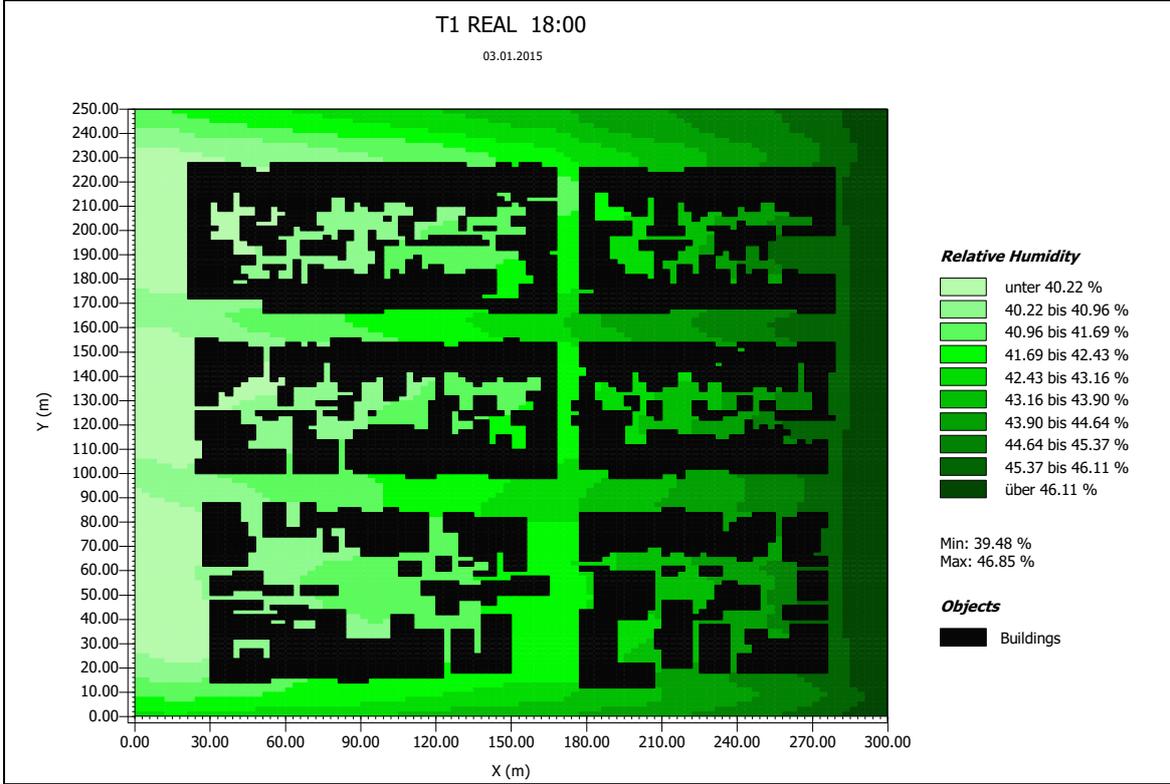
T1 CH2



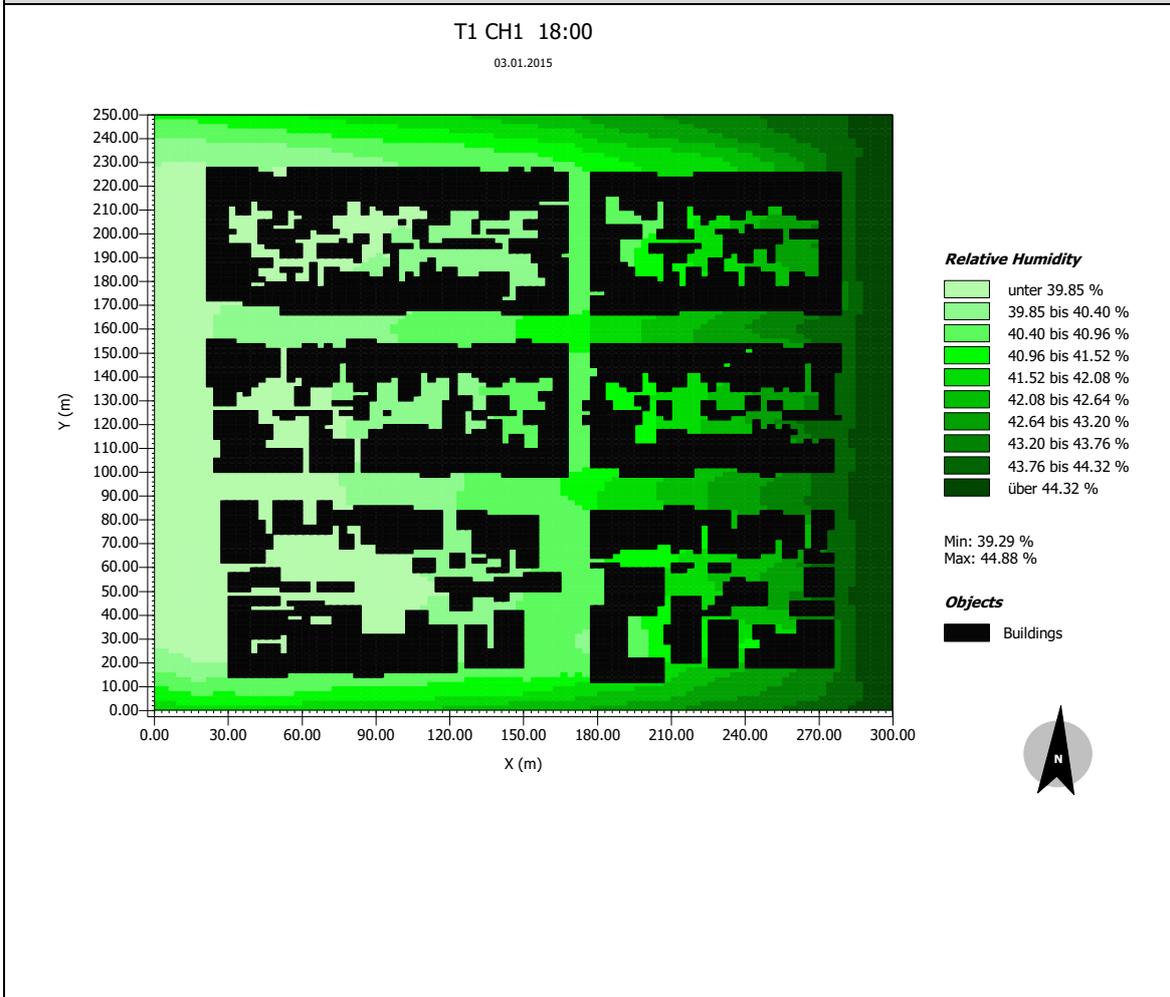
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

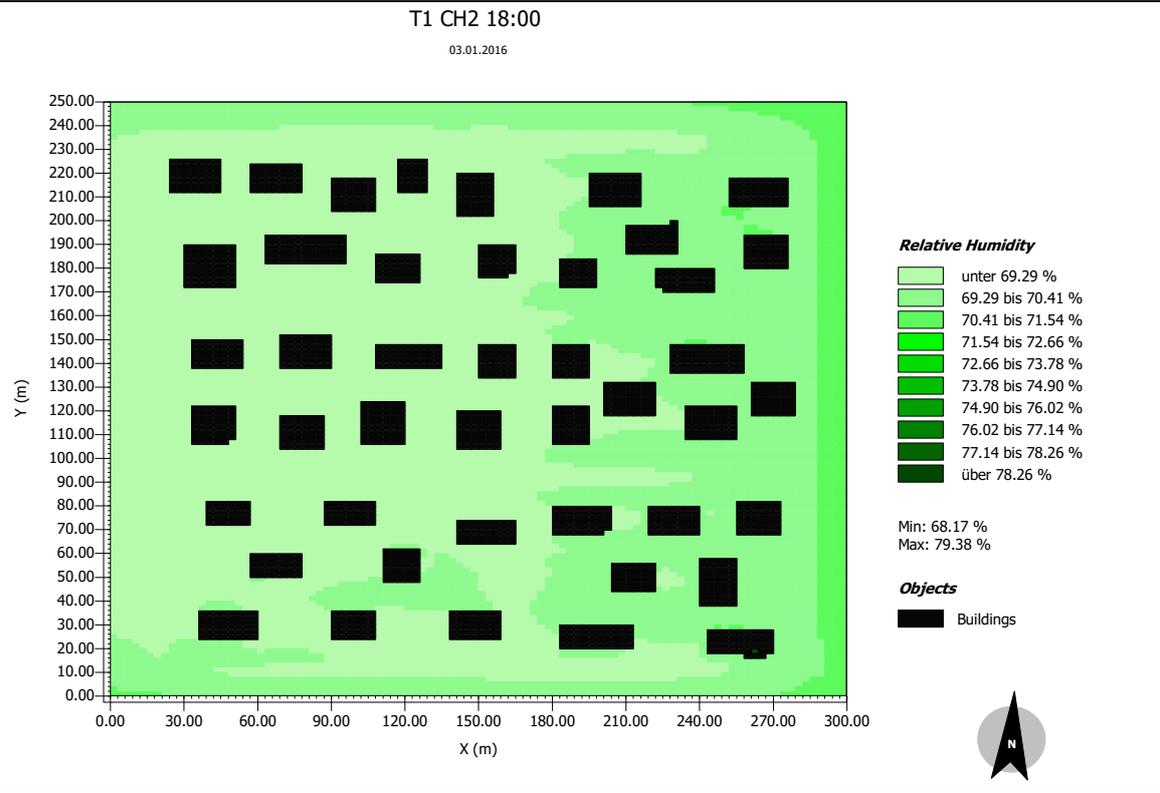


T1 CH1

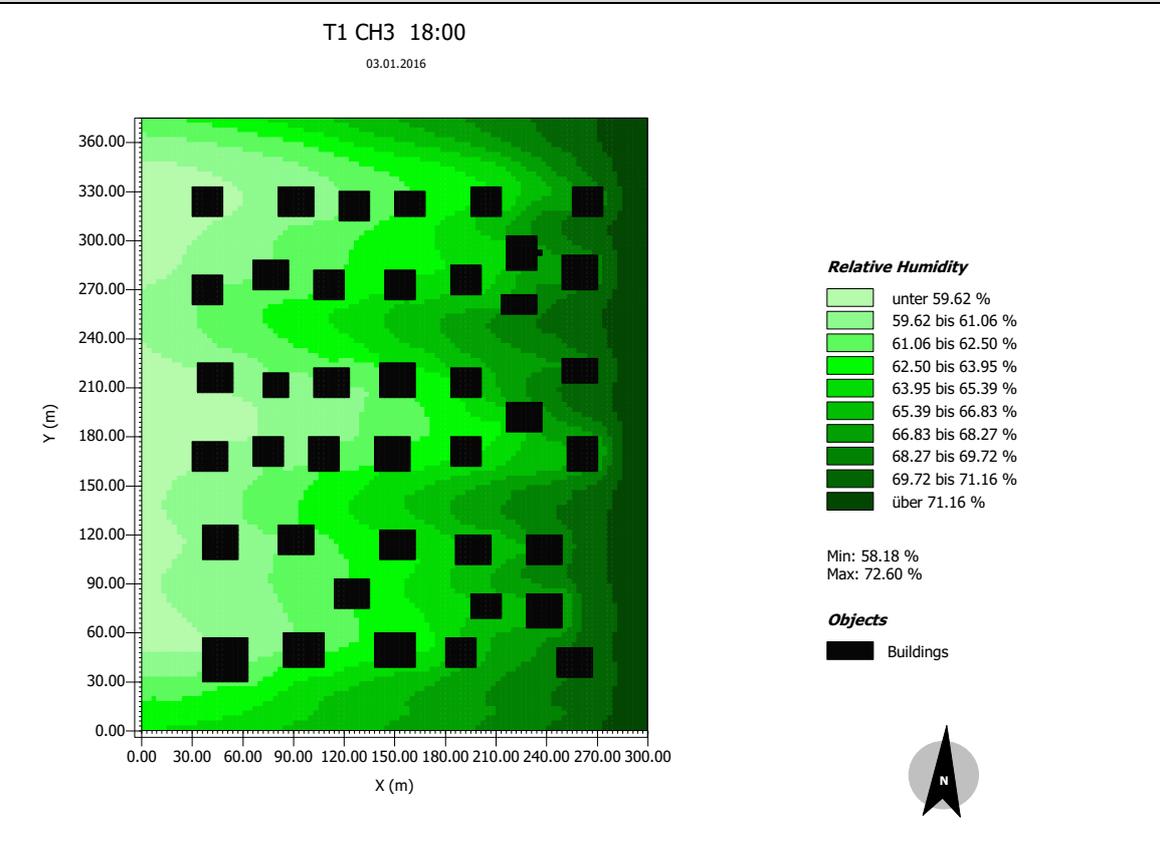


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

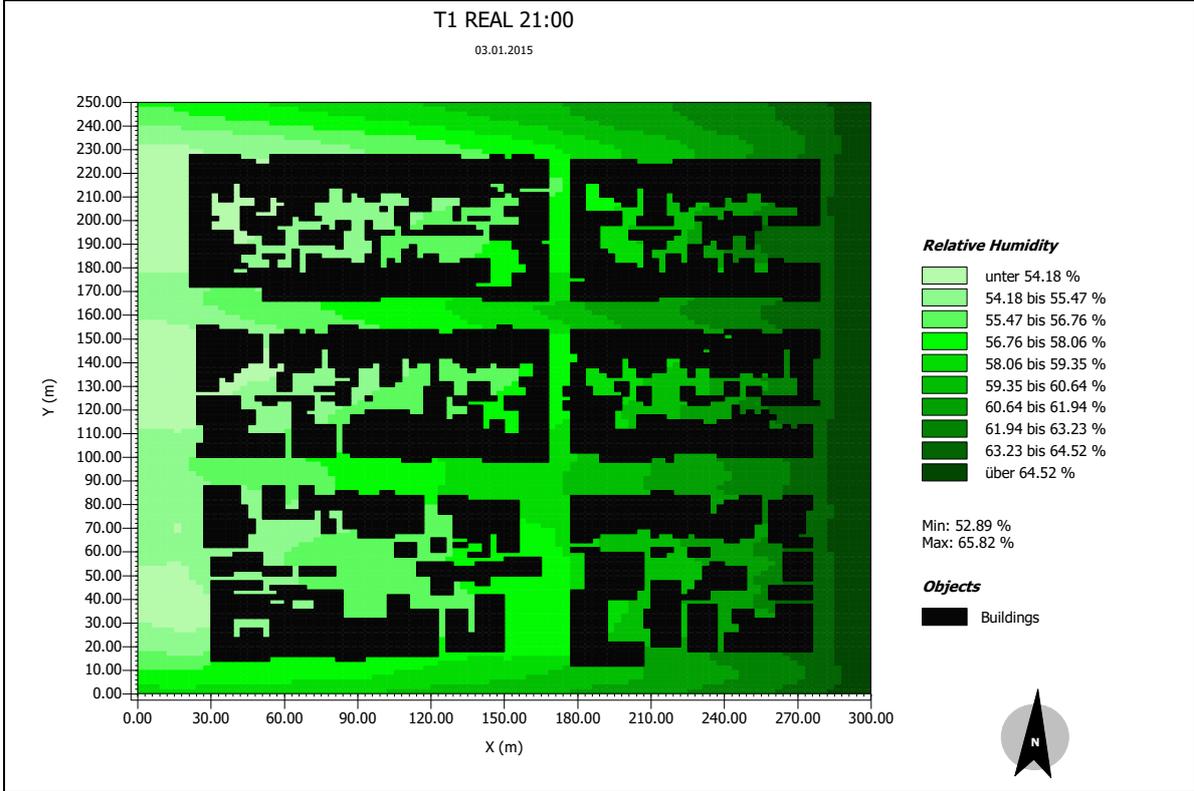
T1 CH2



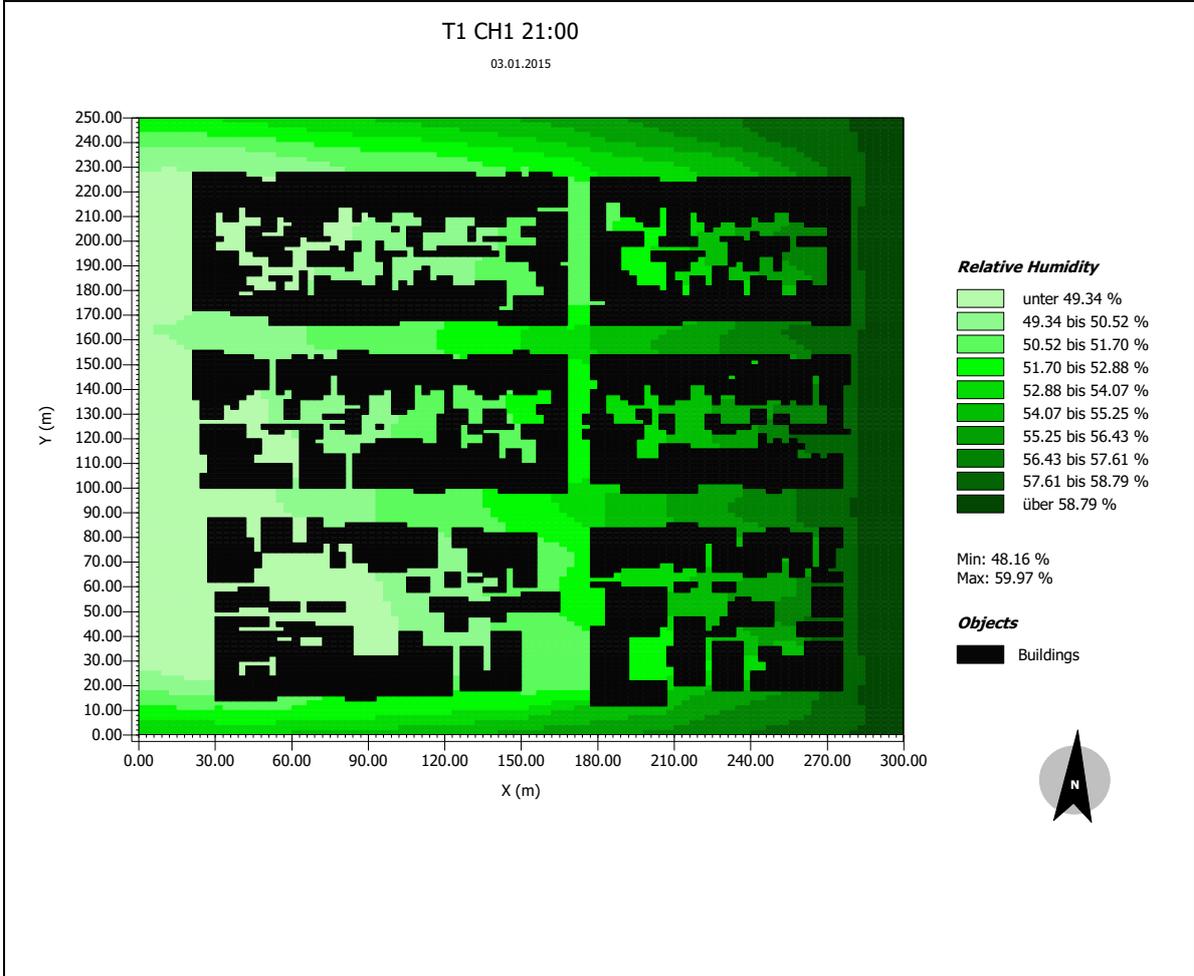
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00

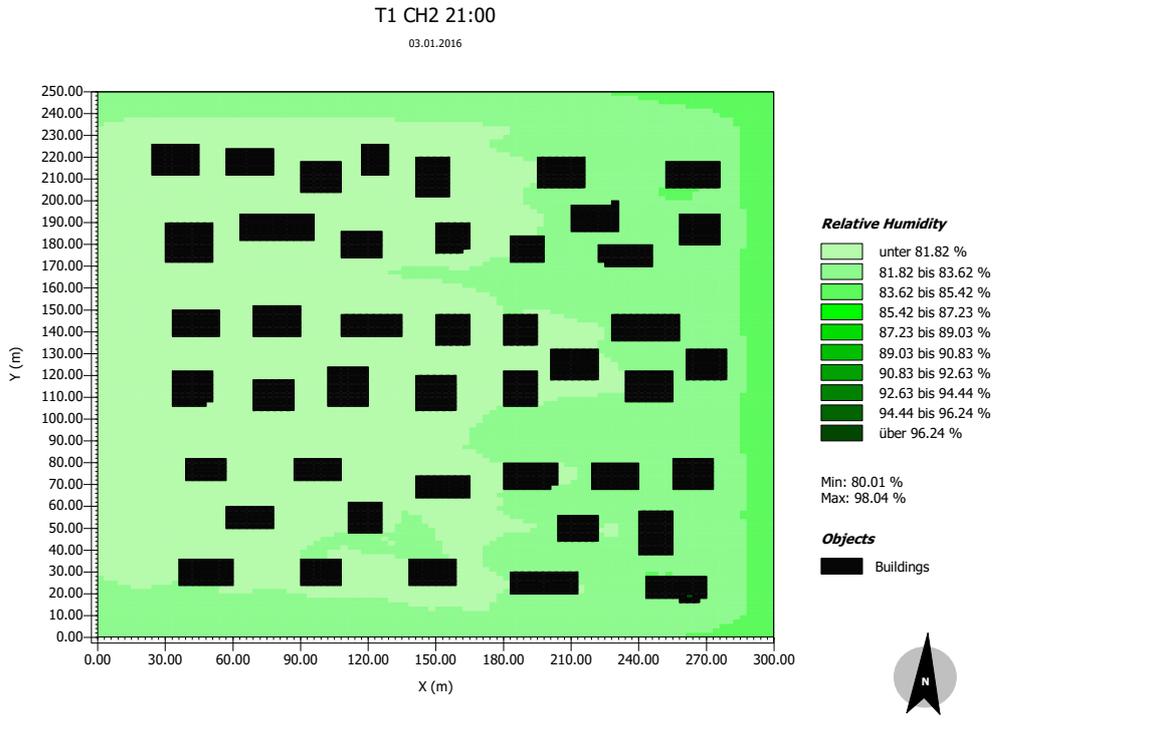


T1 CH1

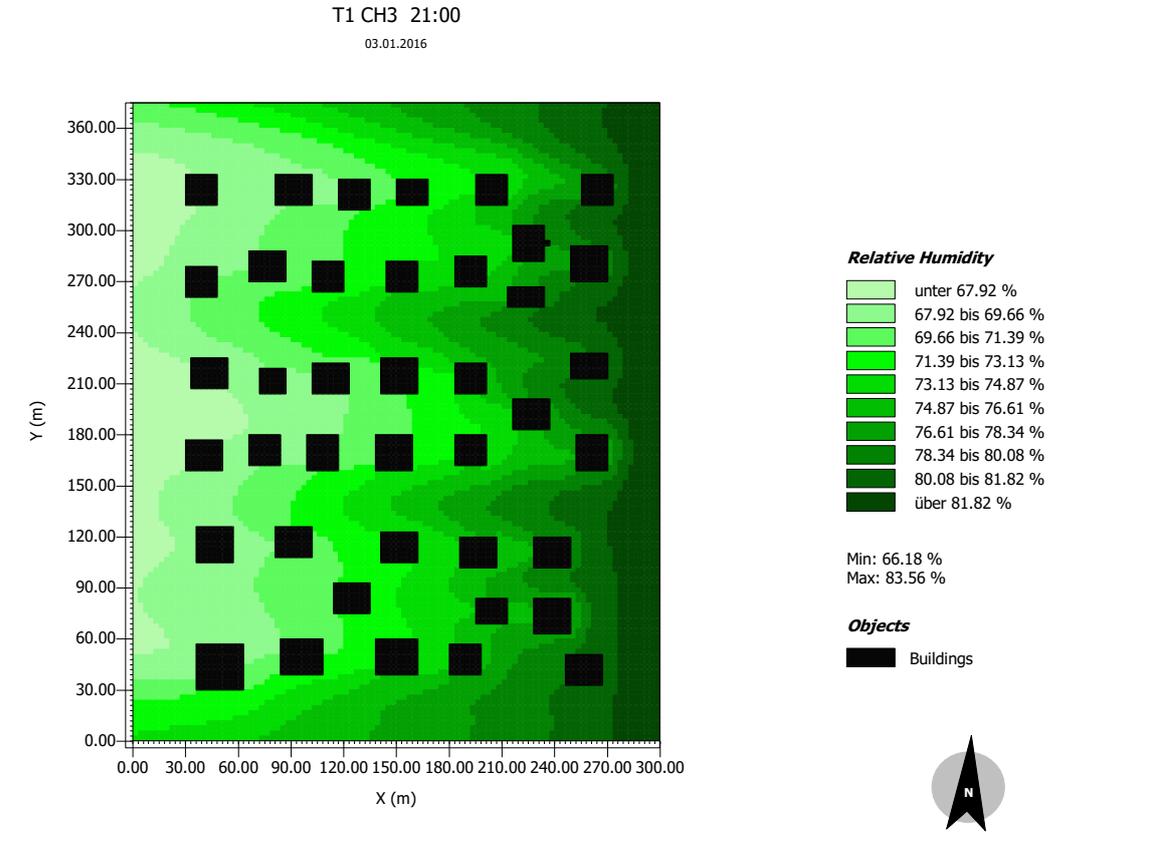


Tecido Urbano Tipo 1 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00

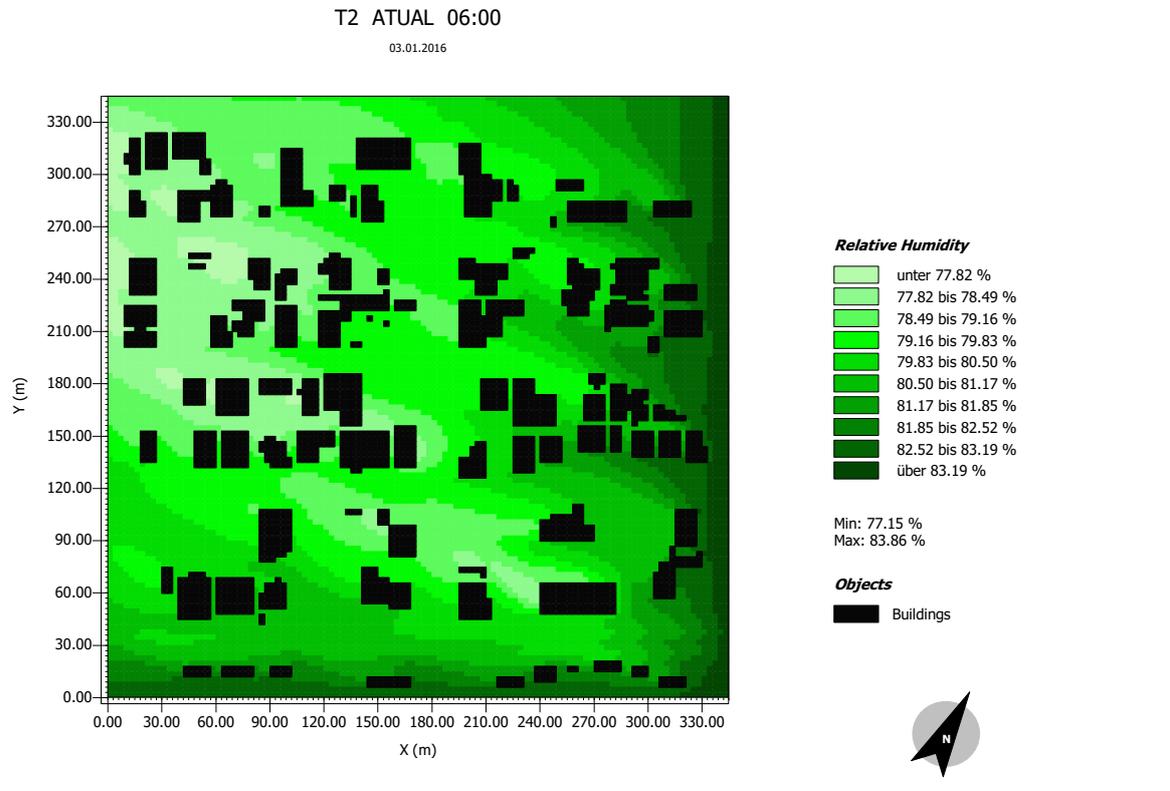
T1 CH2



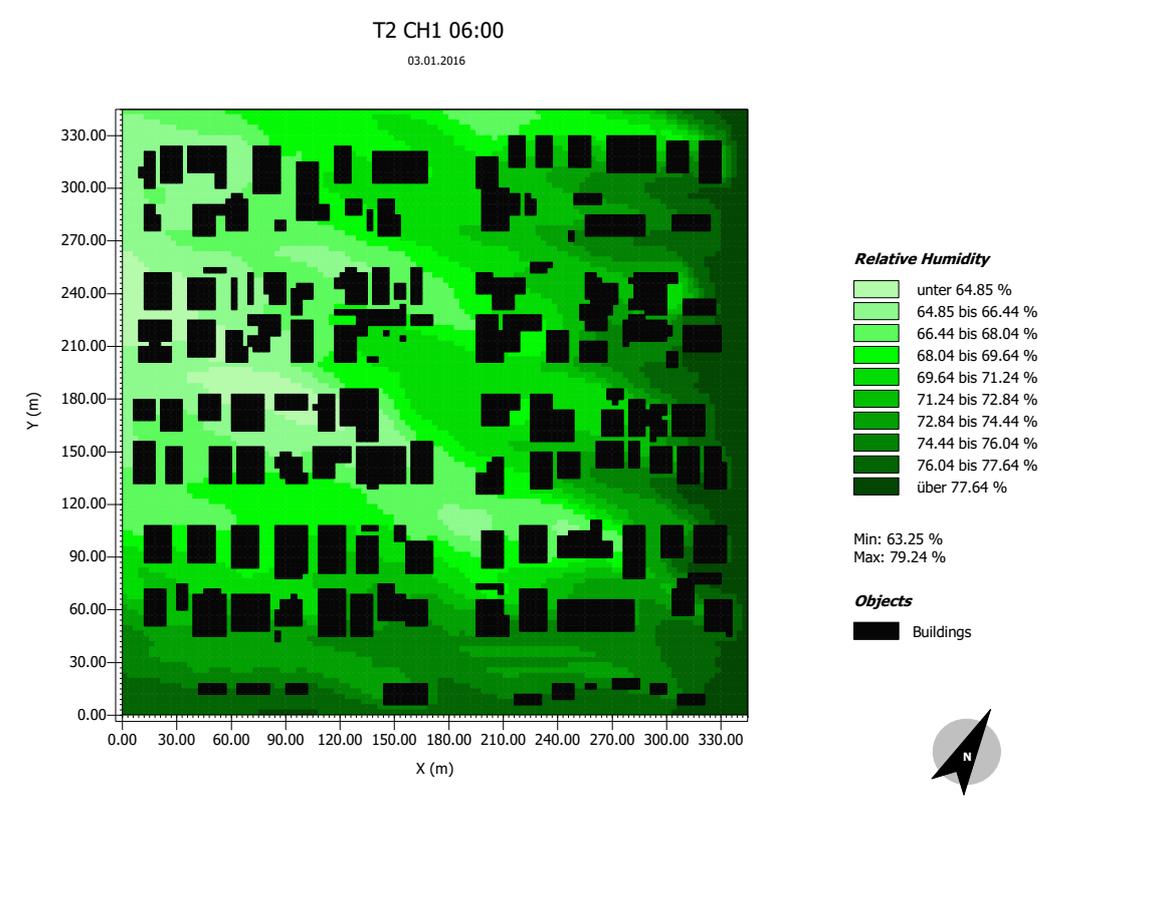
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

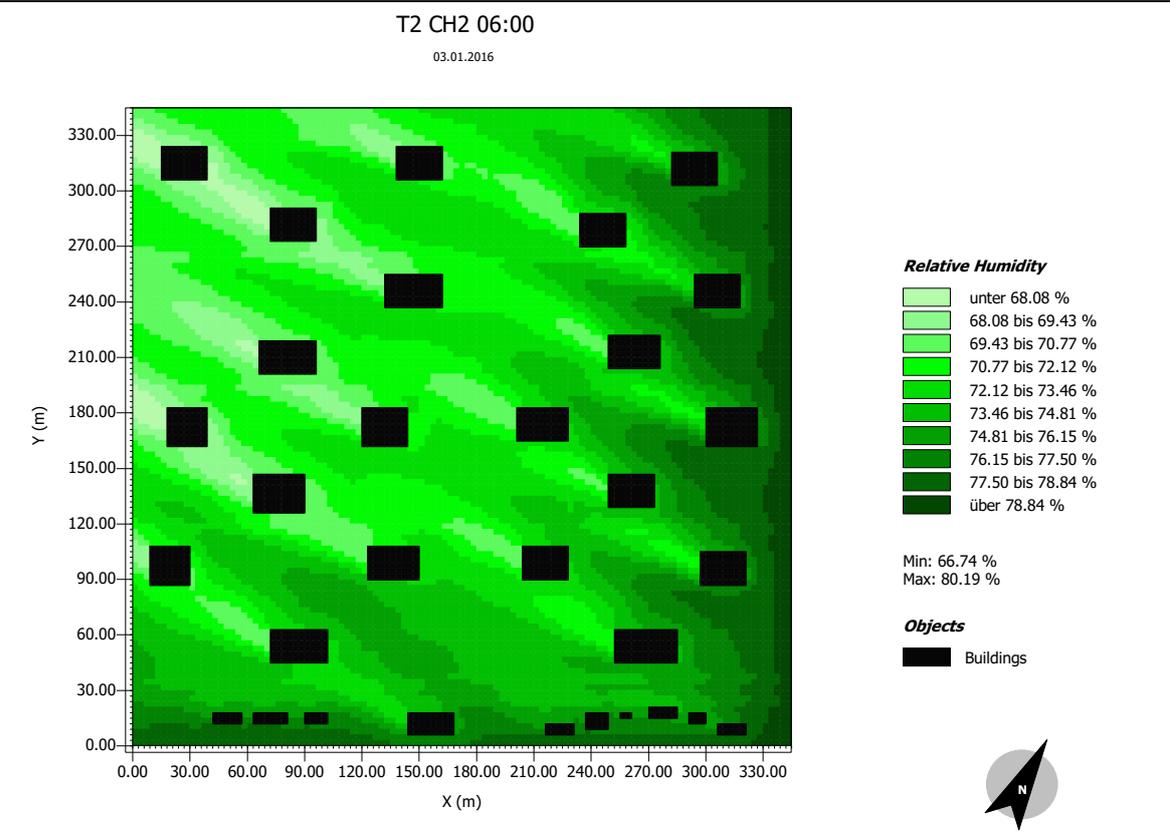


T2 CH1

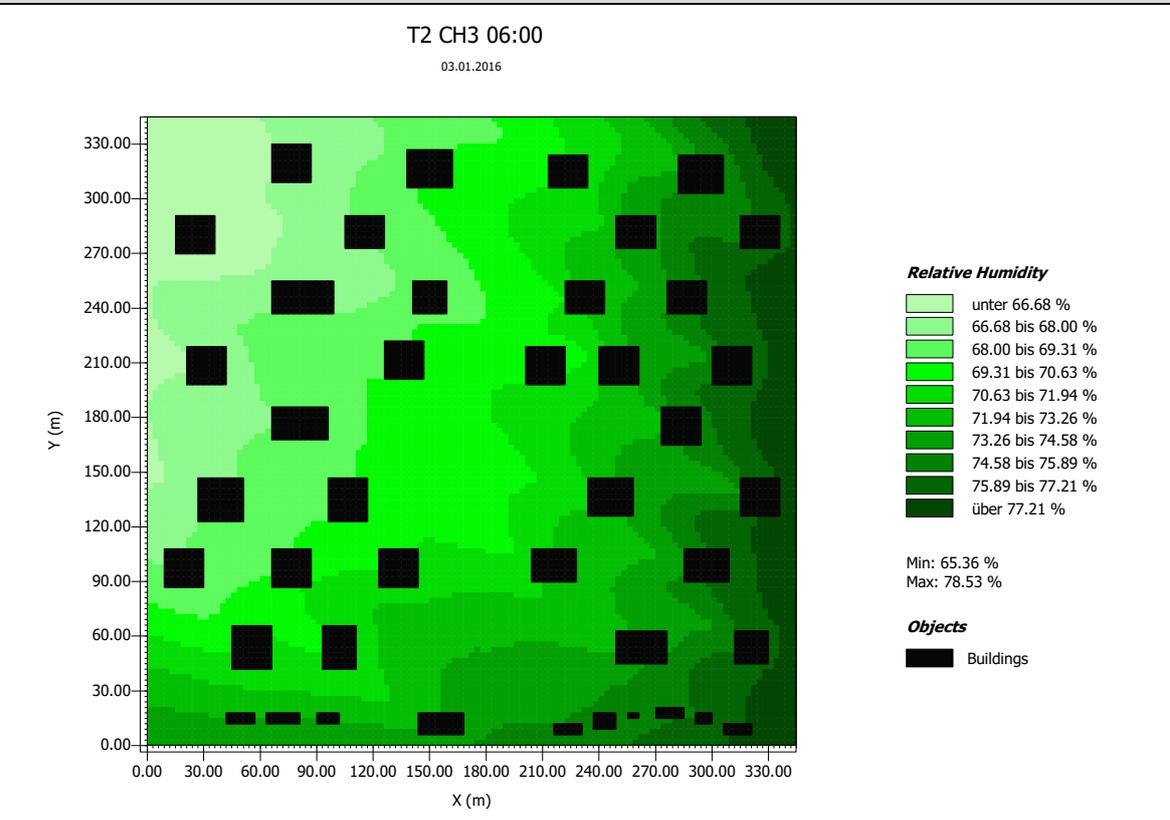


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

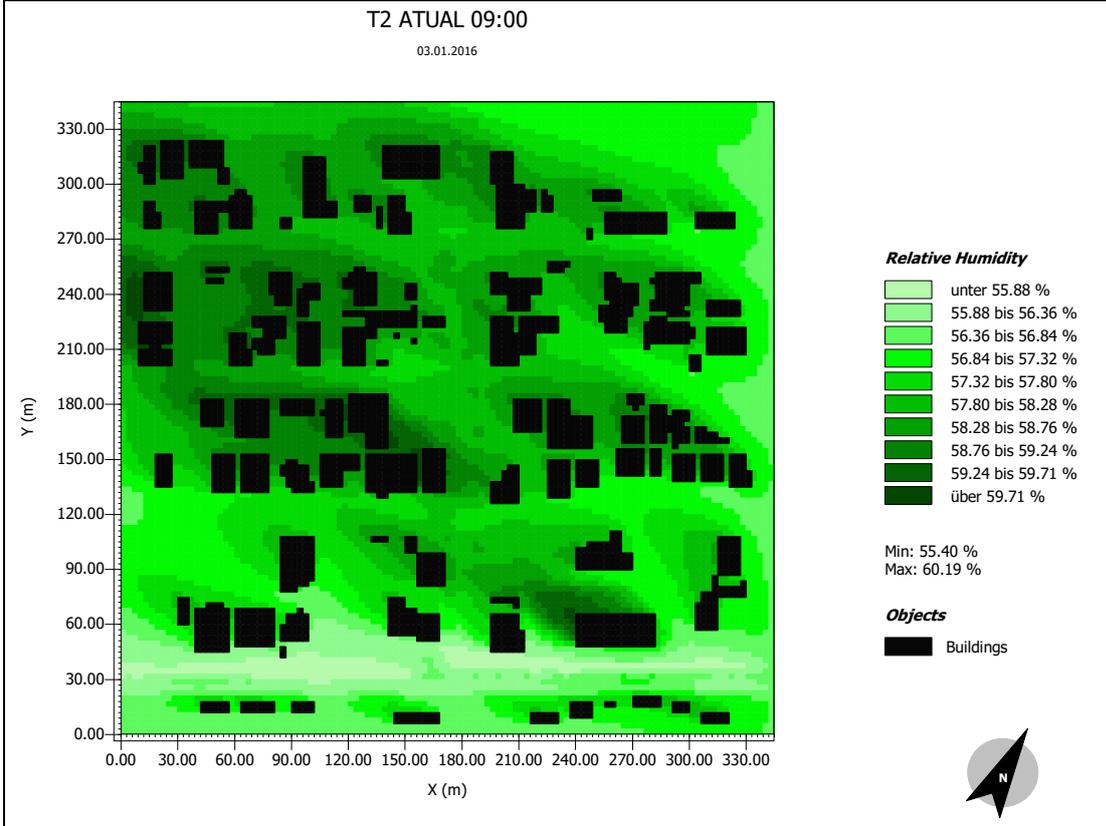
T2 CH2



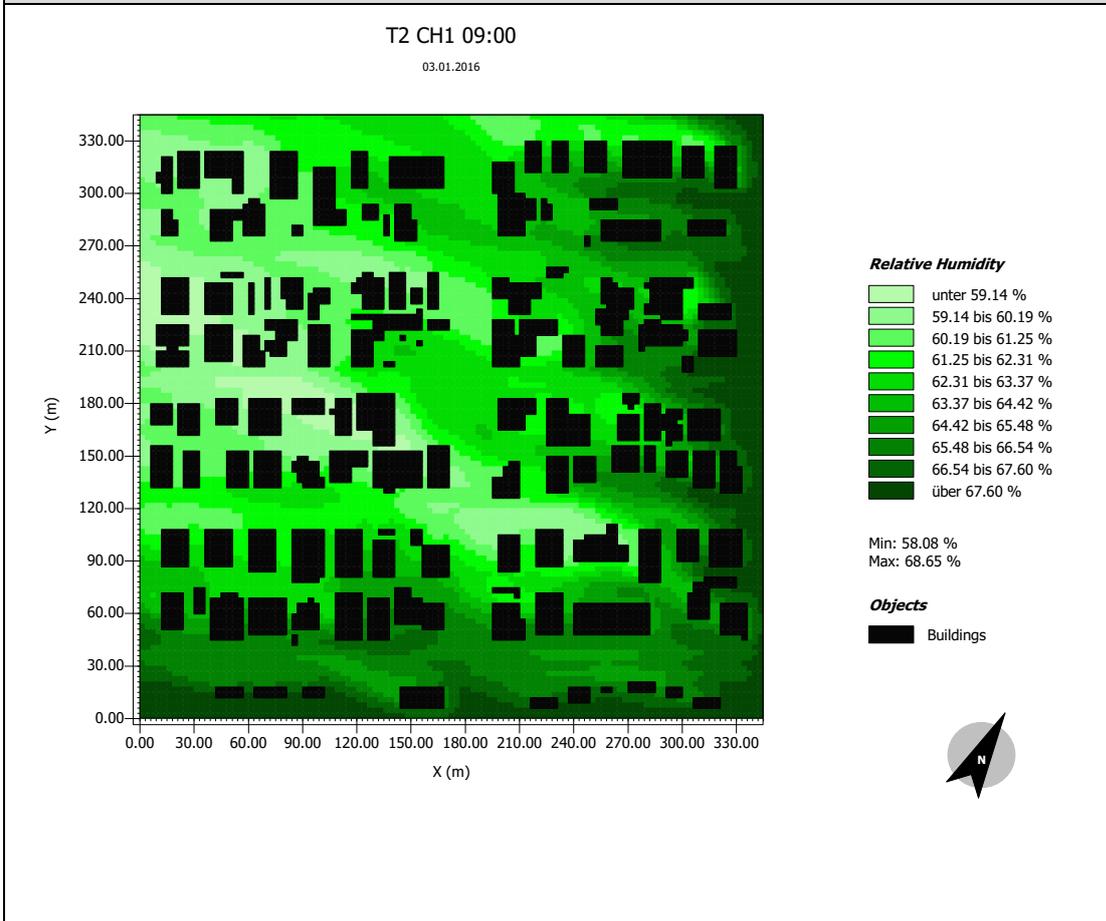
T1 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

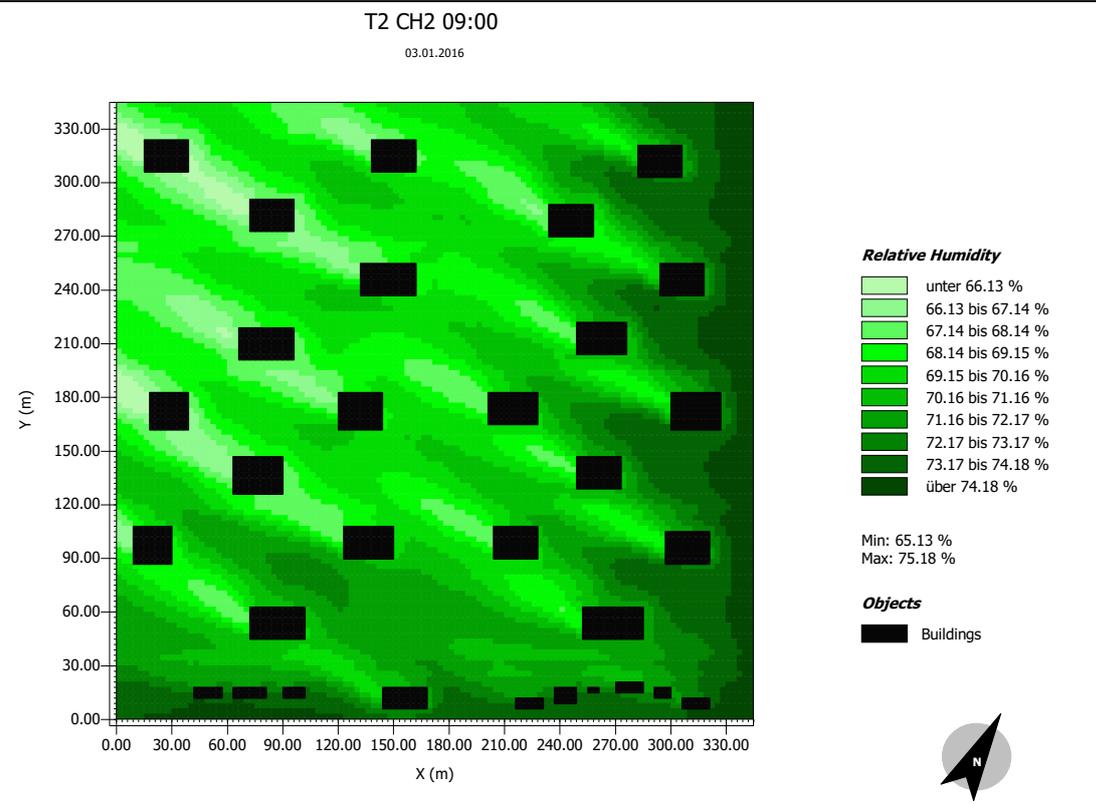


T2 CH1

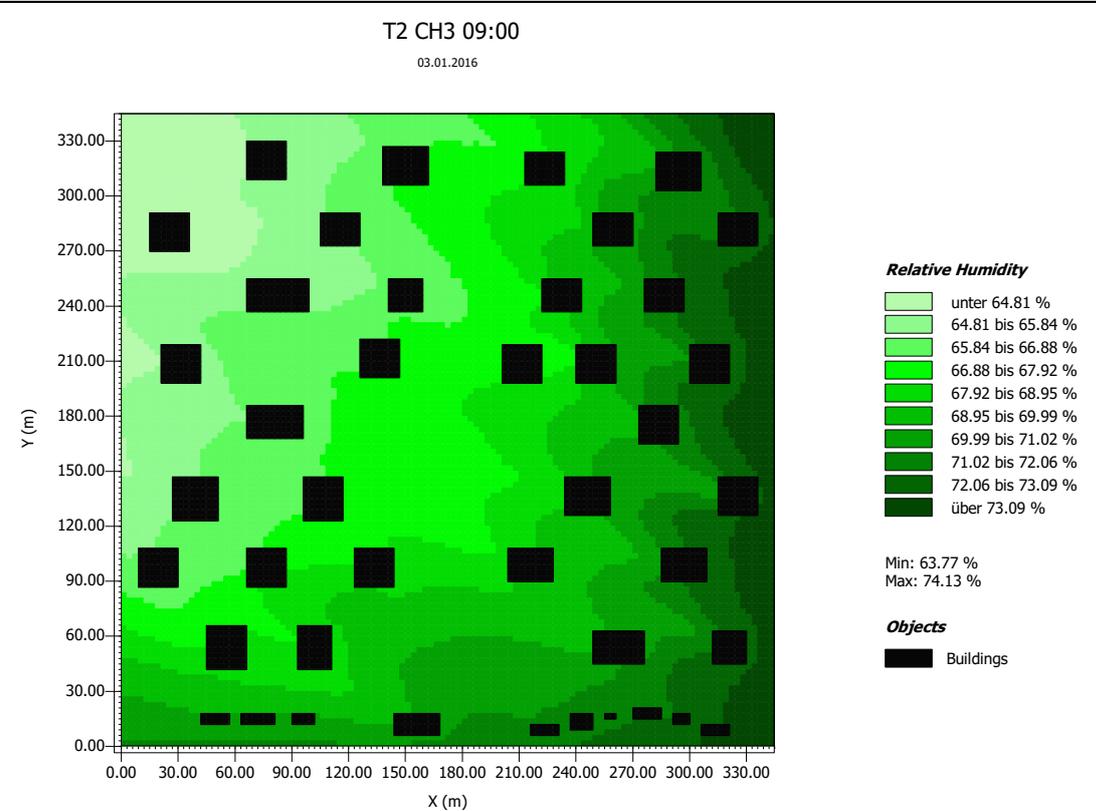


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

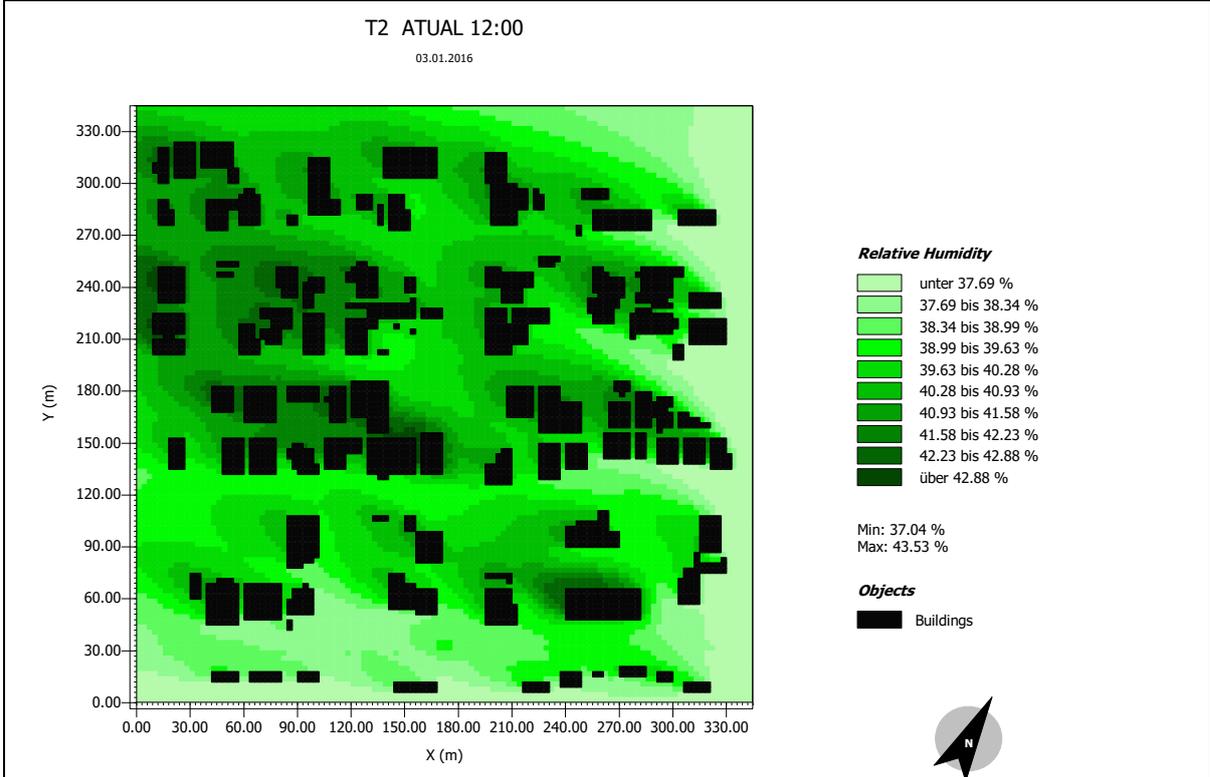
T2CH2



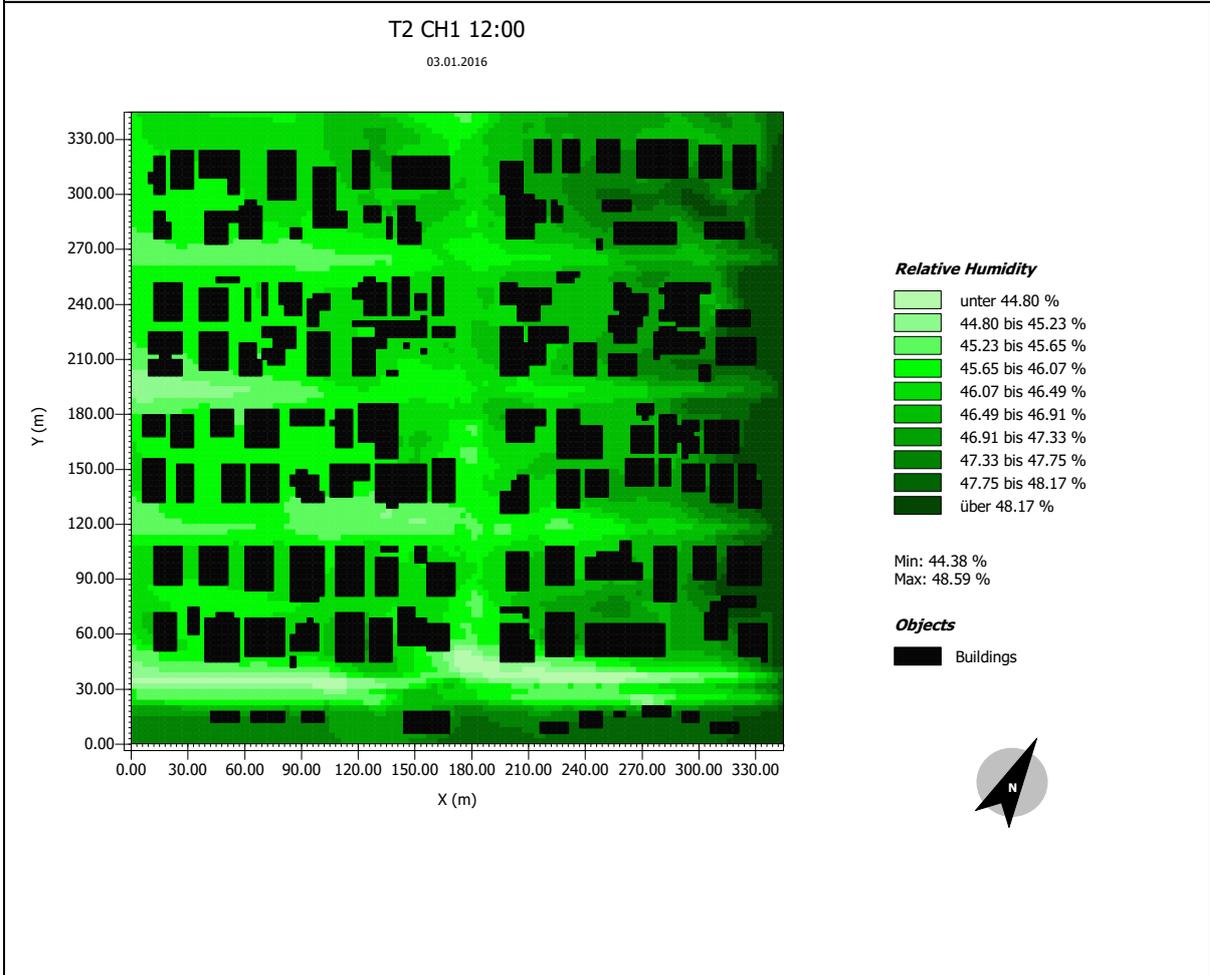
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

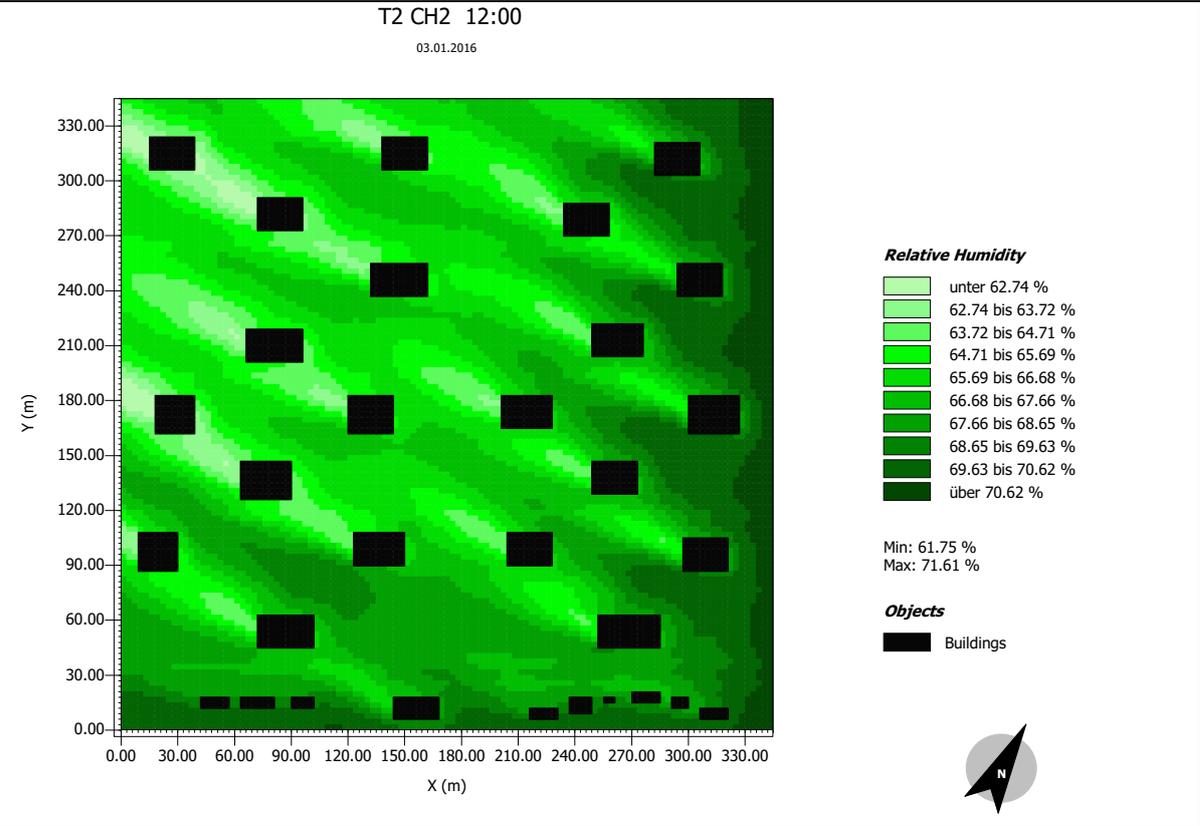


T2 CH1

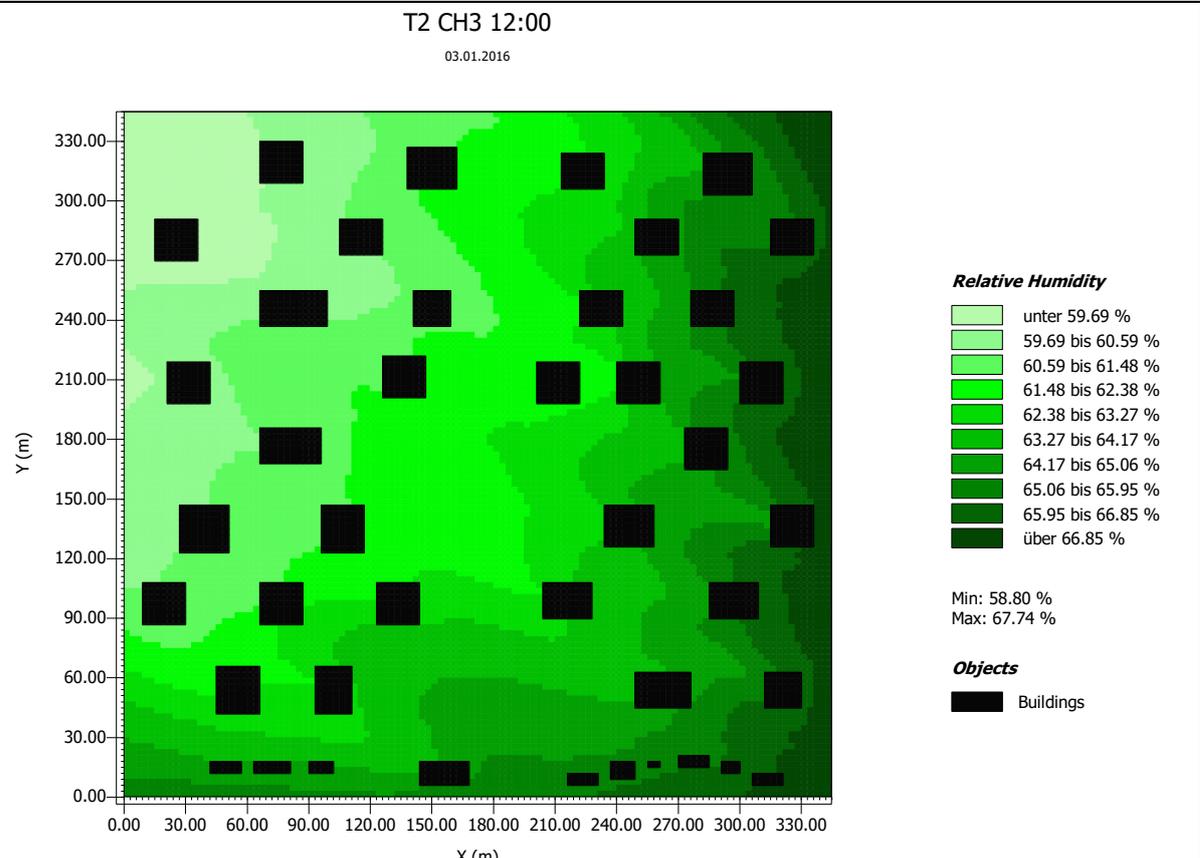


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

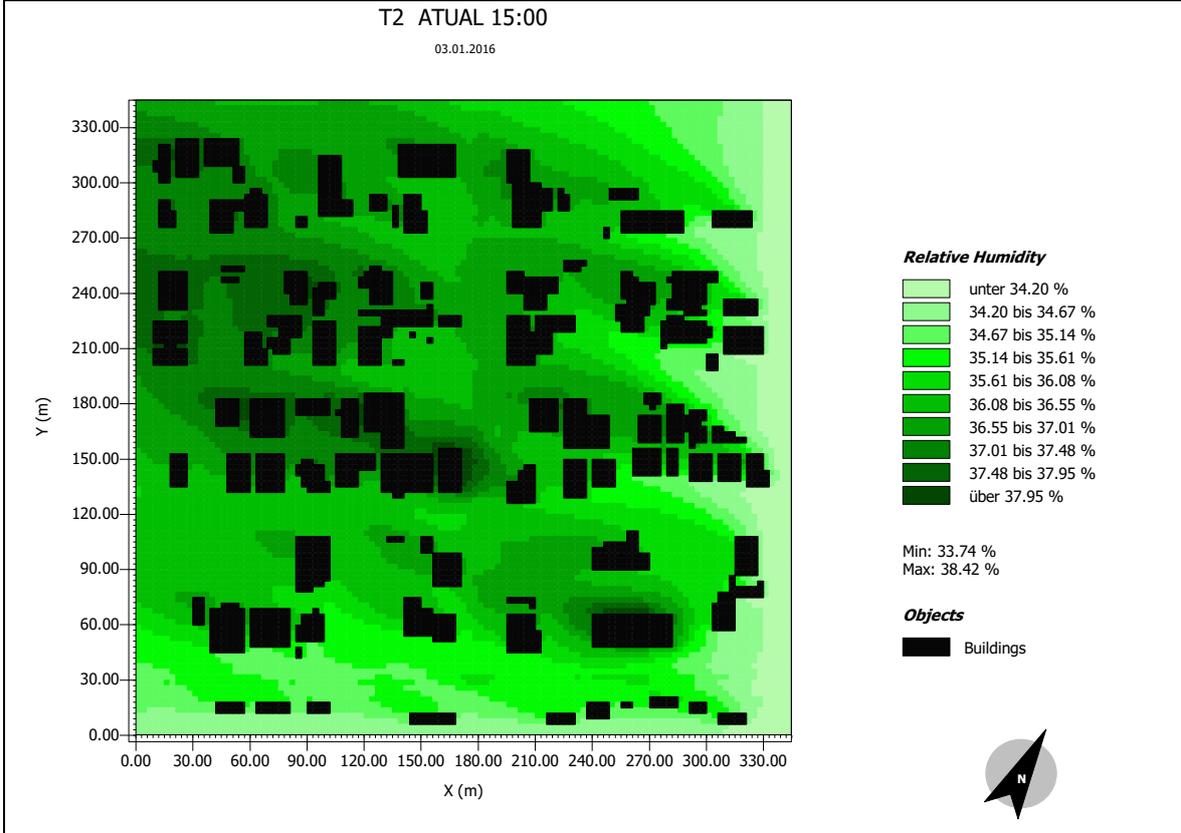
T2 CH2



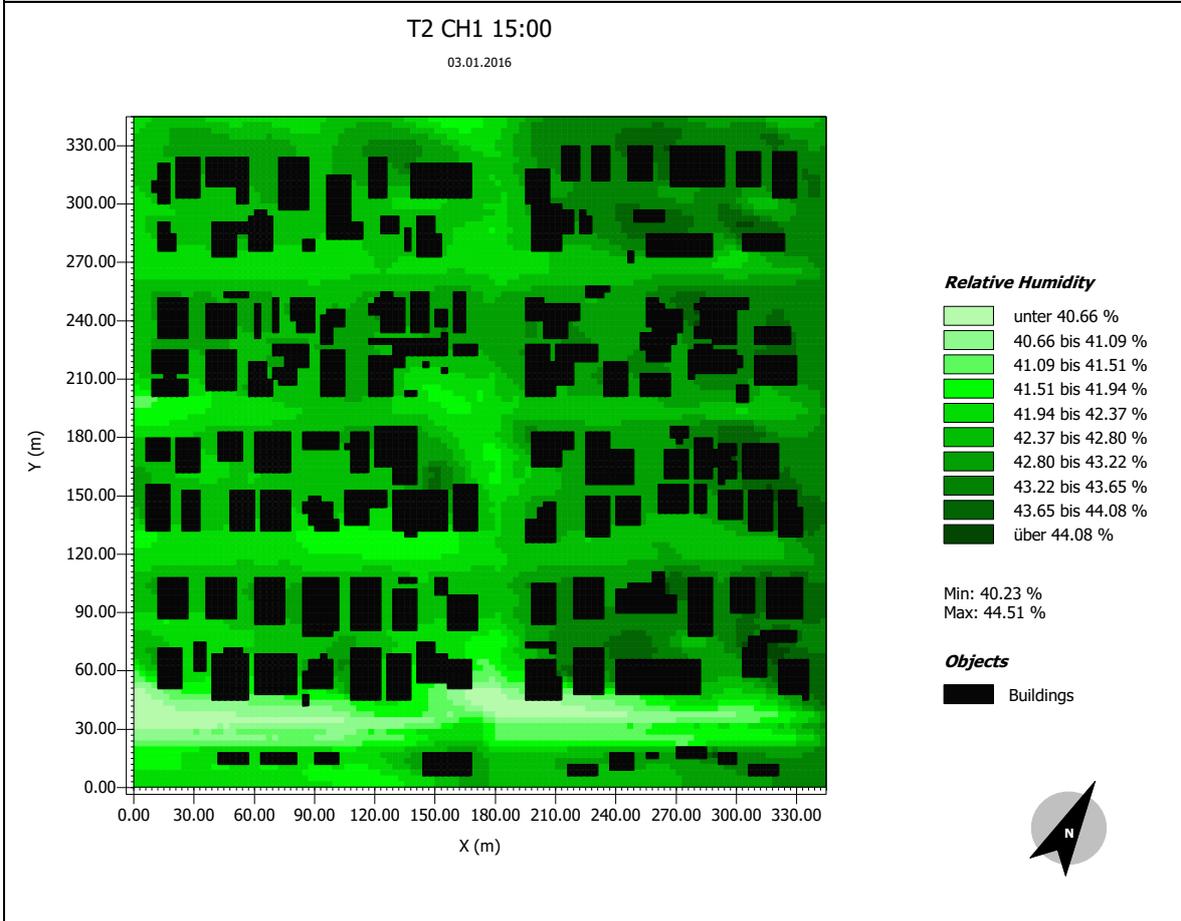
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

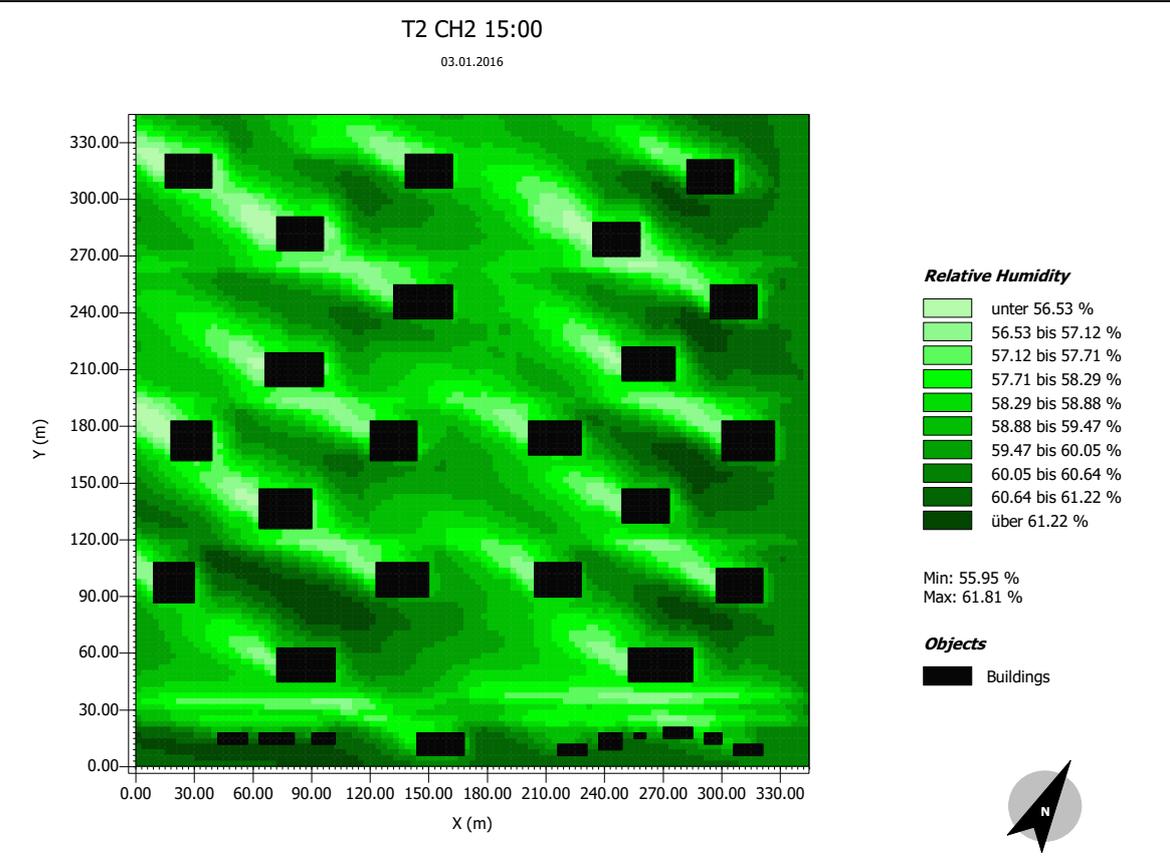


T2 CH1

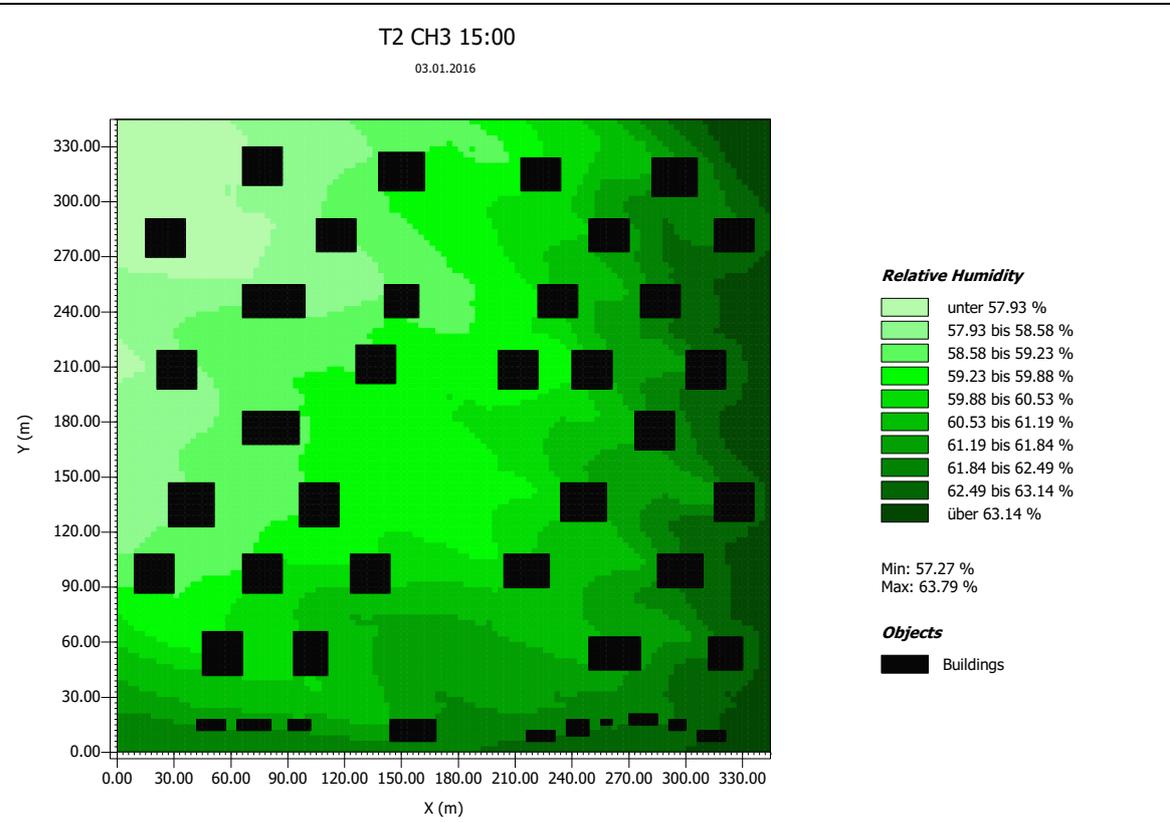


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

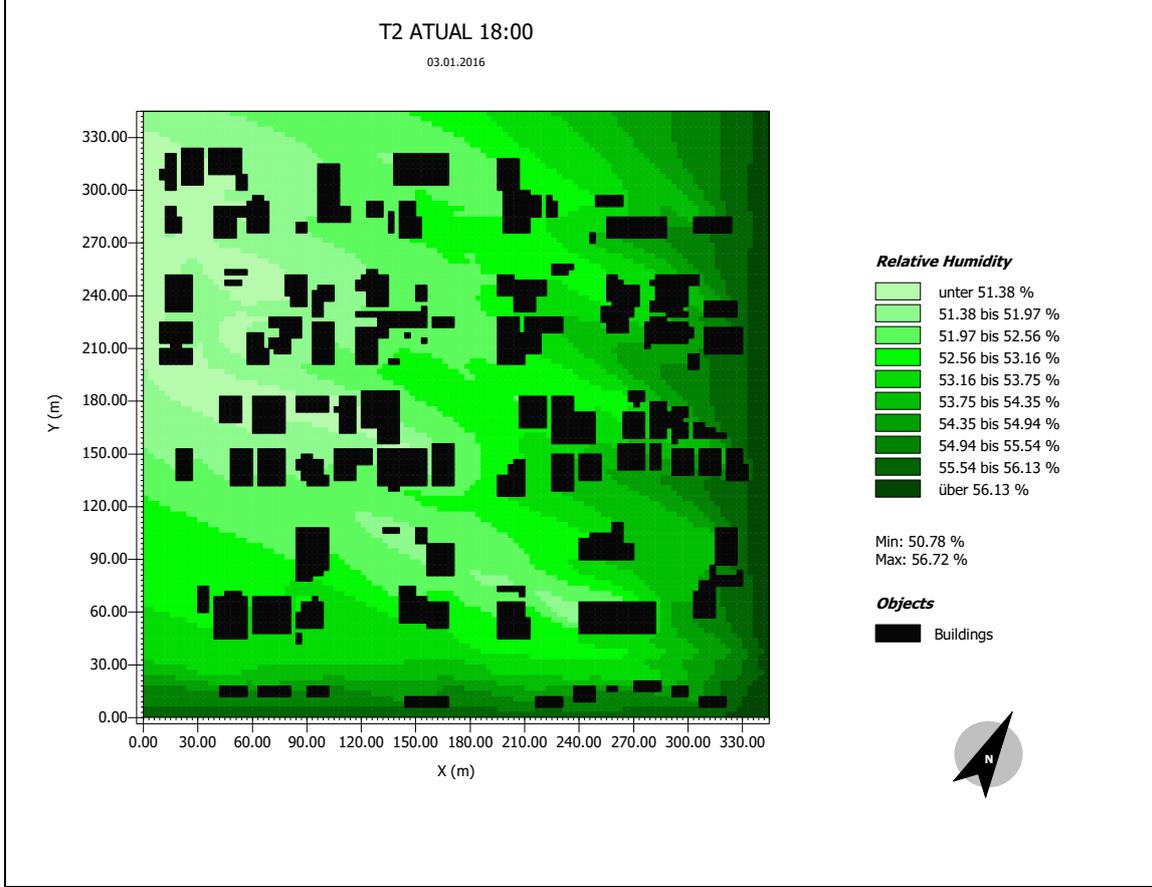
T2 CH2



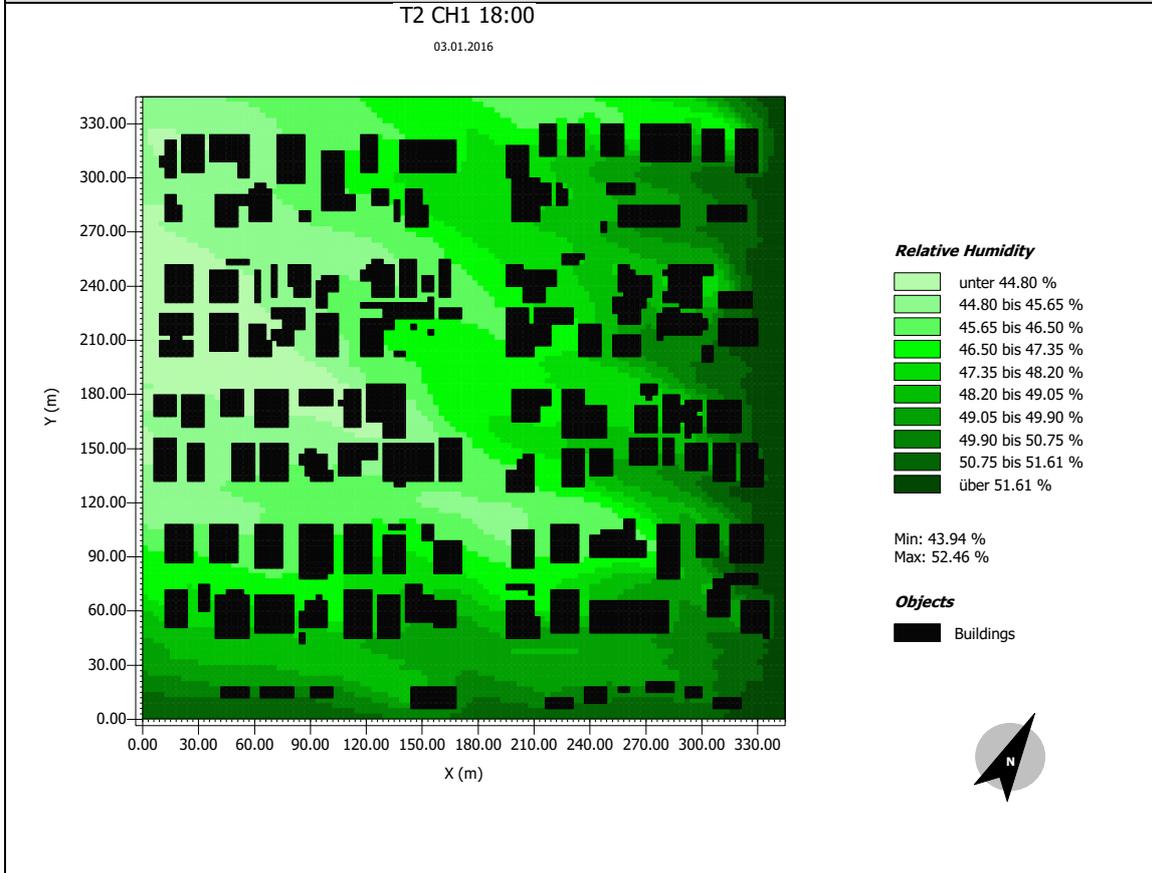
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

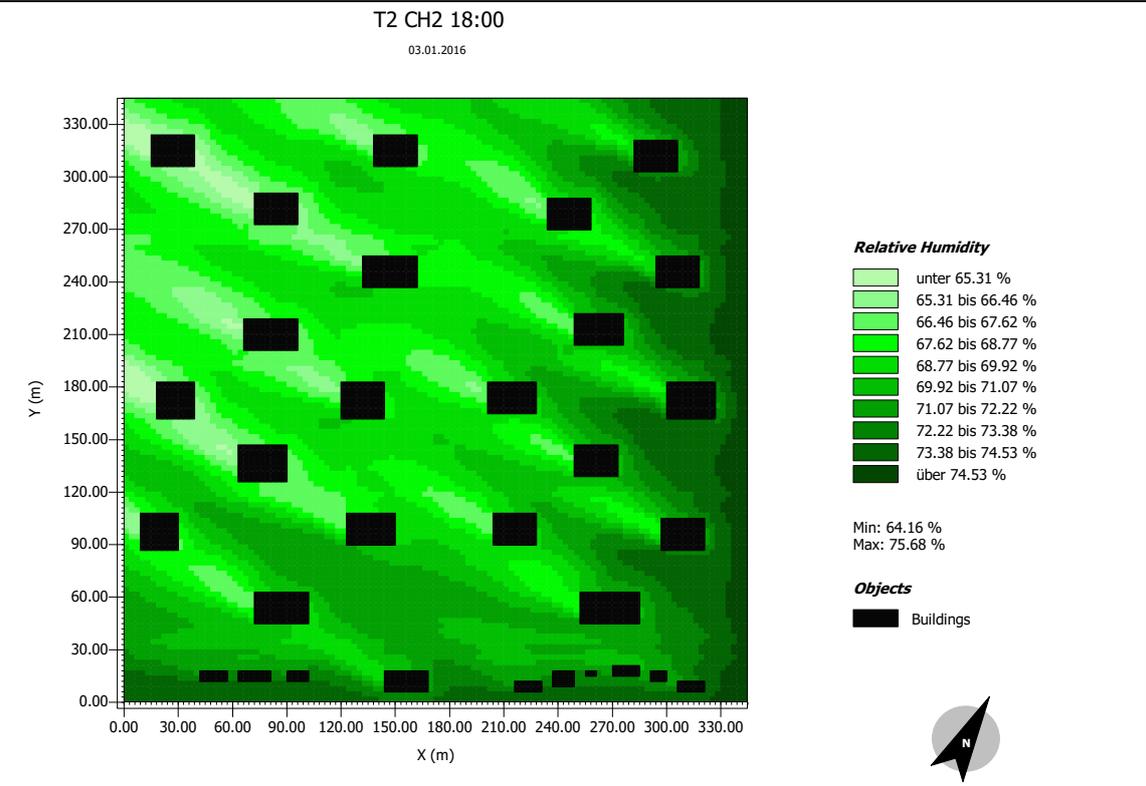


T2 CH1

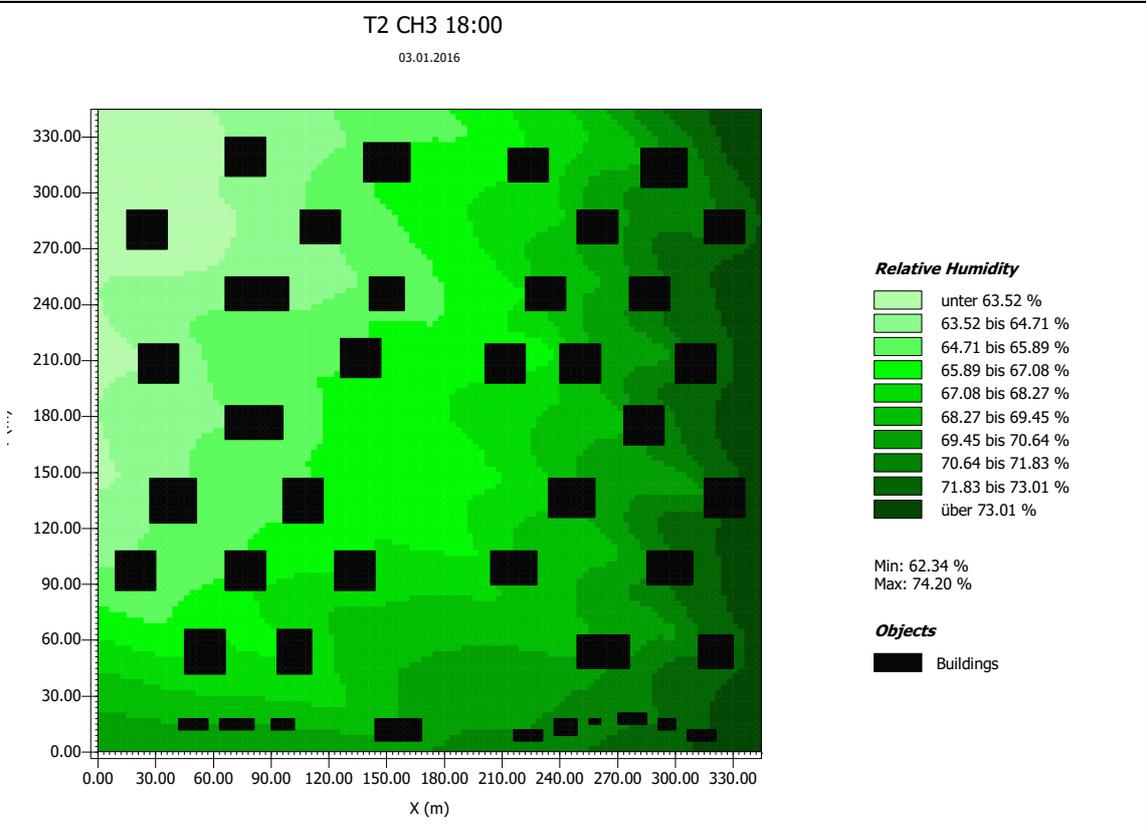


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

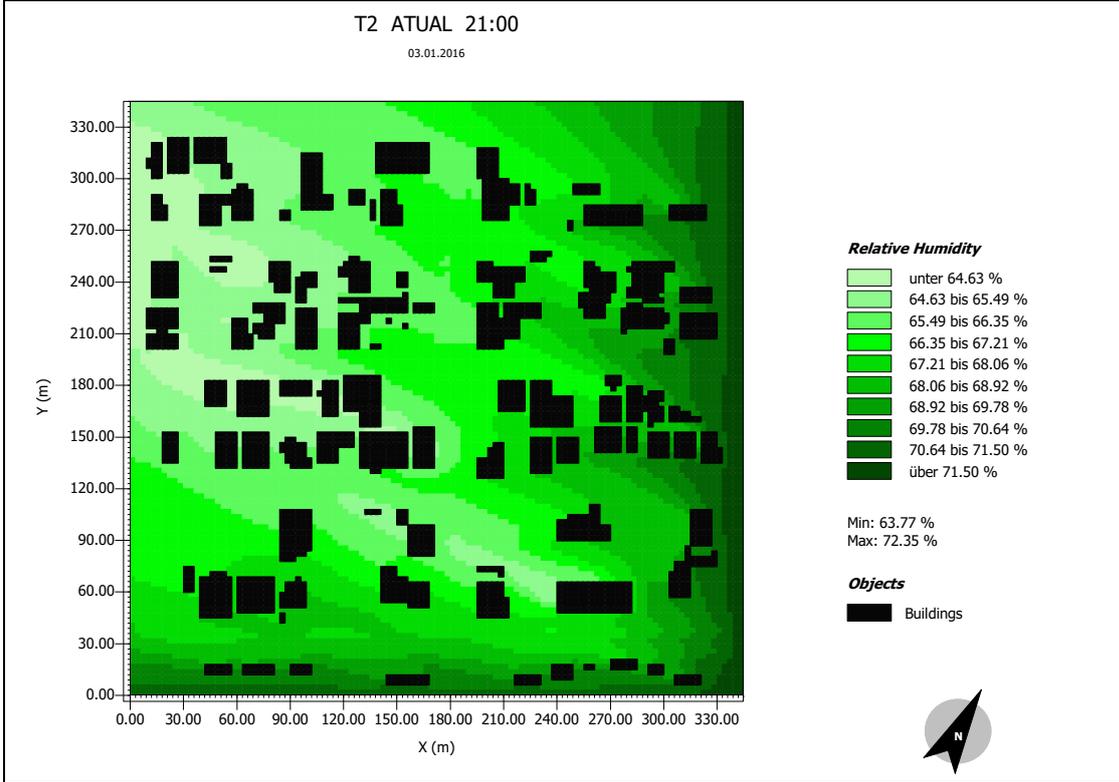
T2 CH2



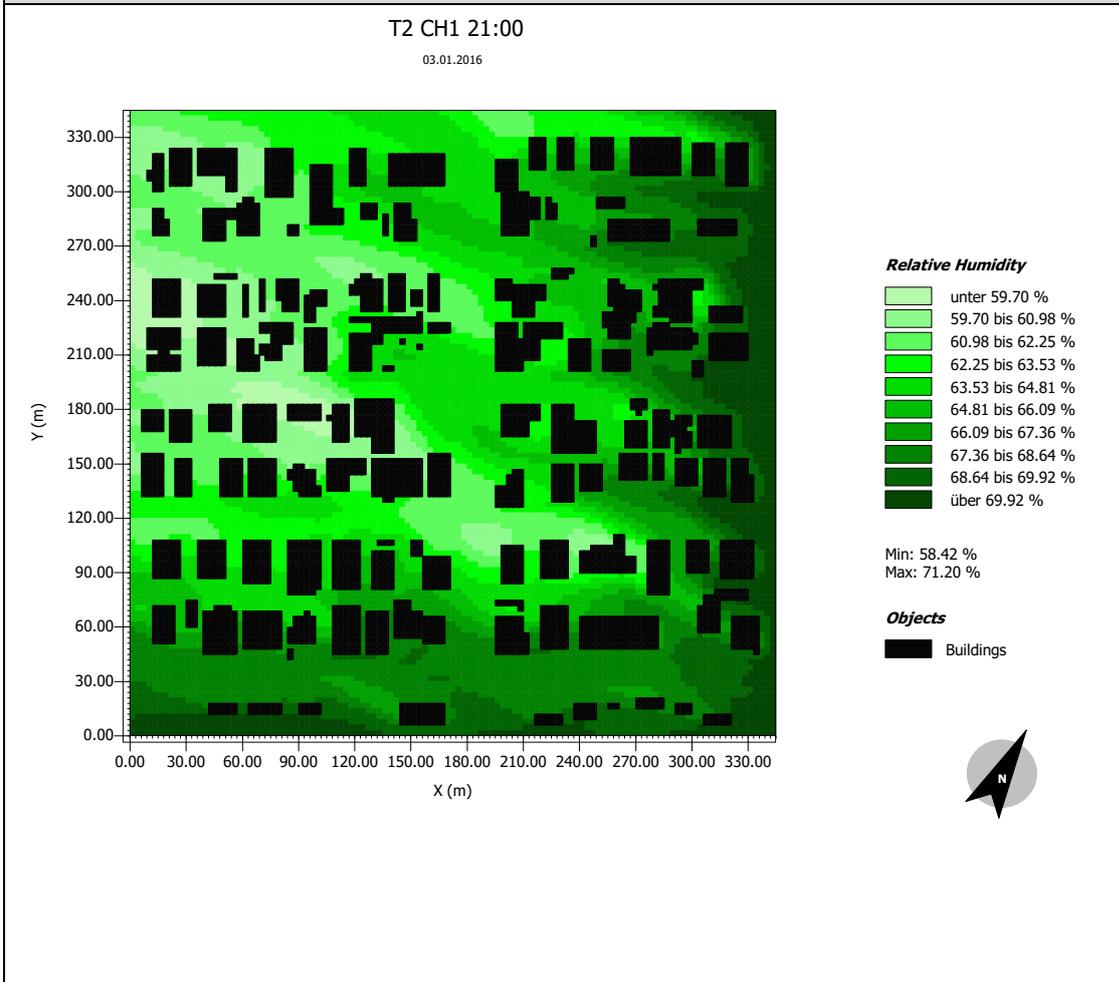
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00

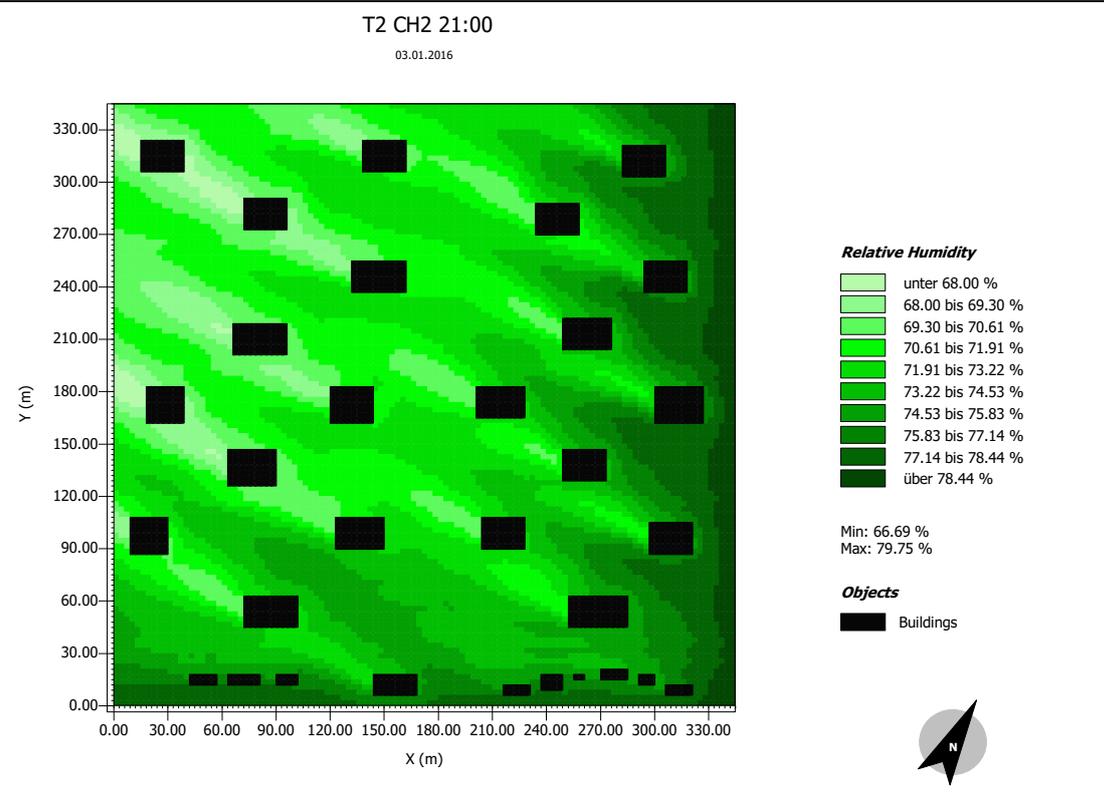


T2 CH1

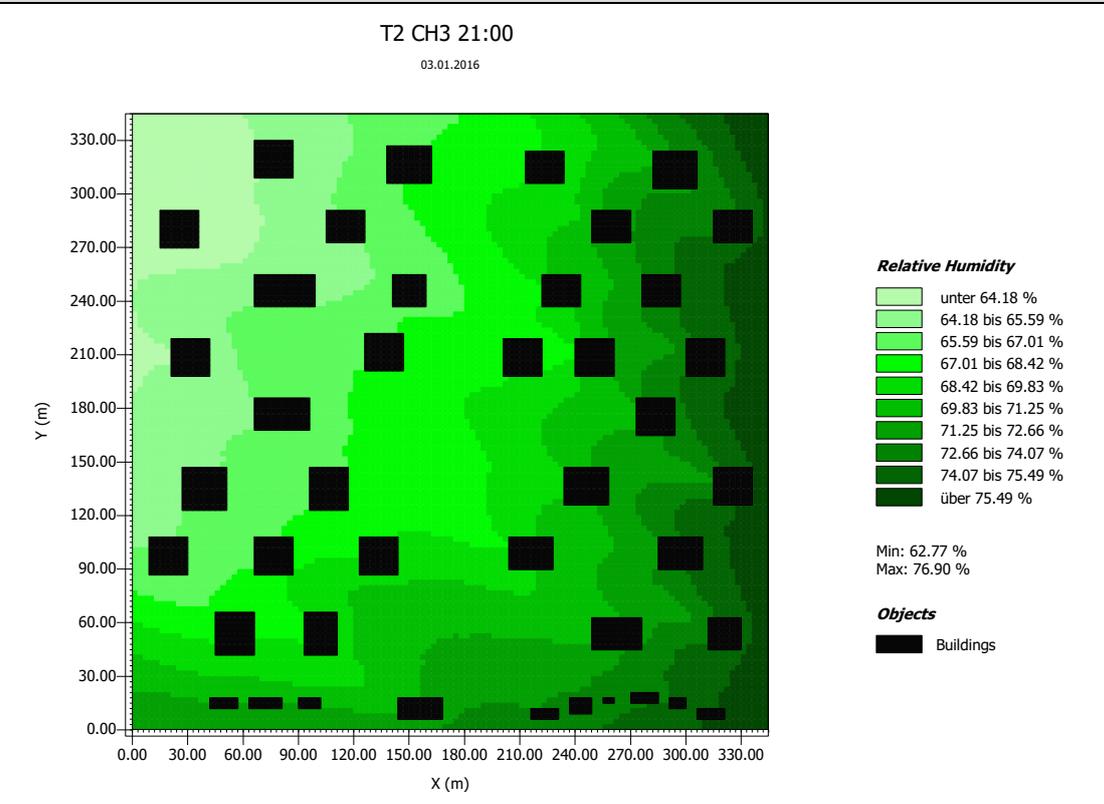


Tecido Urbano Tipo 2 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00

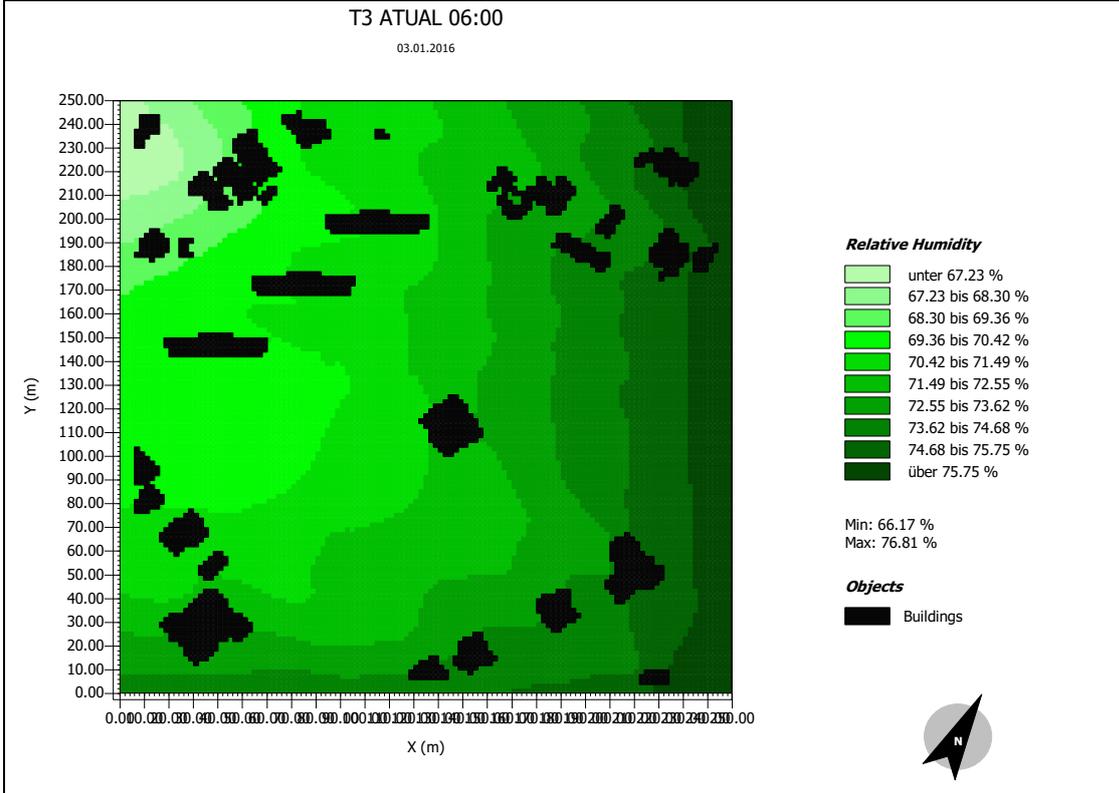
T2 CH2



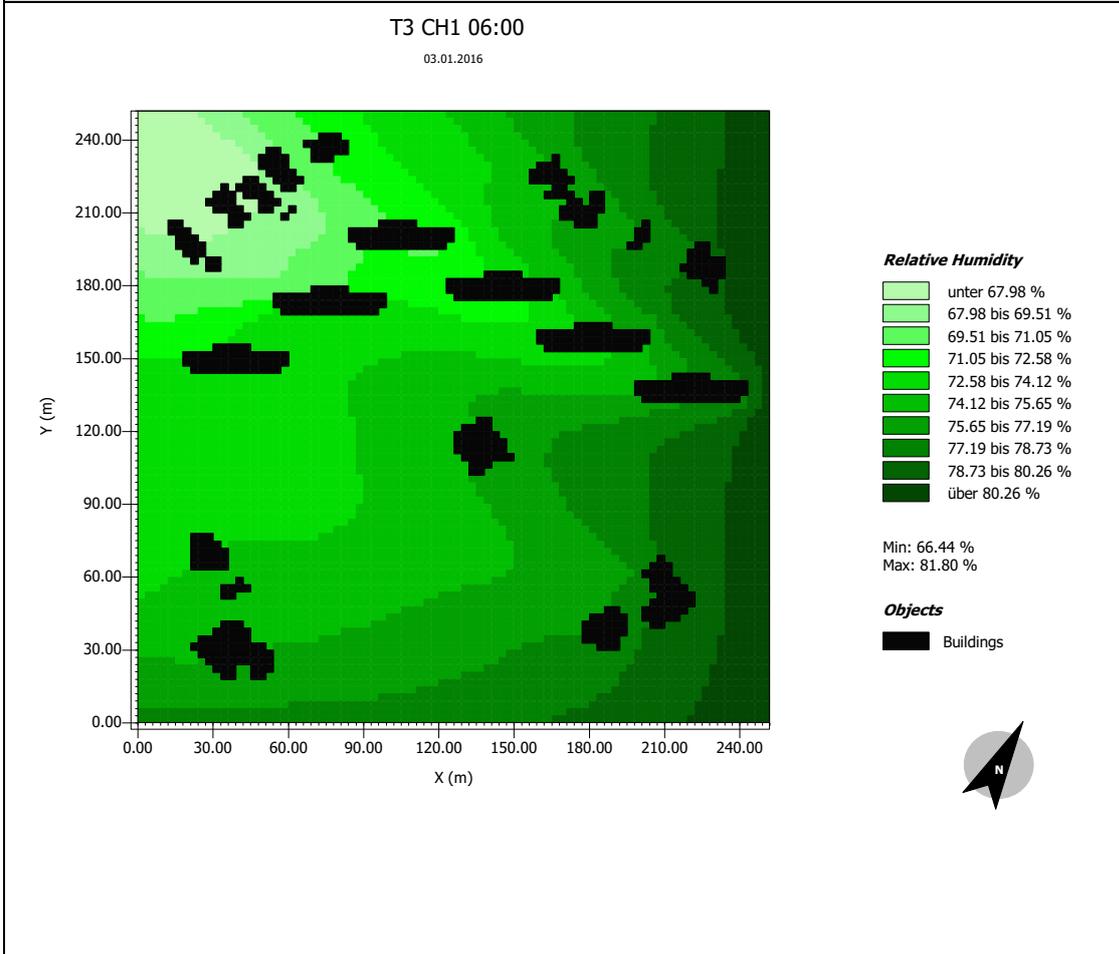
T2 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

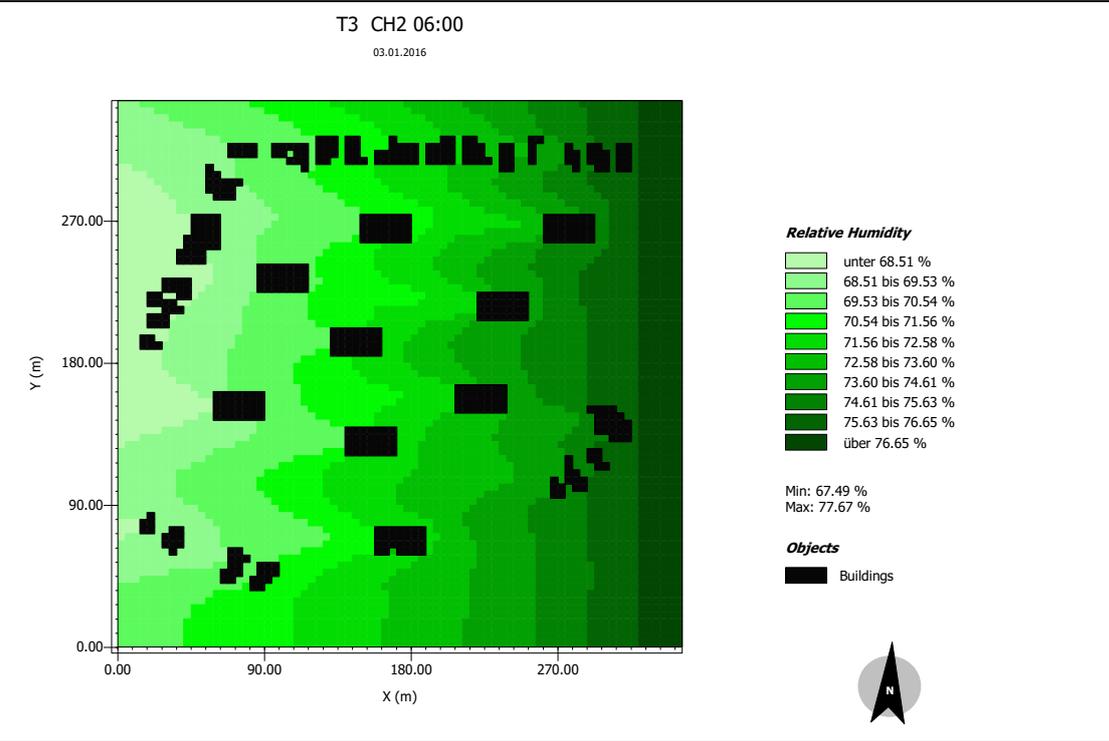


T3 CH1

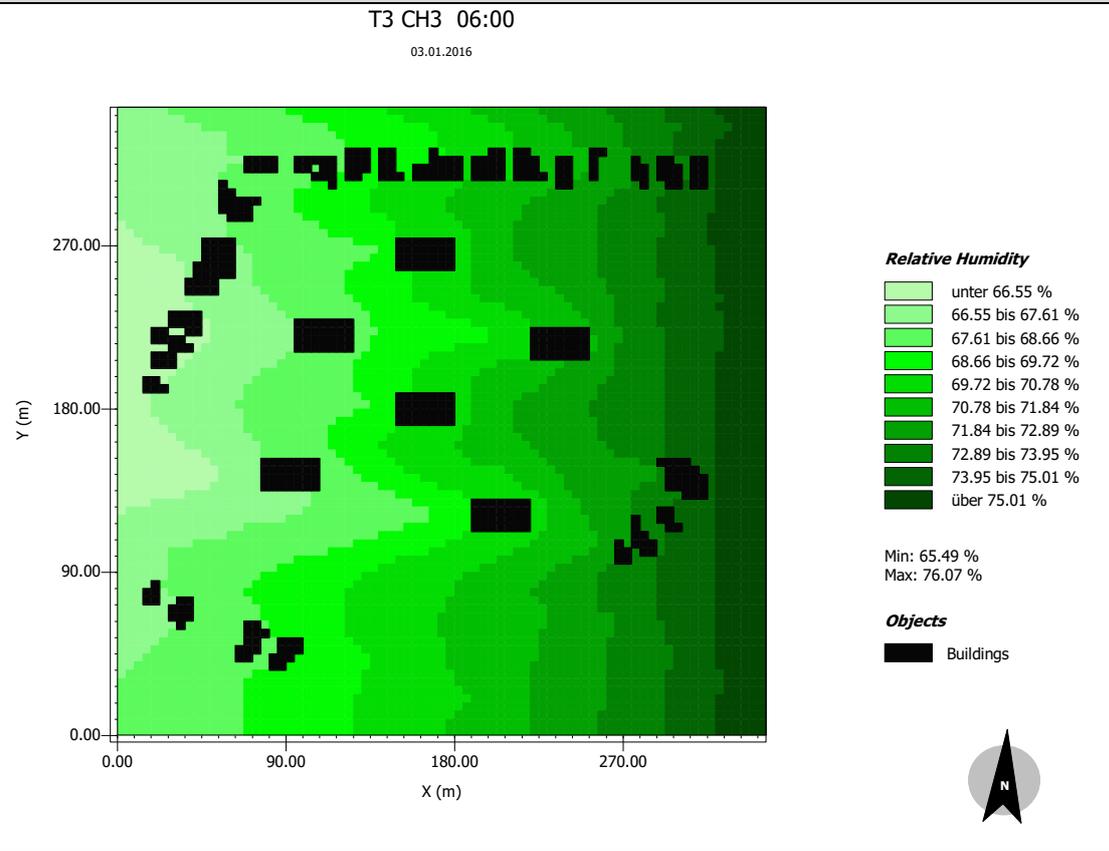


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

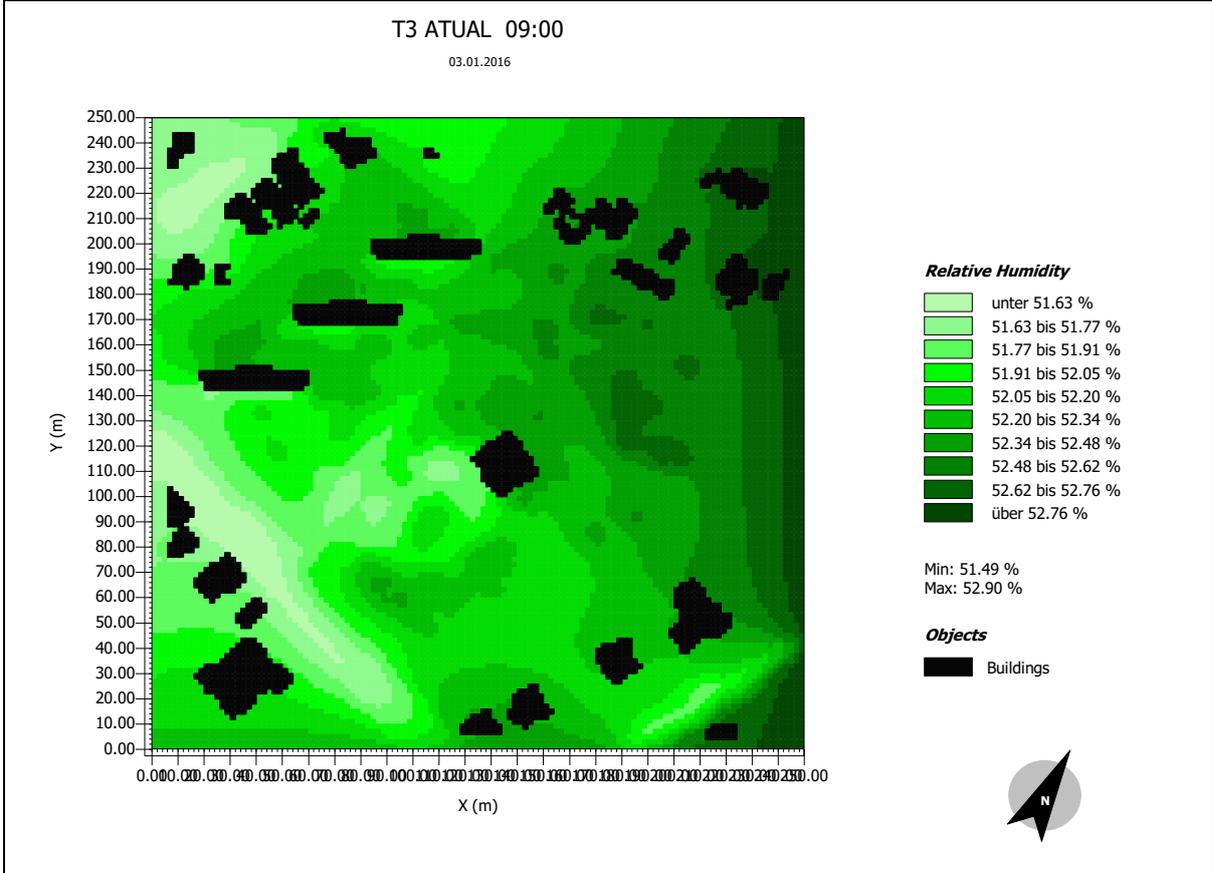
T3CH2



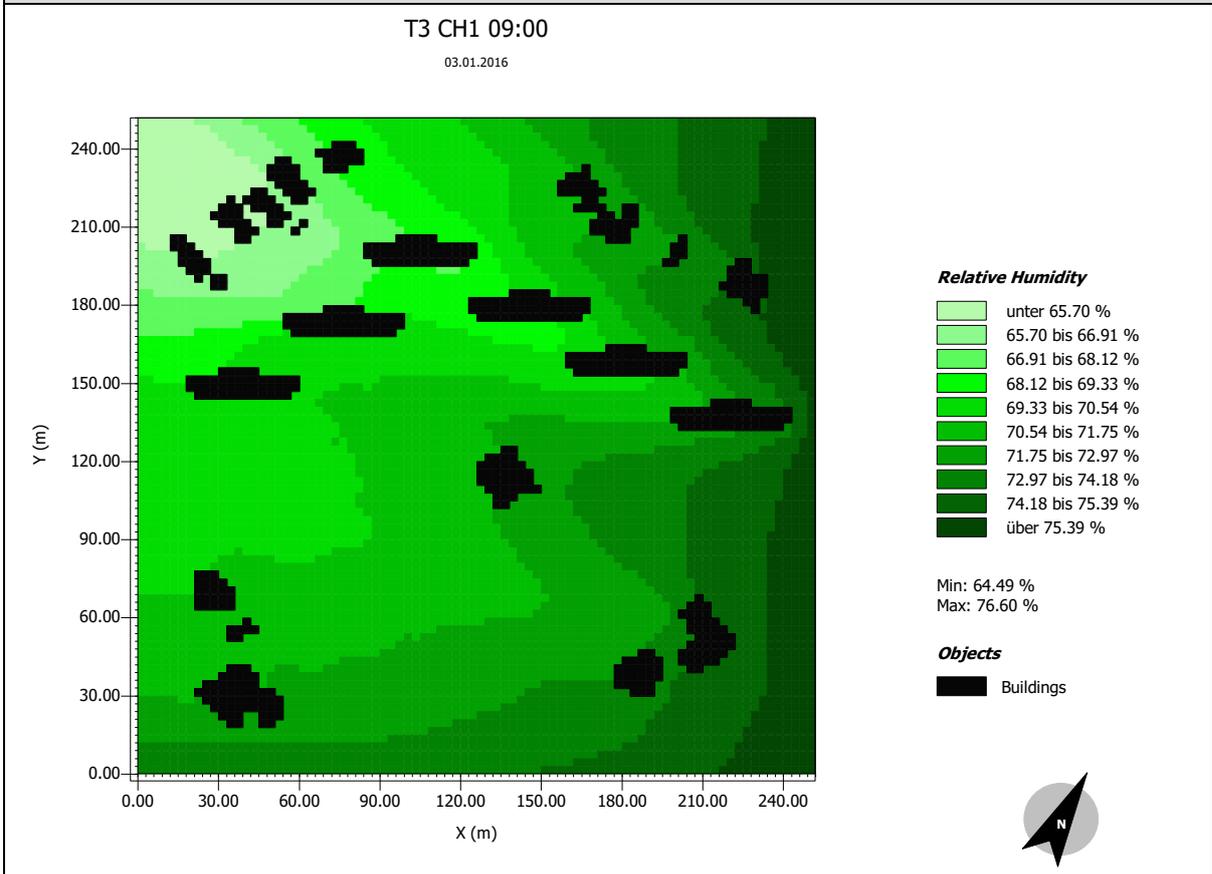
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

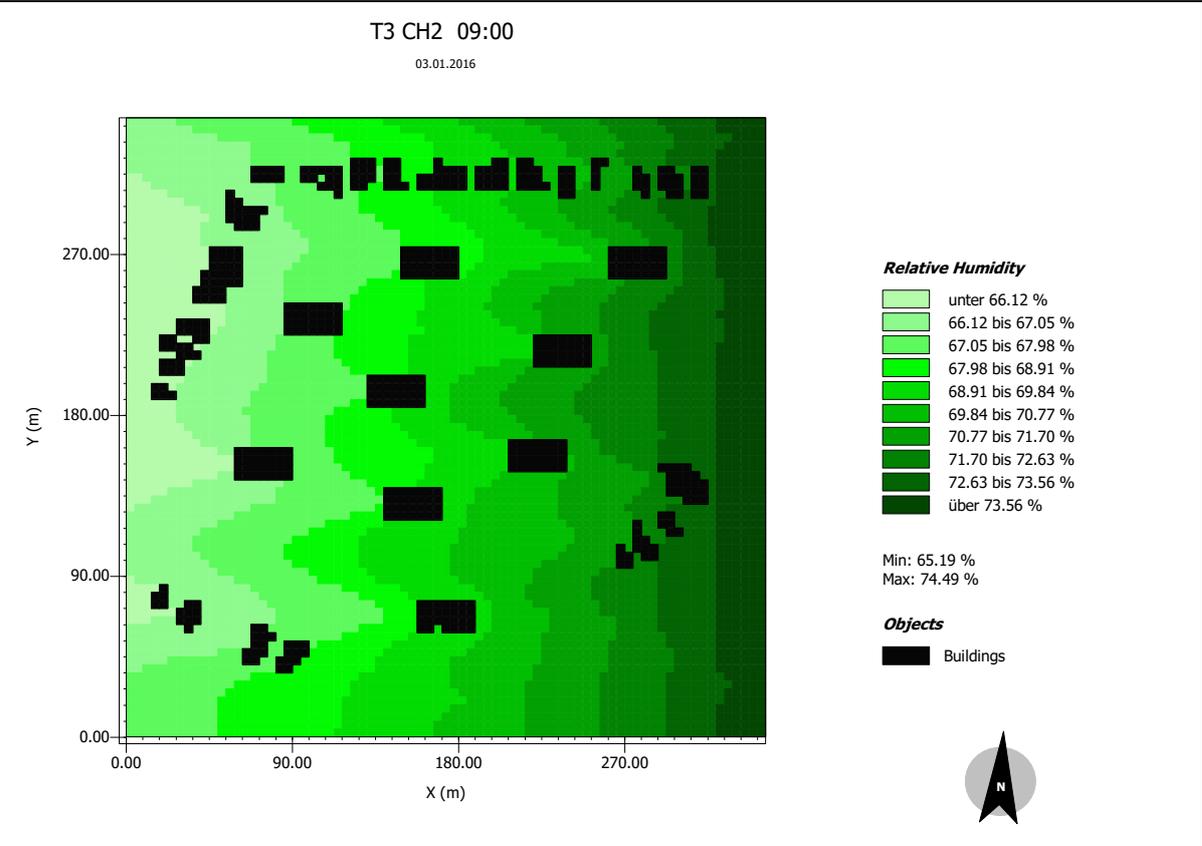


T3 CH1

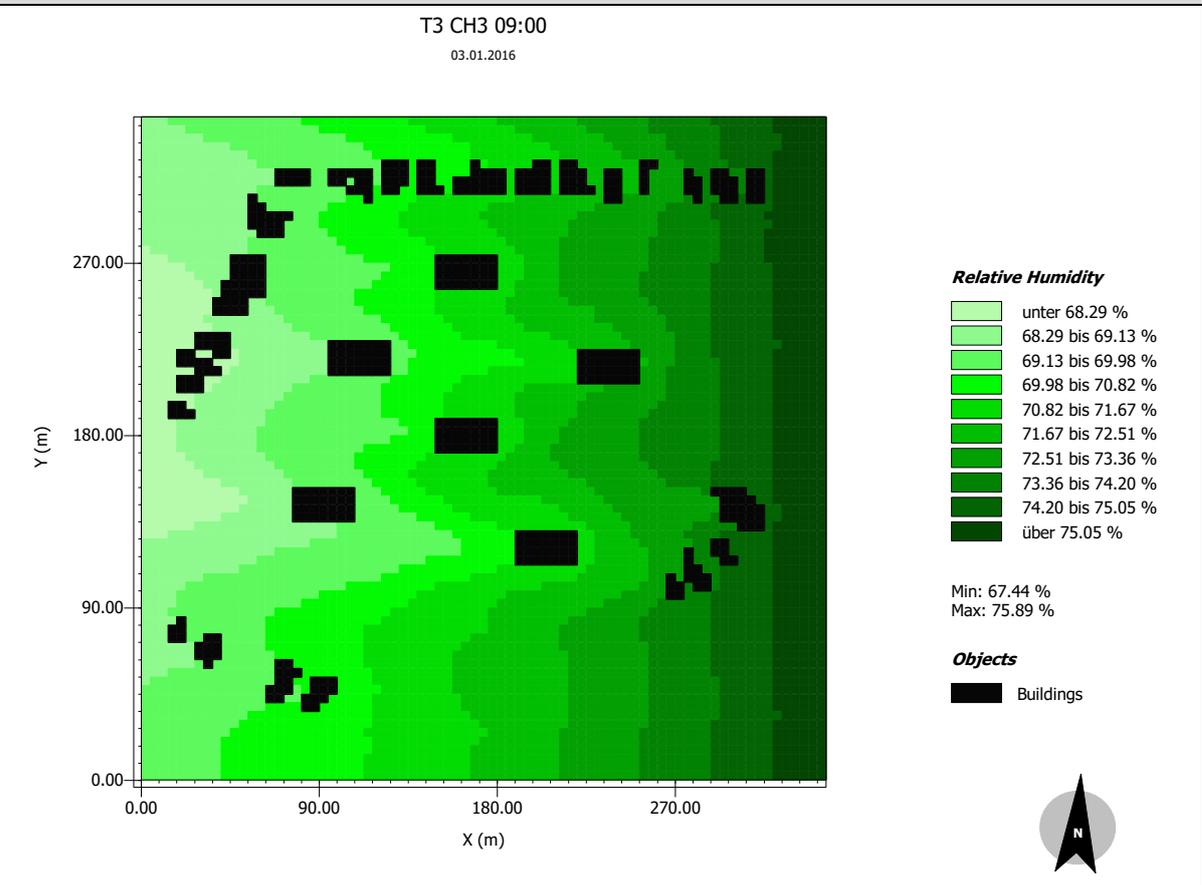


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

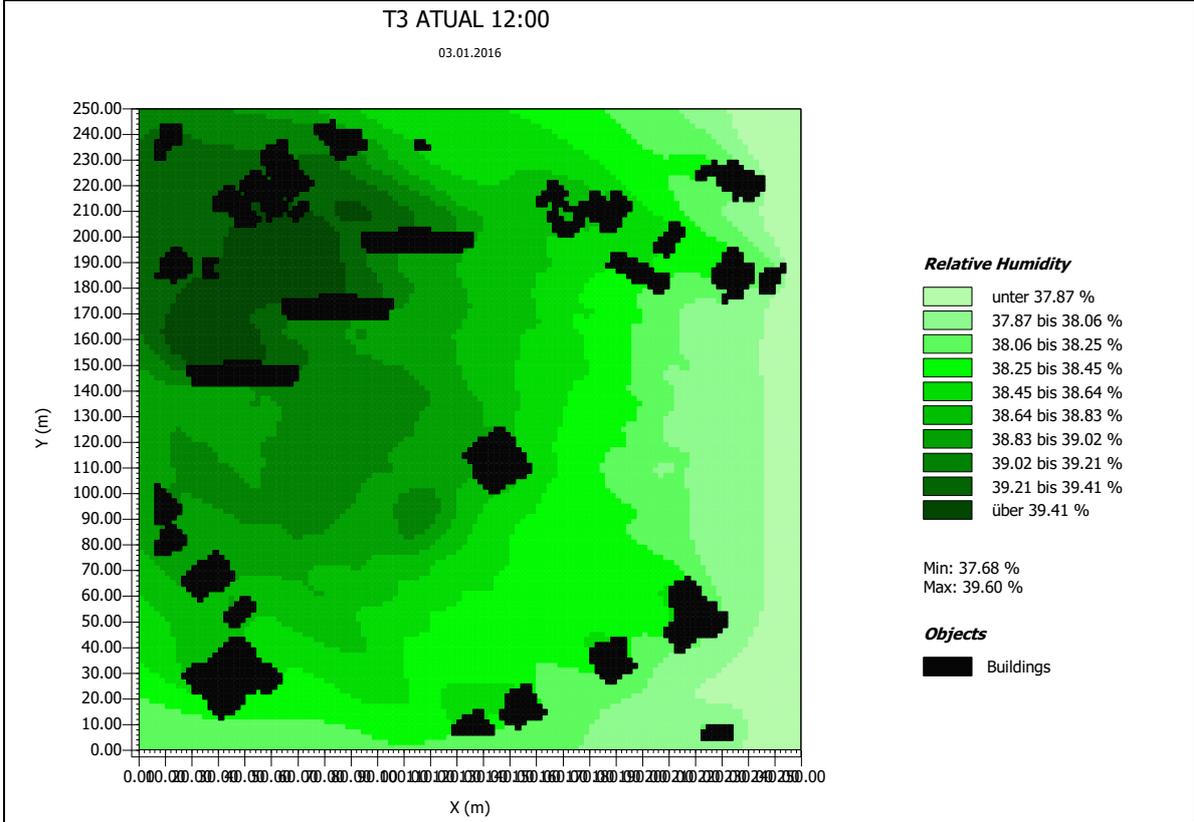
T3CH2



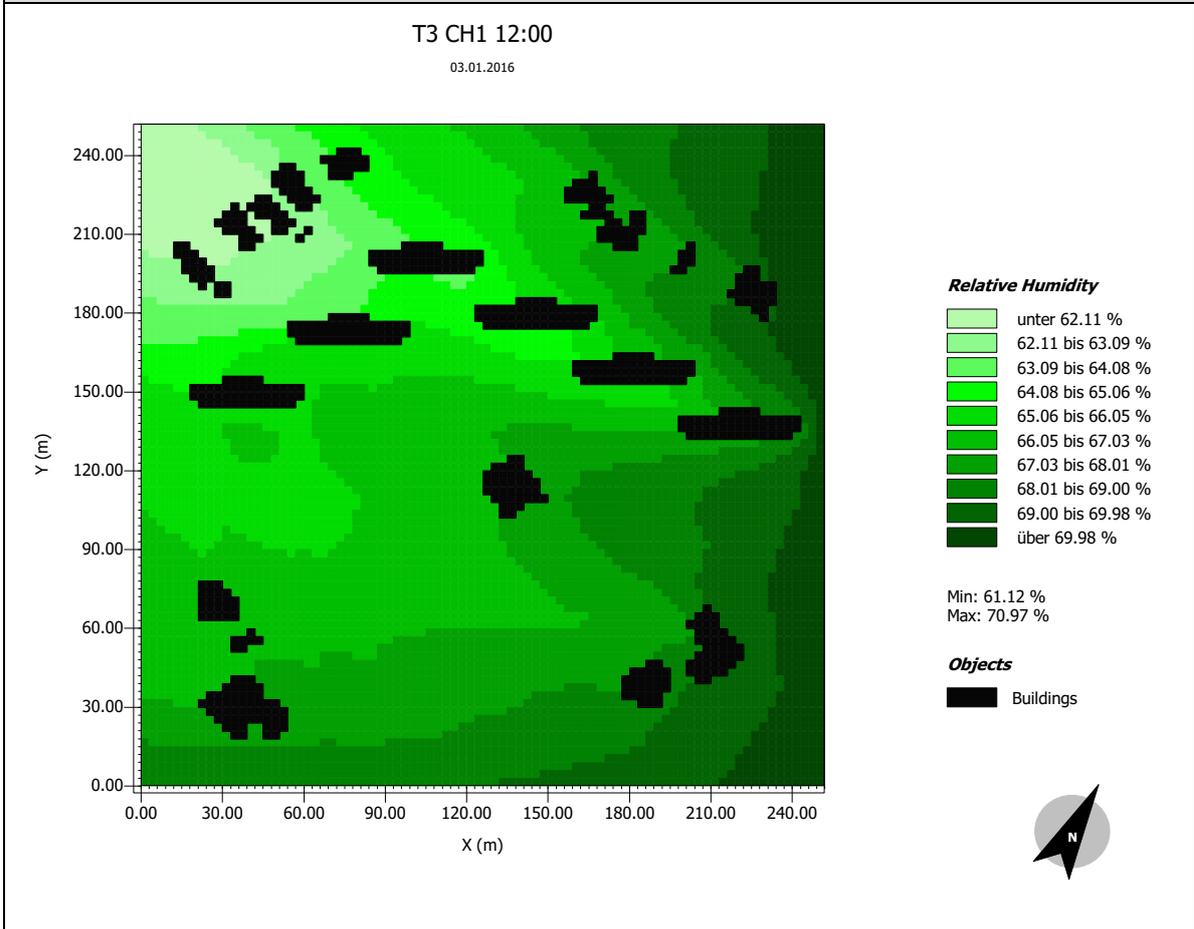
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

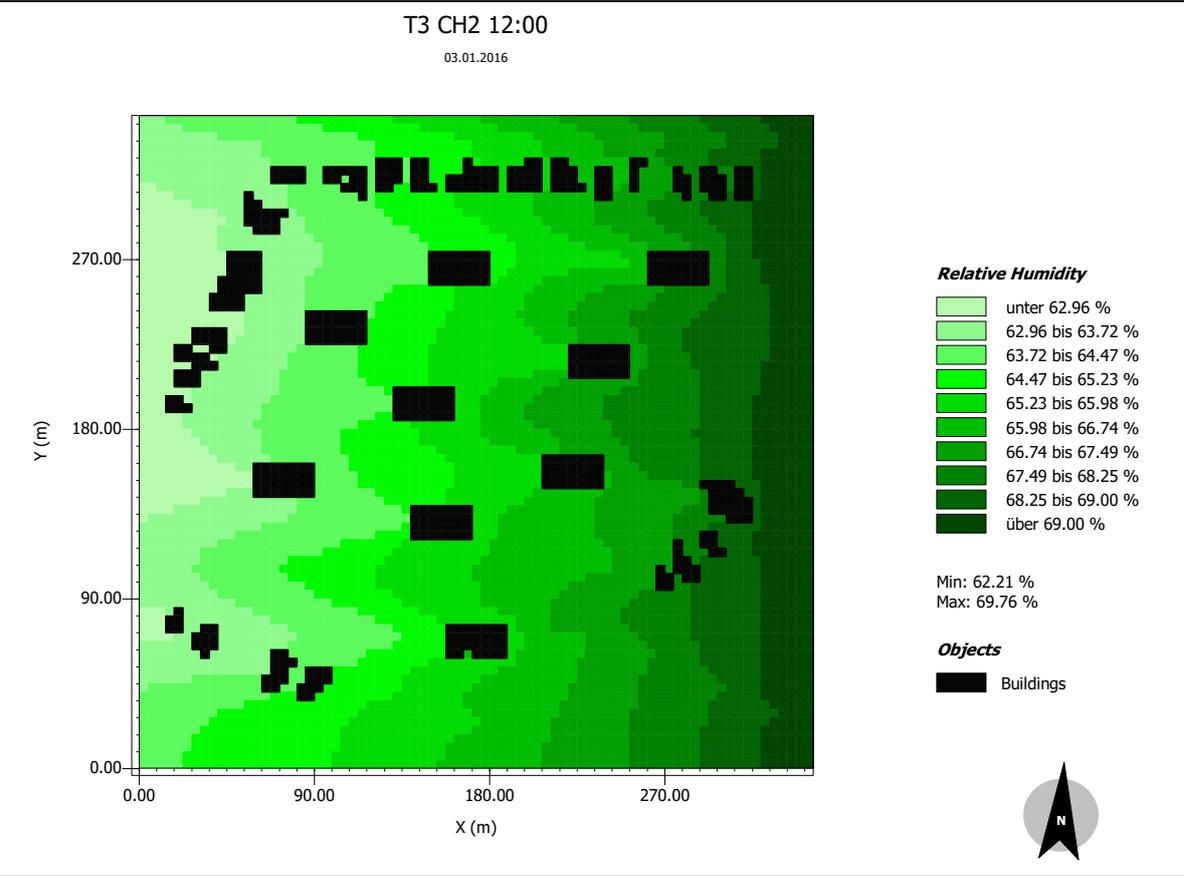


T3 CH1

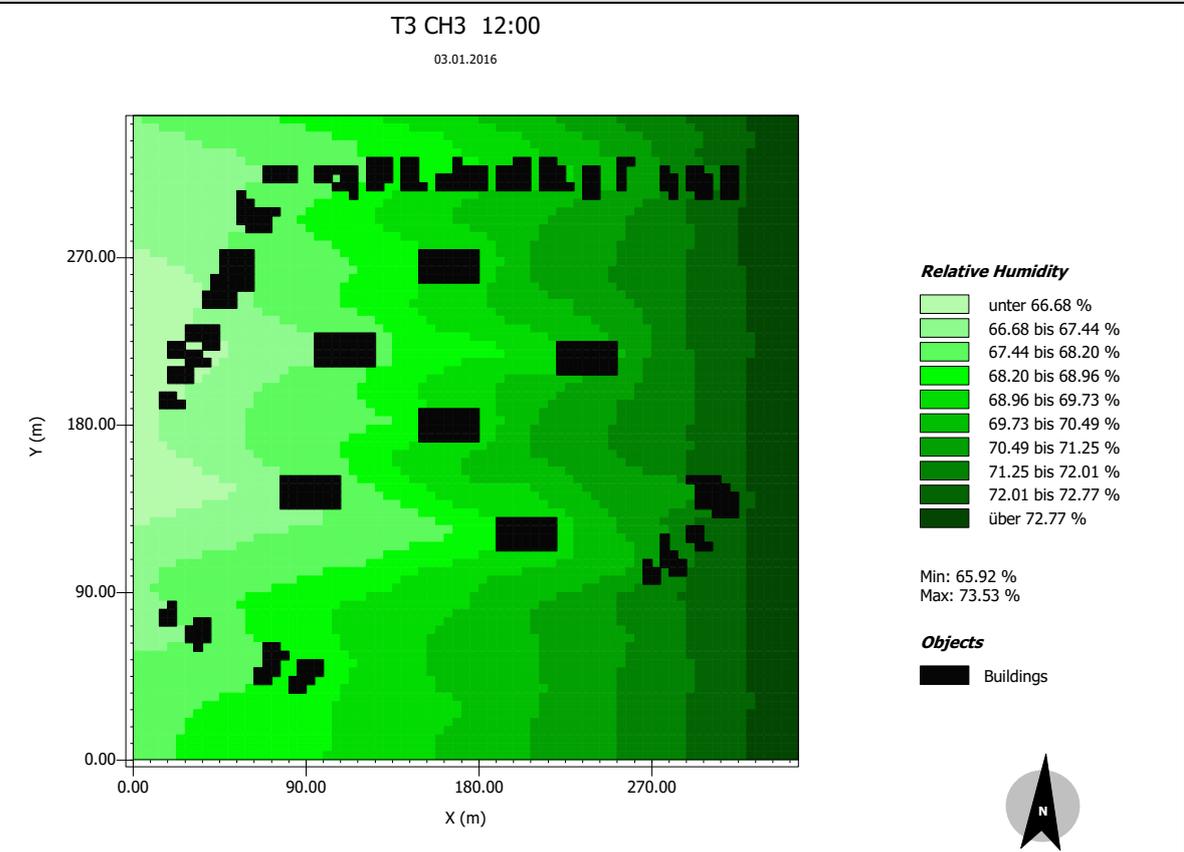


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

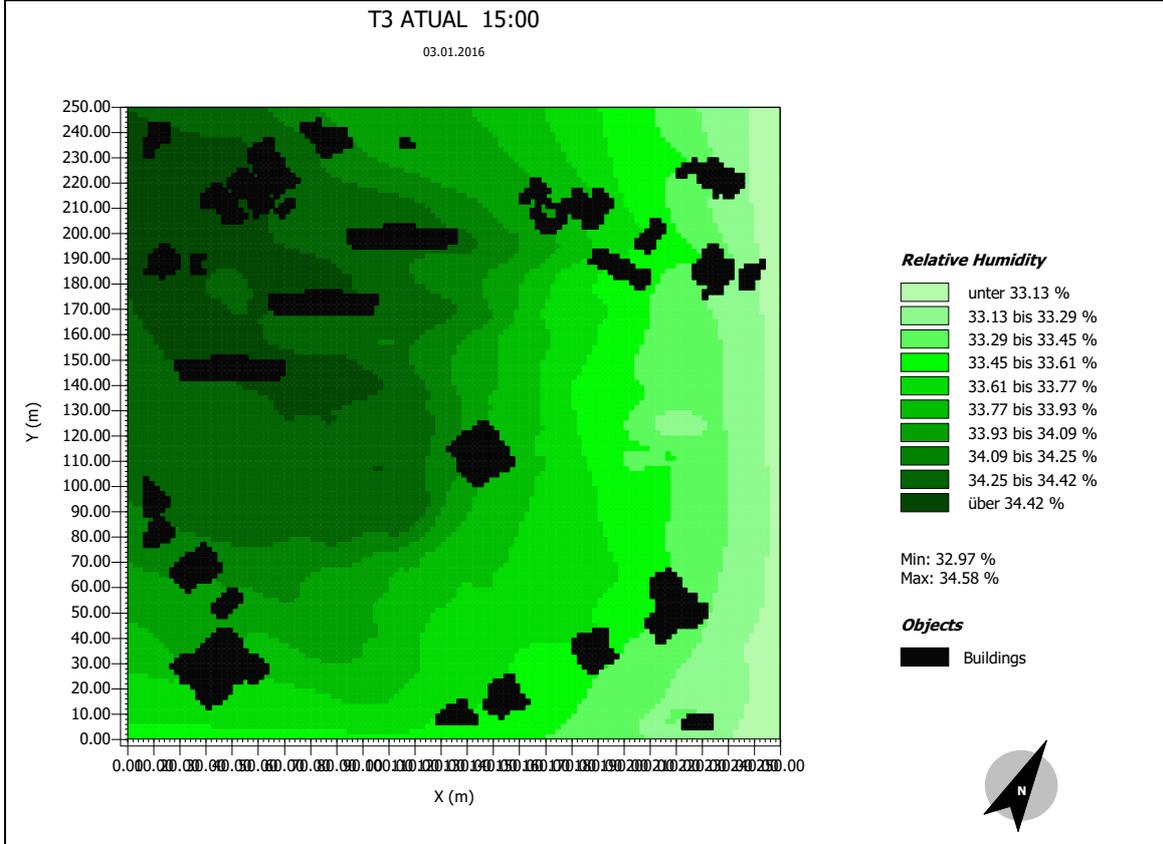
T3CH2



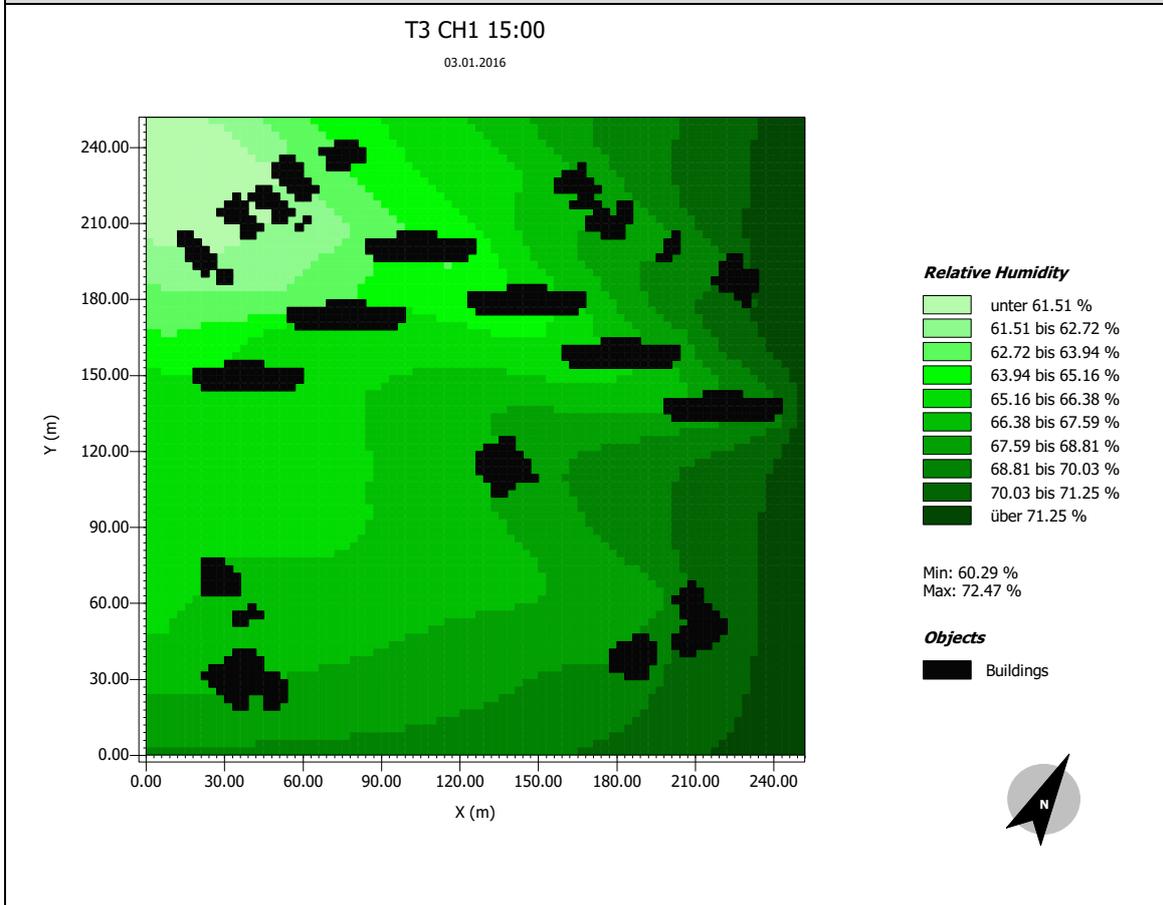
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

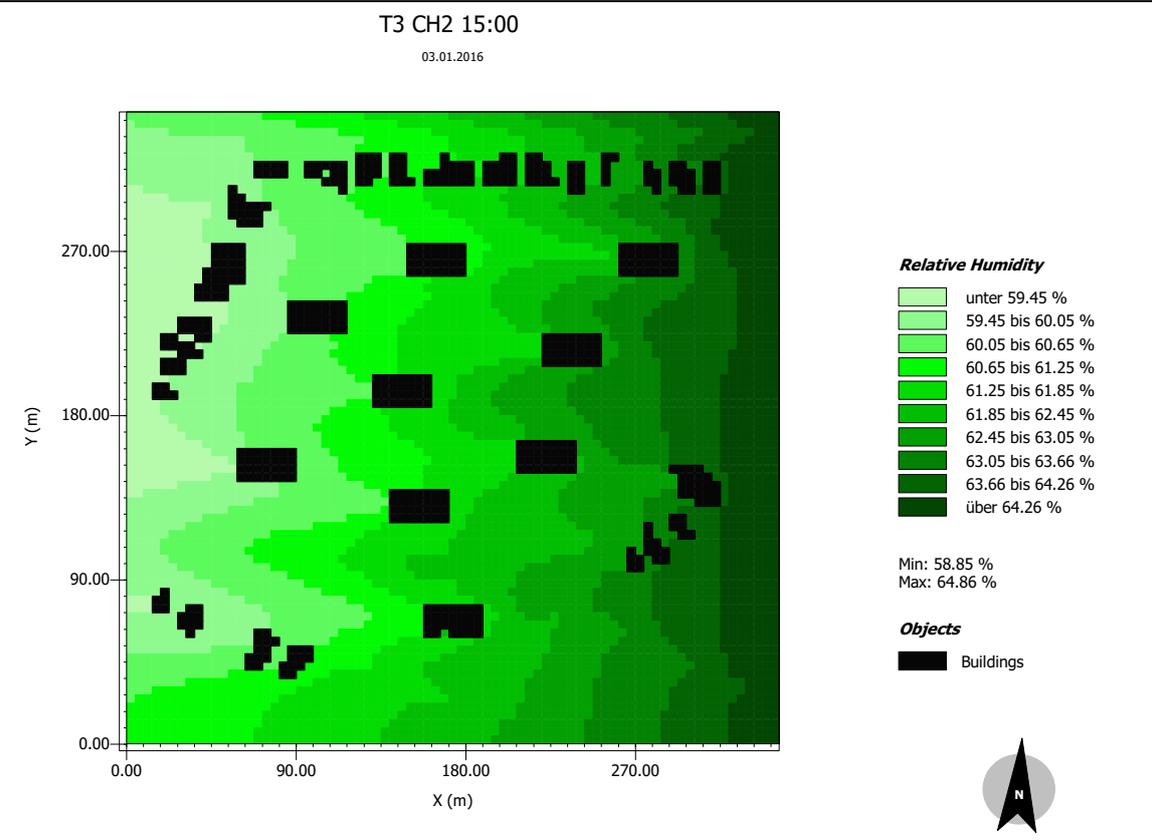


T3 CH1

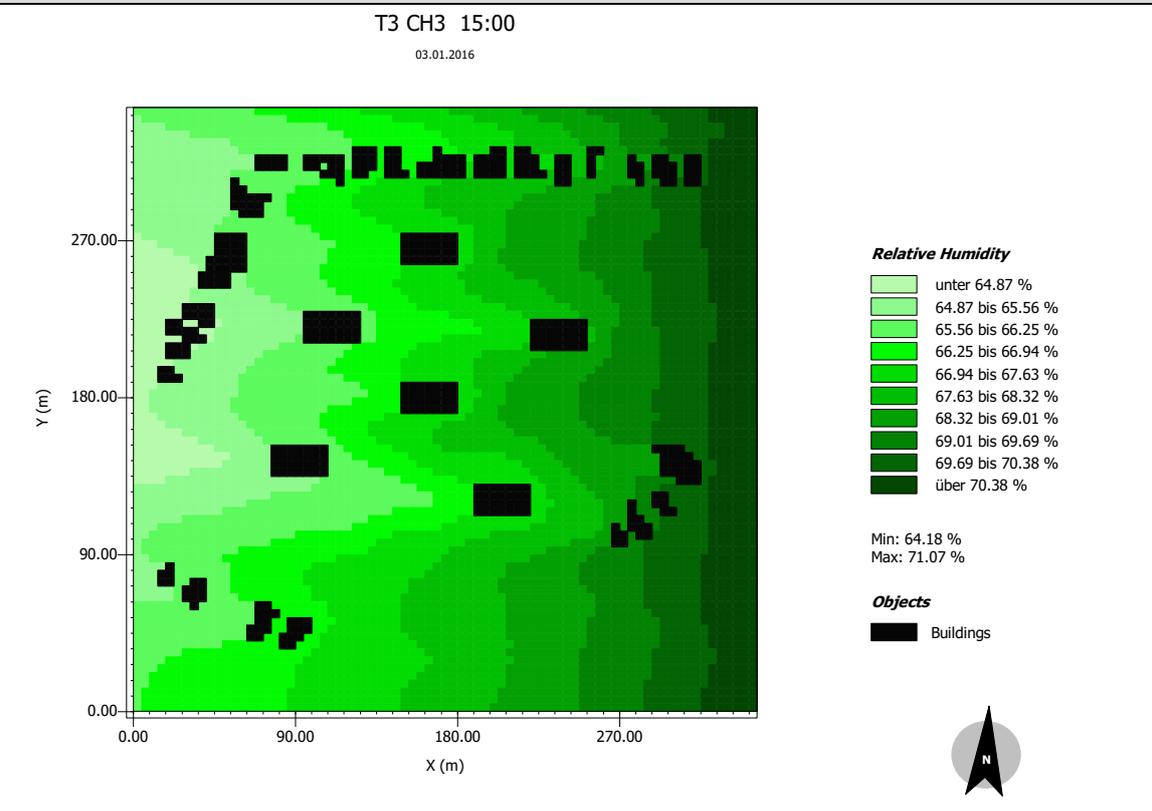


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

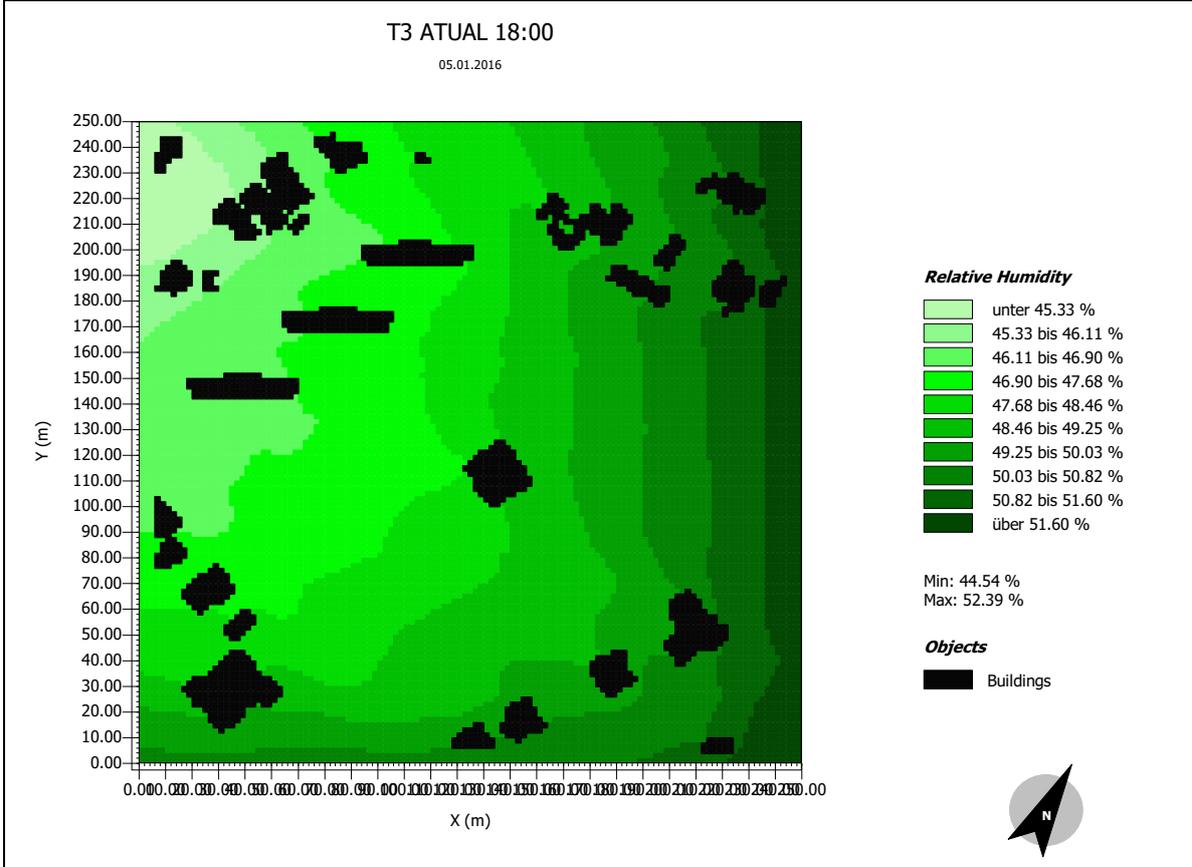
T3 CH2



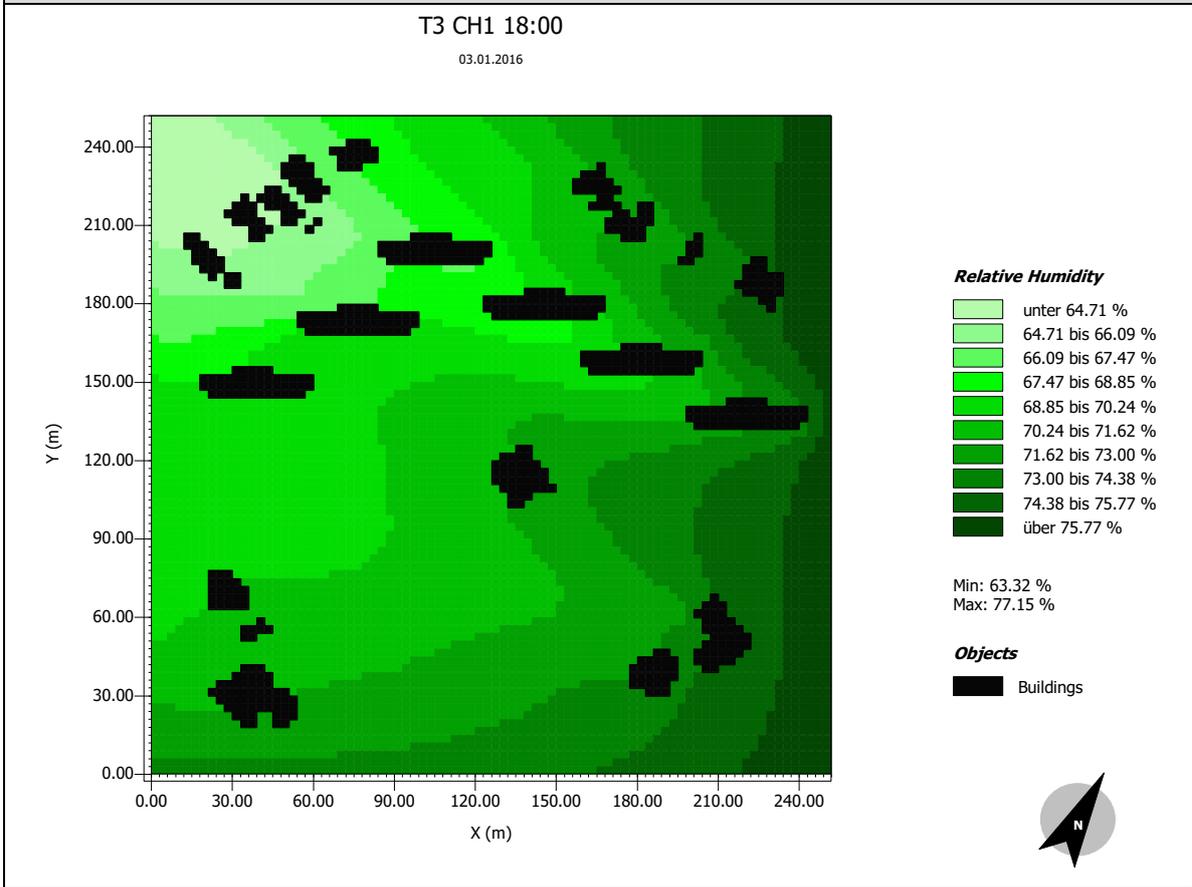
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

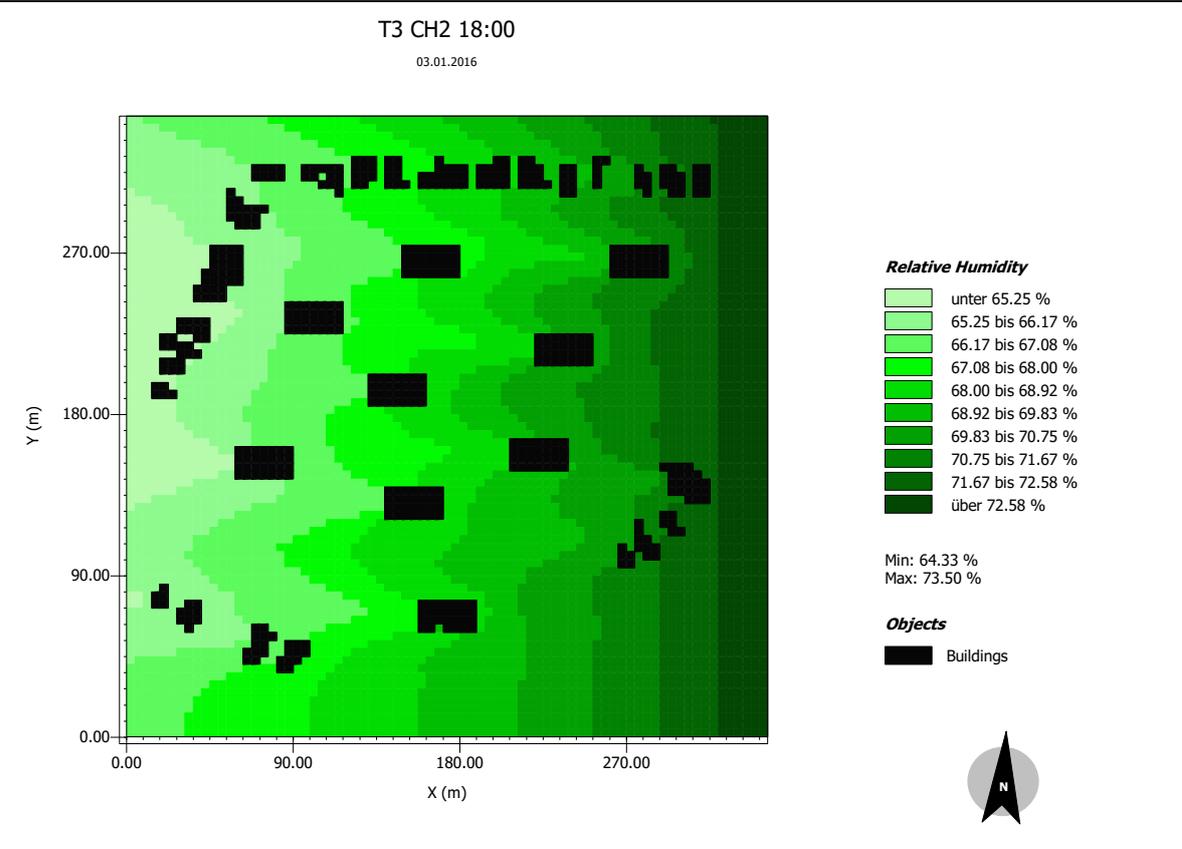


T3 CH1

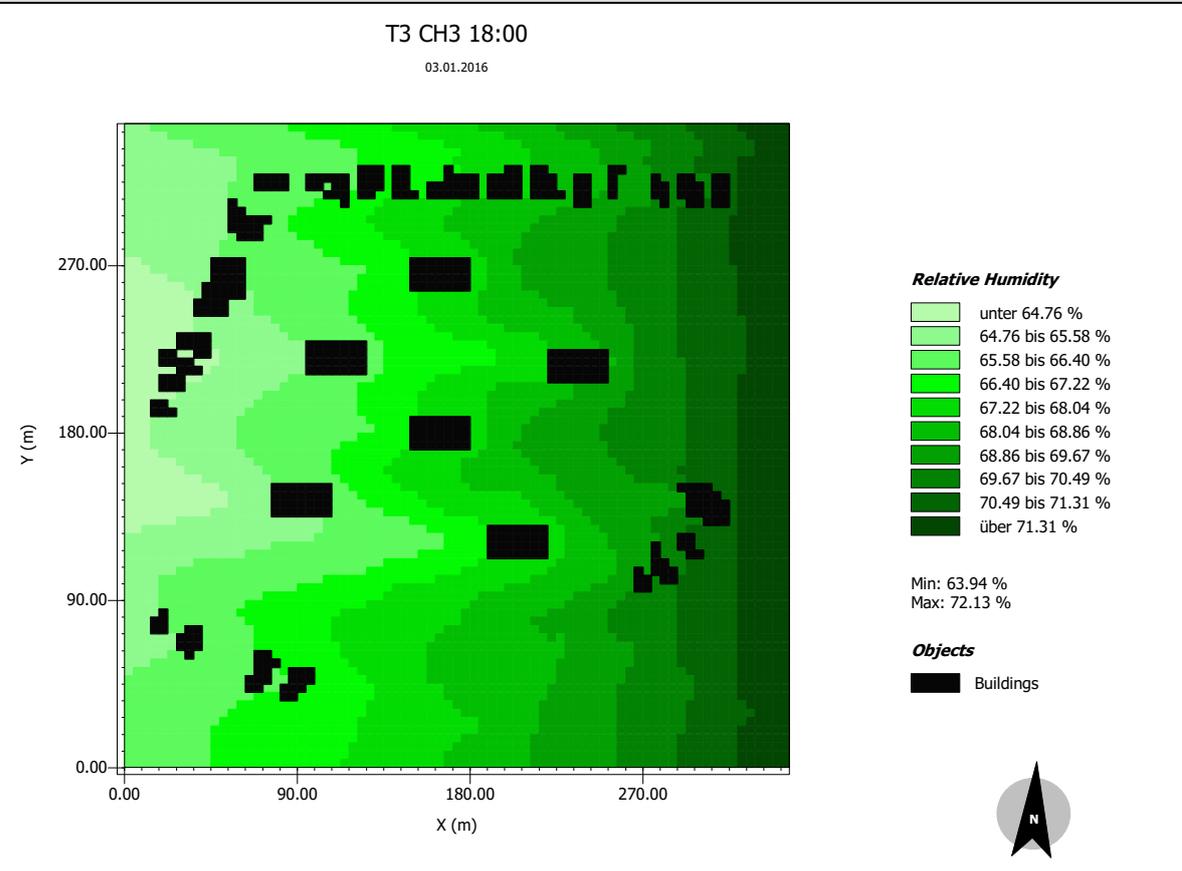


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

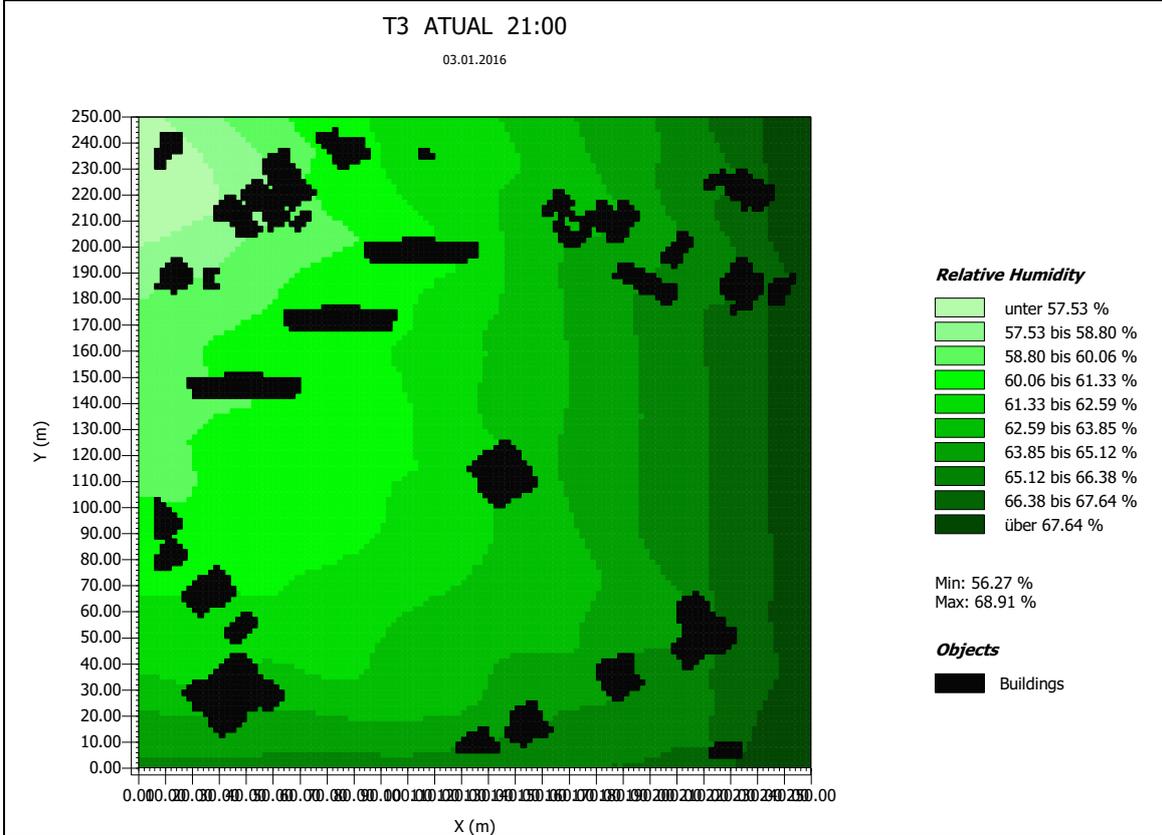
T3 CH2



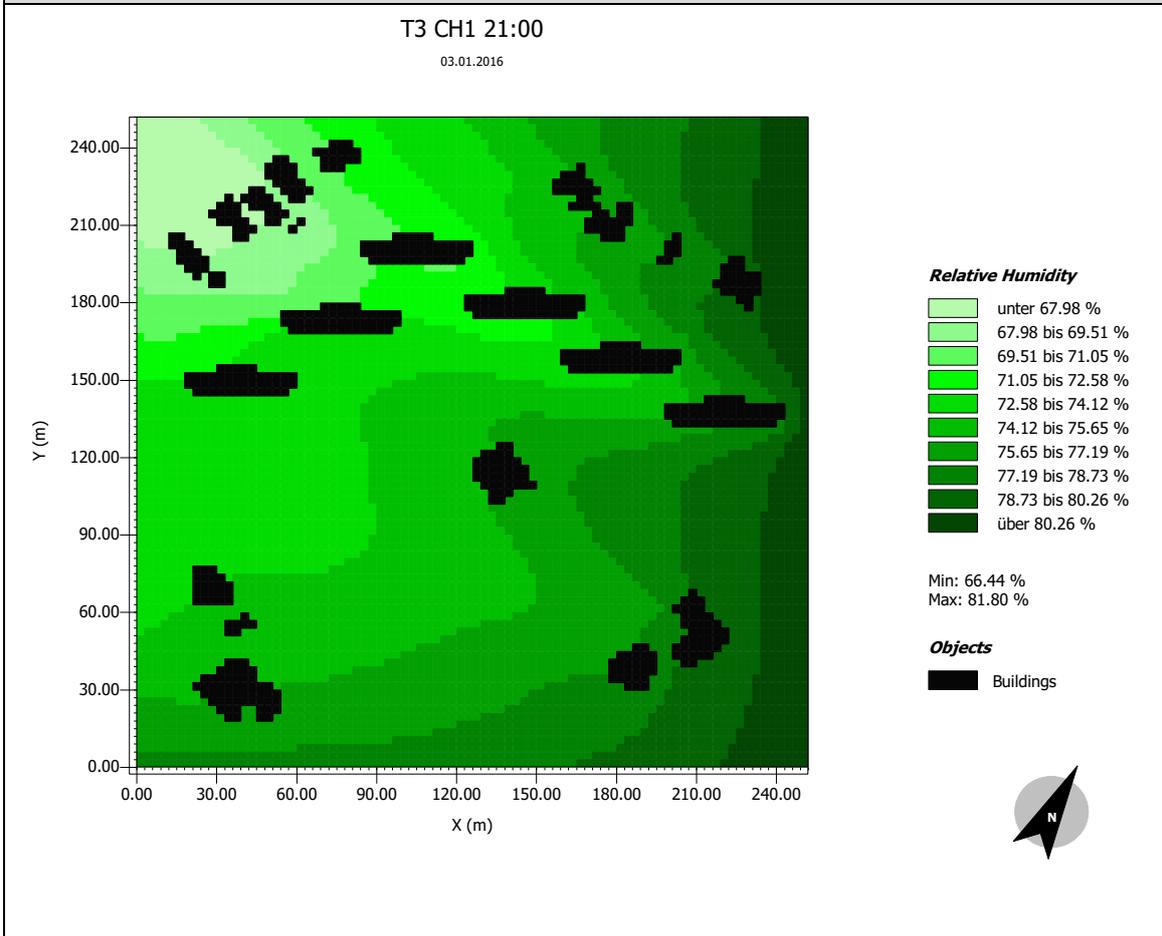
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00

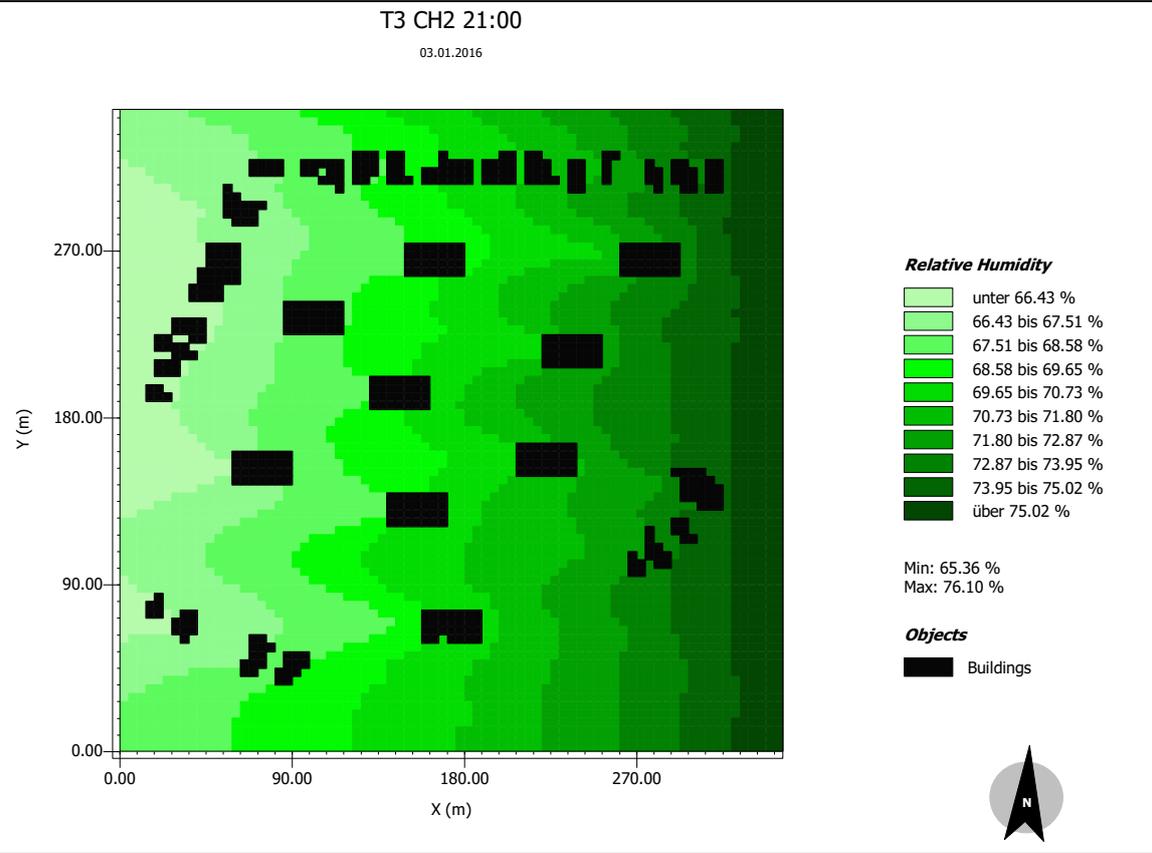


T3 CH1

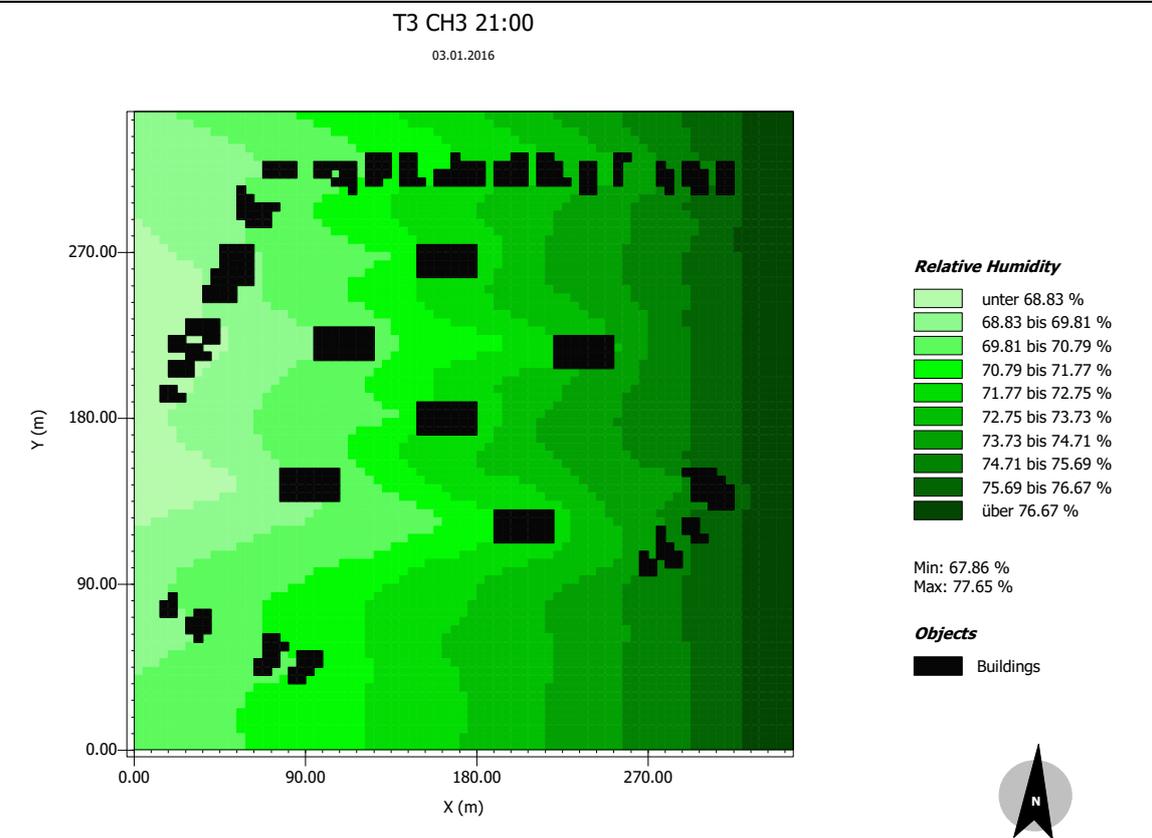


Tecido Urbano Tipo 3 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00

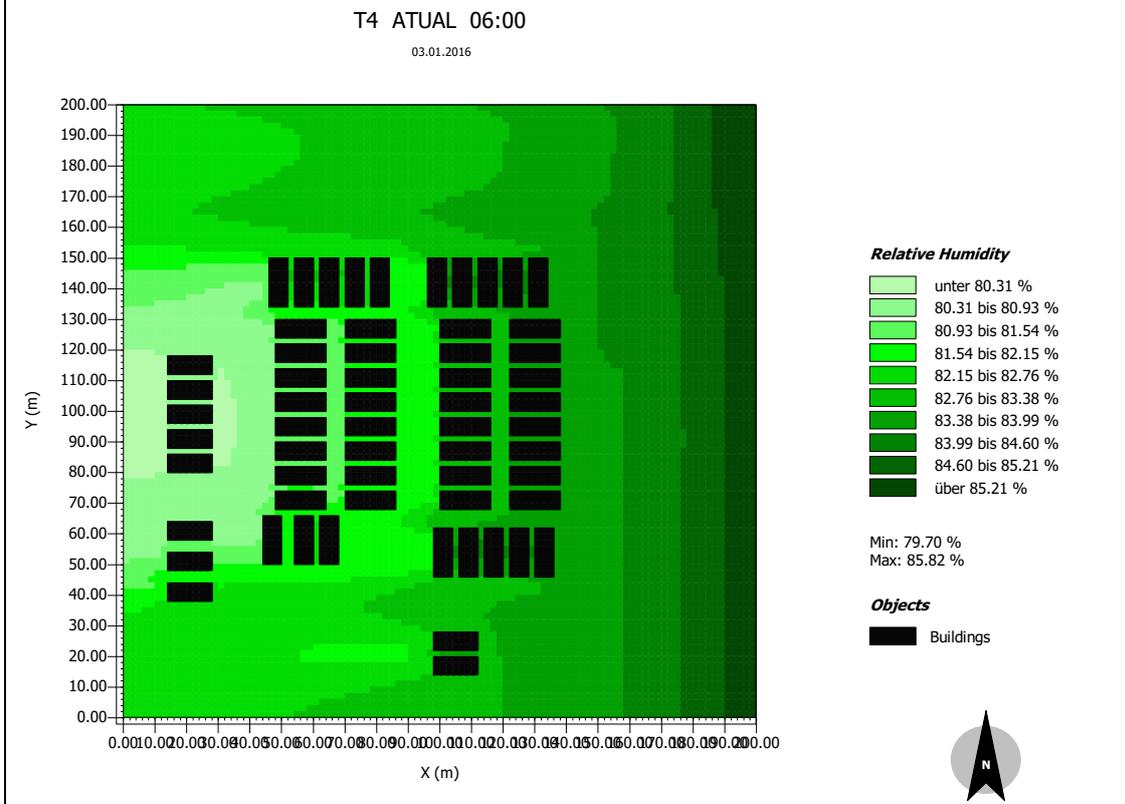
T3 CH2



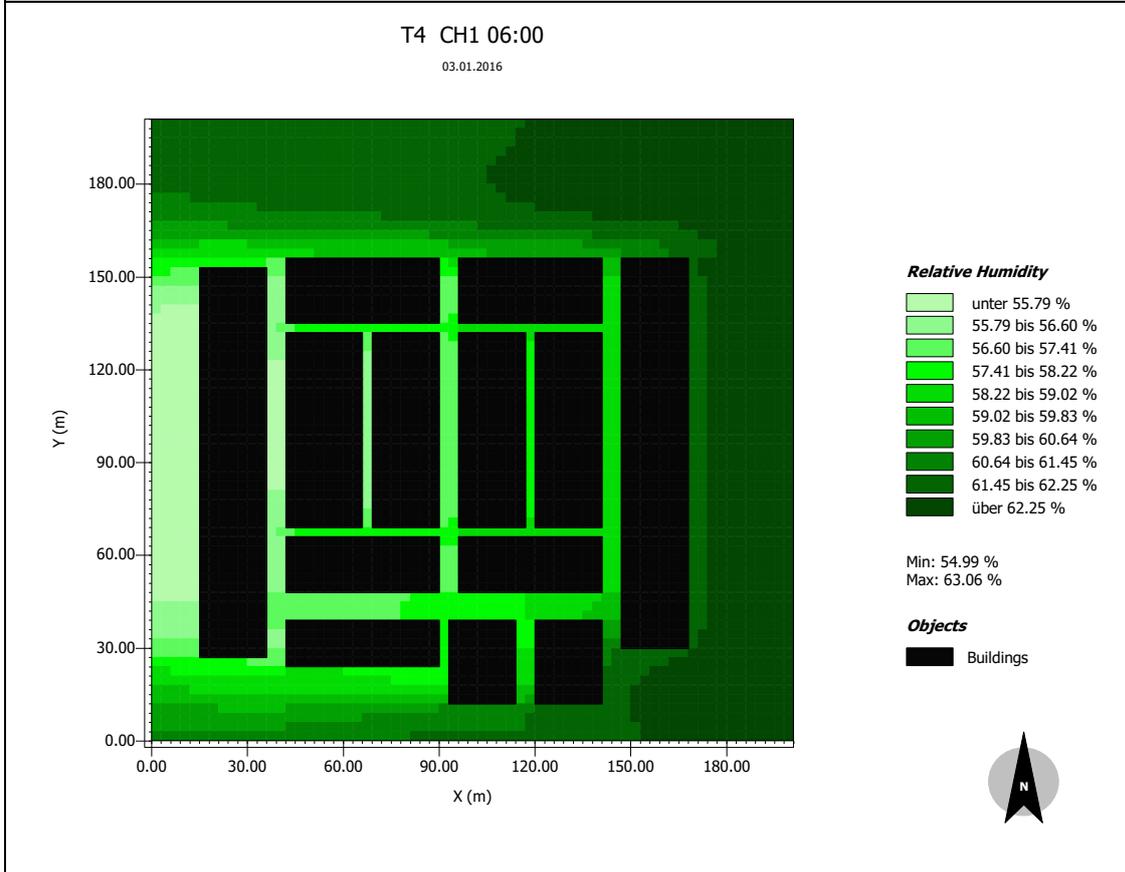
T3 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

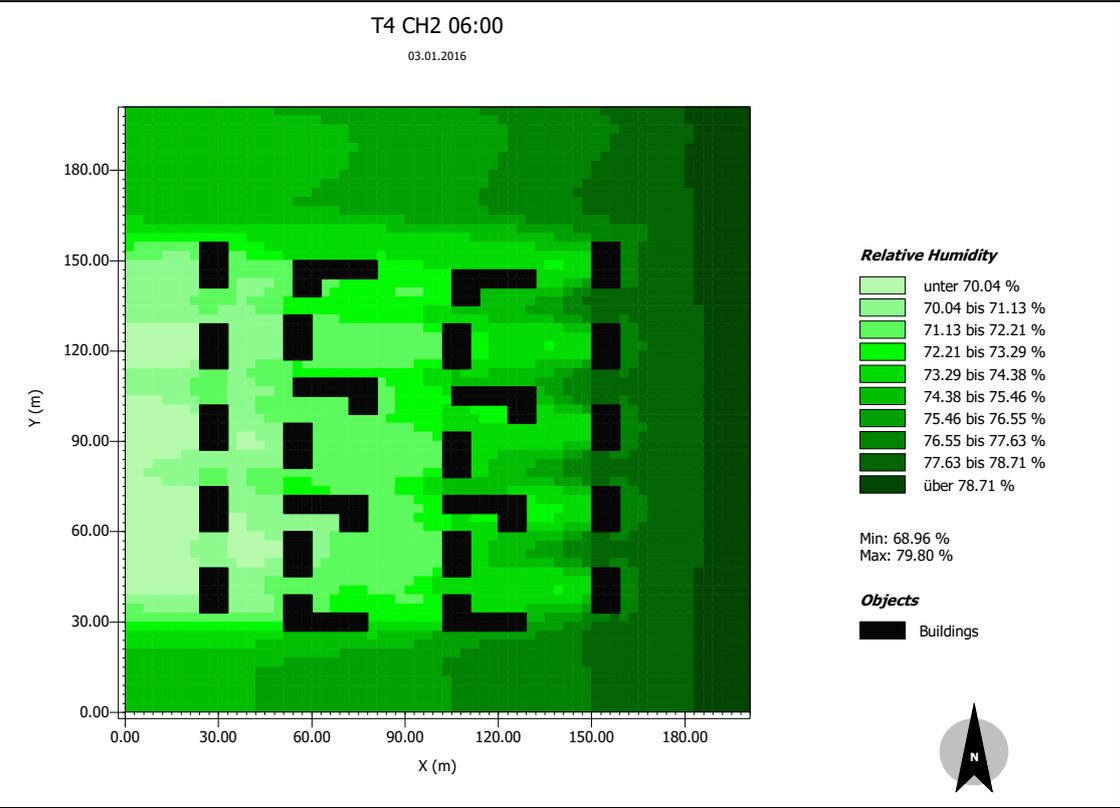


T4 CH1

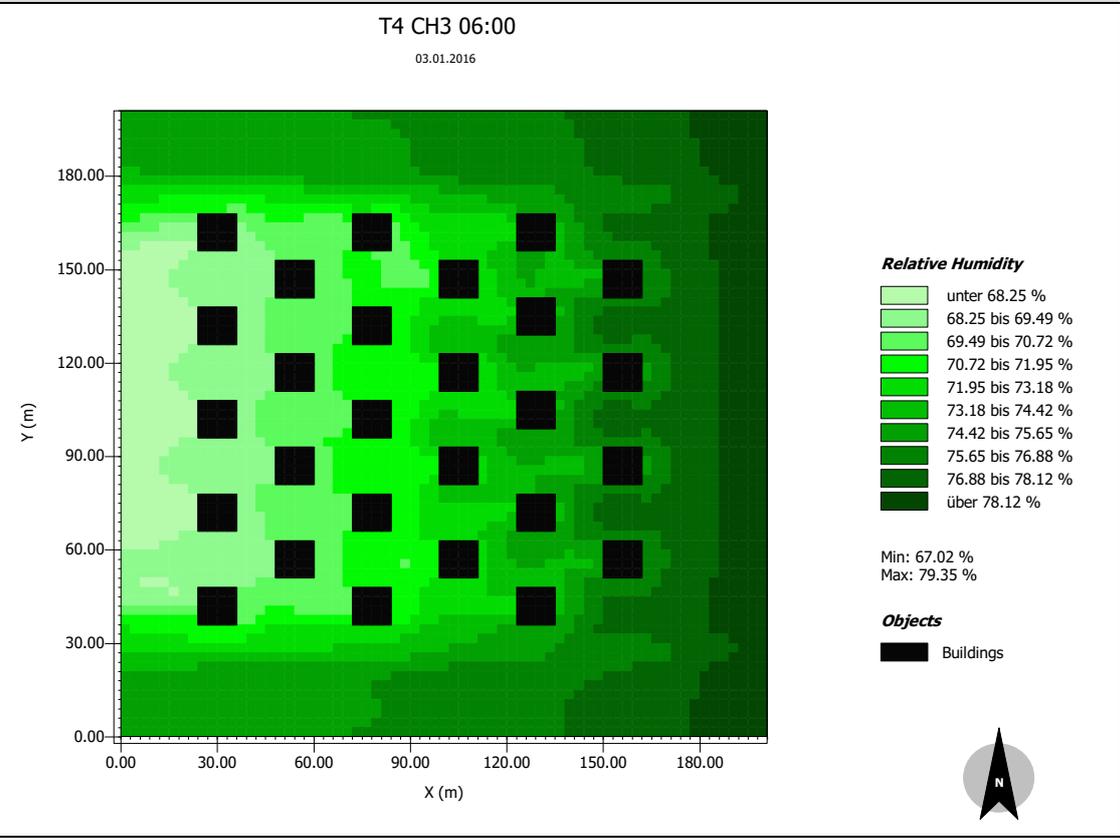


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 6:00

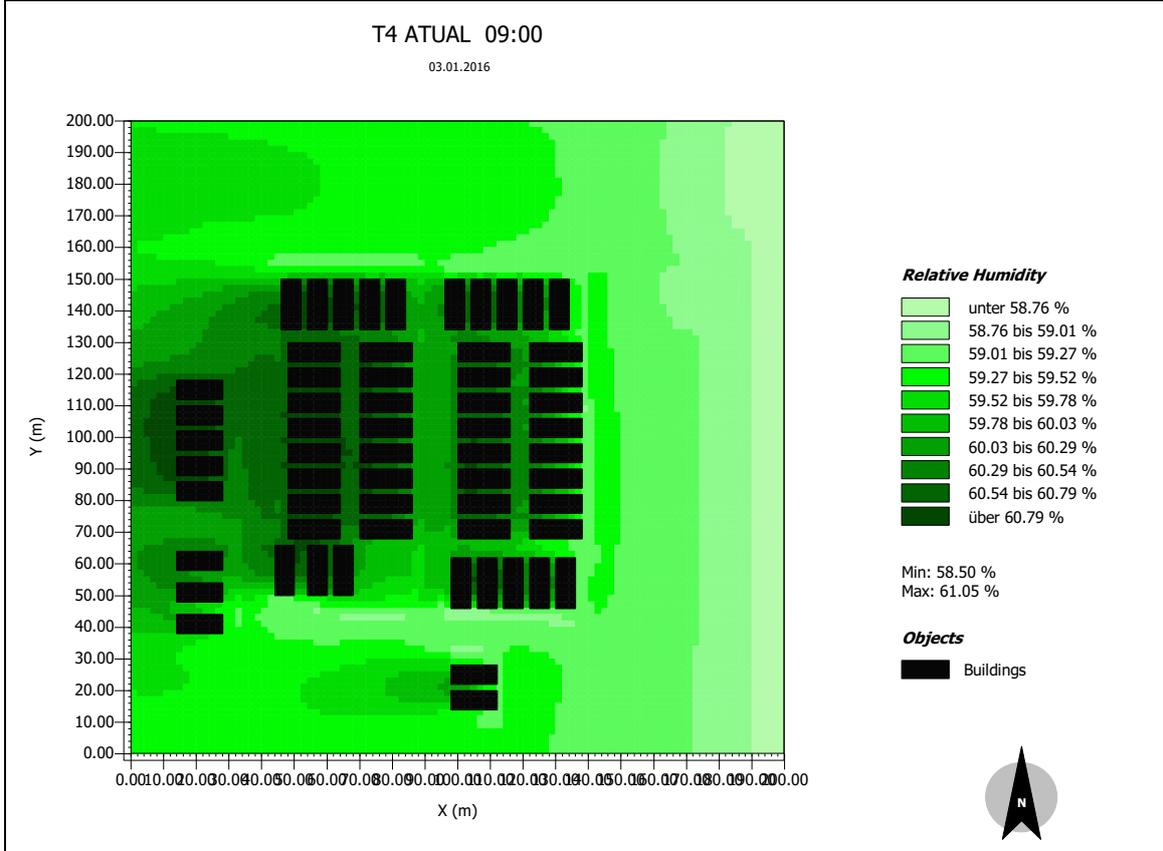
T4 CH2



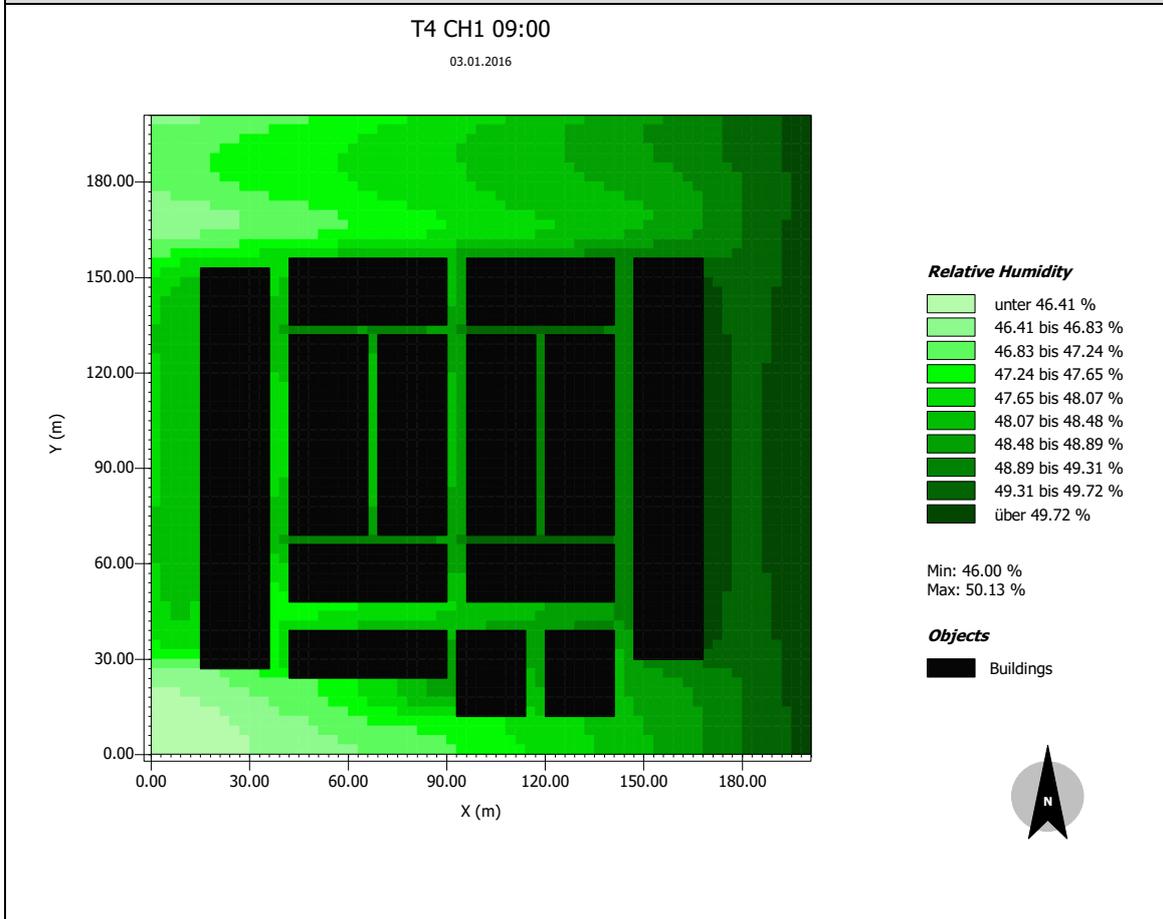
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

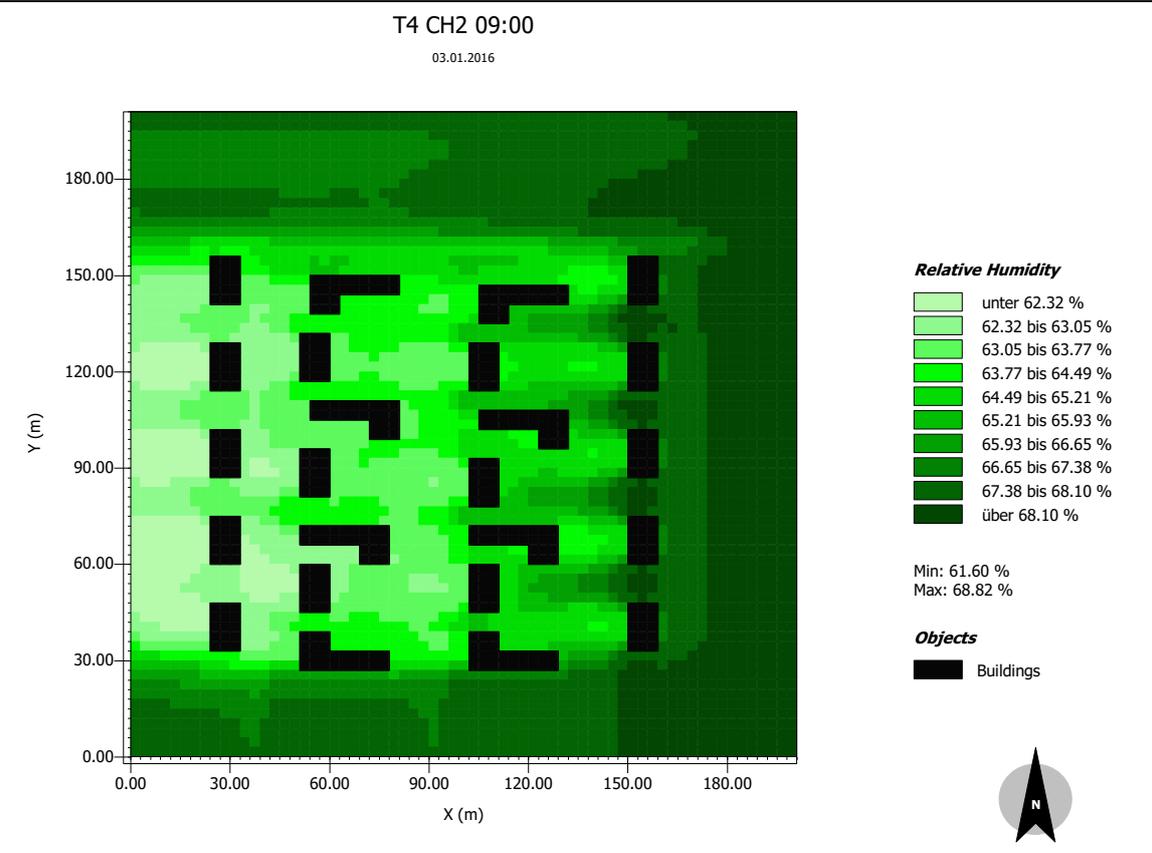


T4 CH1

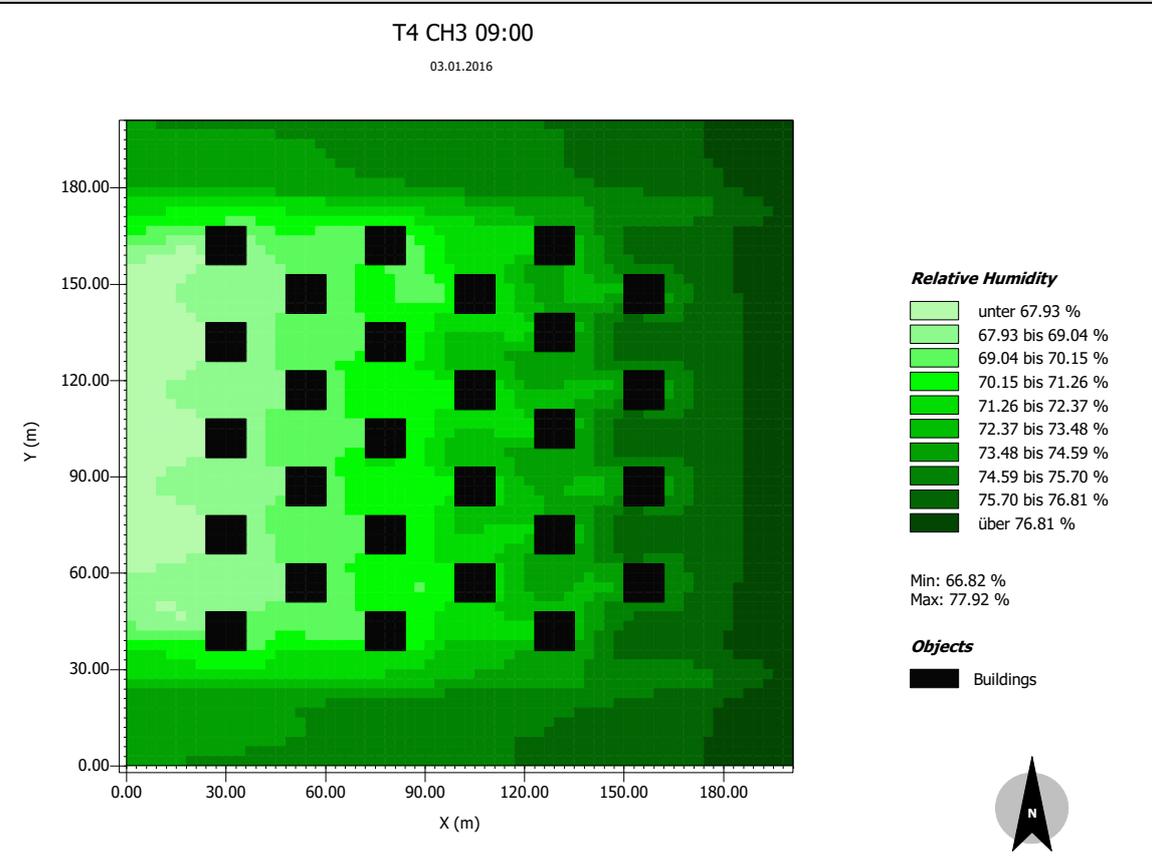


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 9:00

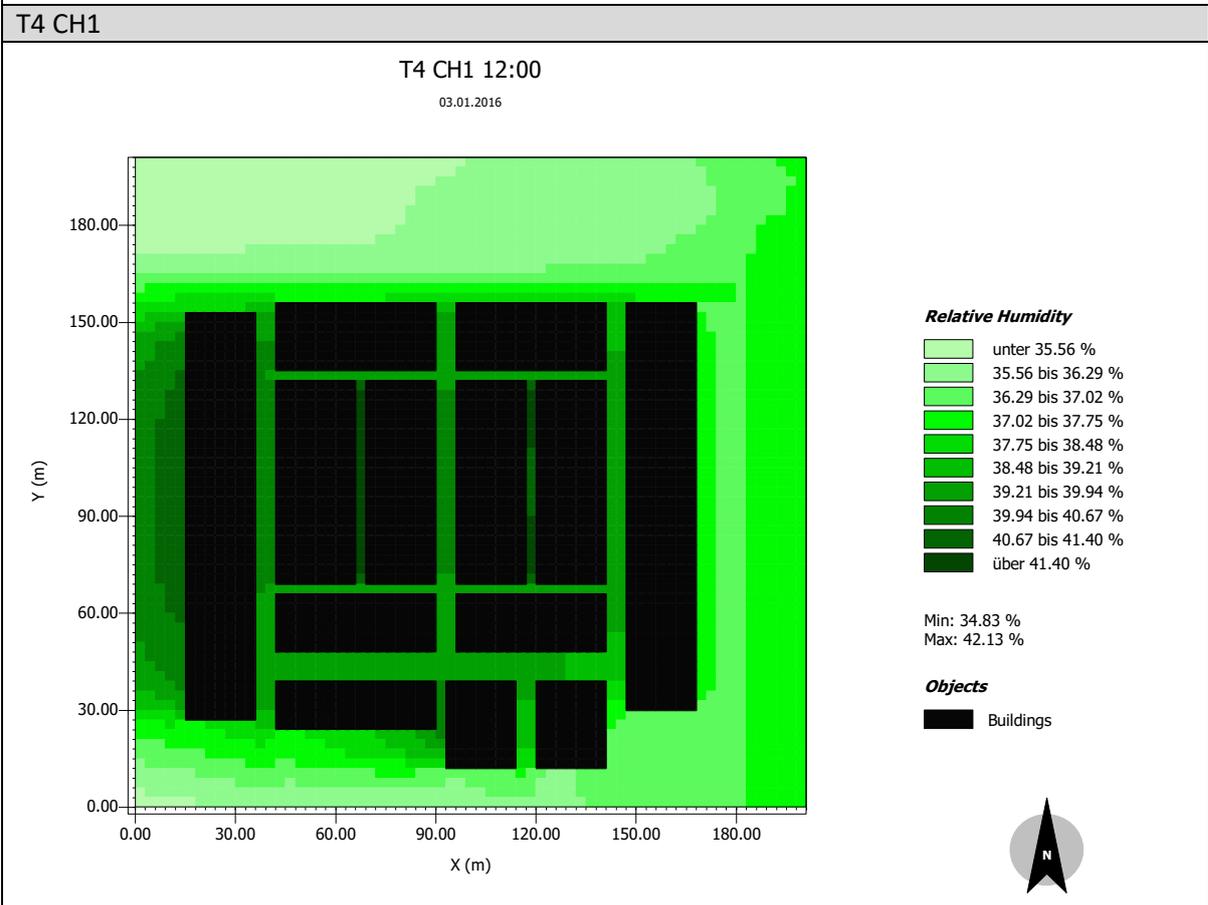
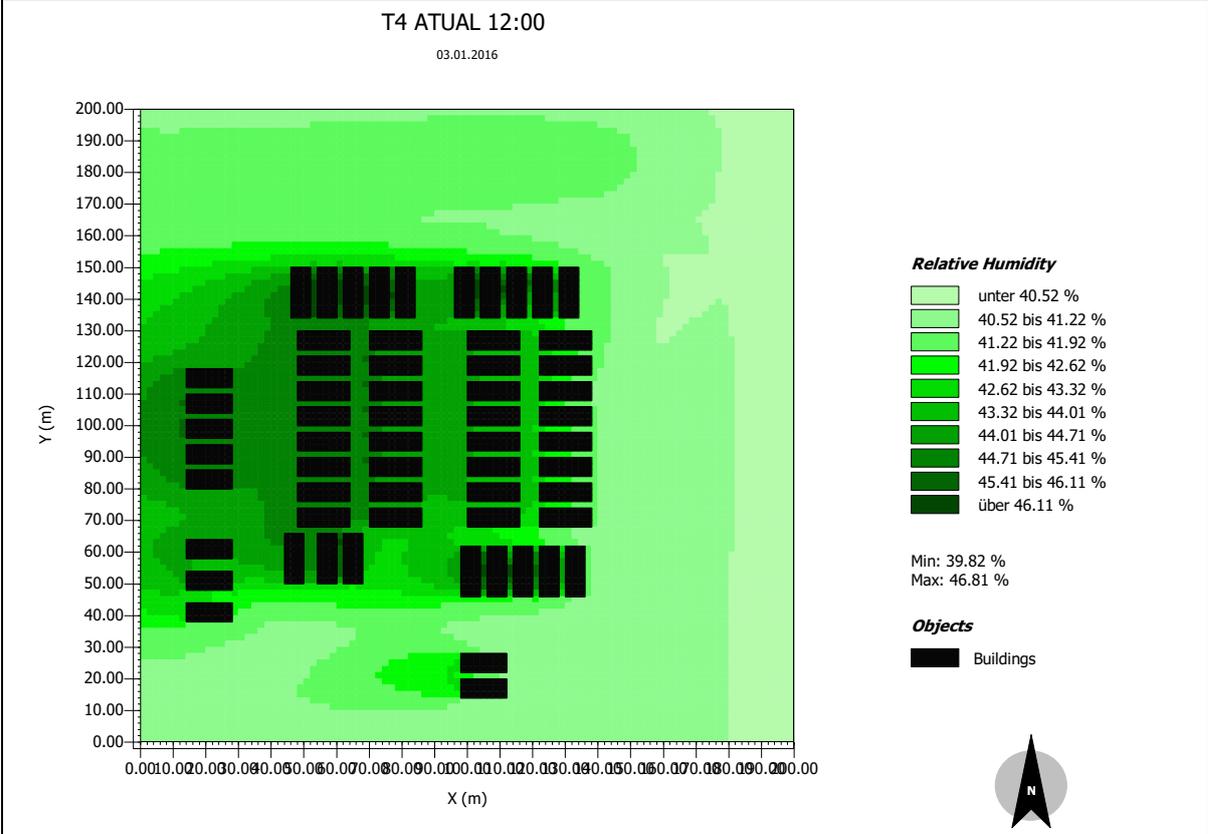
T4CH2



T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

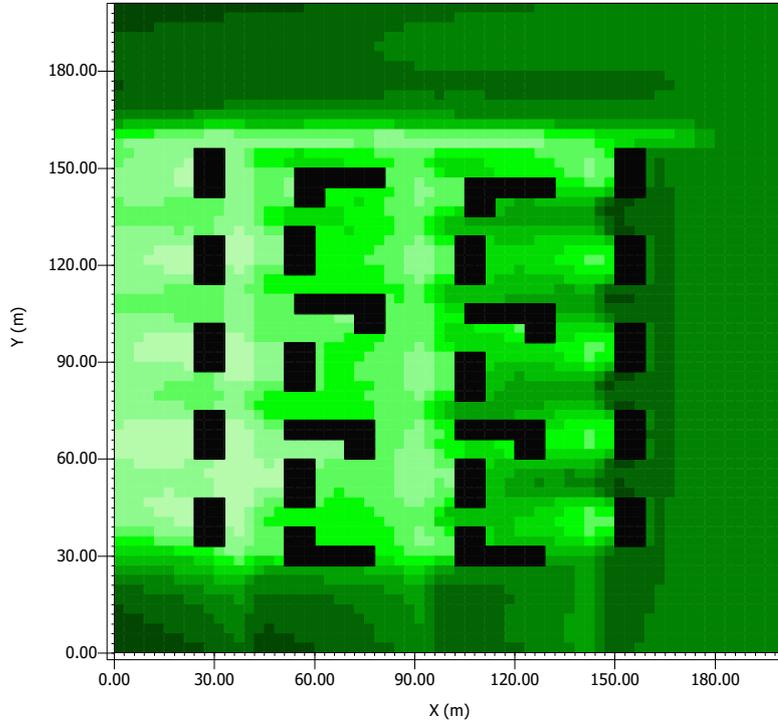


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 12:00

T4 CH2

T4 CH2 12:00

03.01.2016



Relative Humidity

- unter 55.07 %
- 55.07 bis 55.60 %
- 55.60 bis 56.13 %
- 56.13 bis 56.66 %
- 56.66 bis 57.19 %
- 57.19 bis 57.72 %
- 57.72 bis 58.25 %
- 58.25 bis 58.78 %
- 58.78 bis 59.31 %
- über 59.31 %

Min: 54.54 %
Max: 59.84 %

Objects

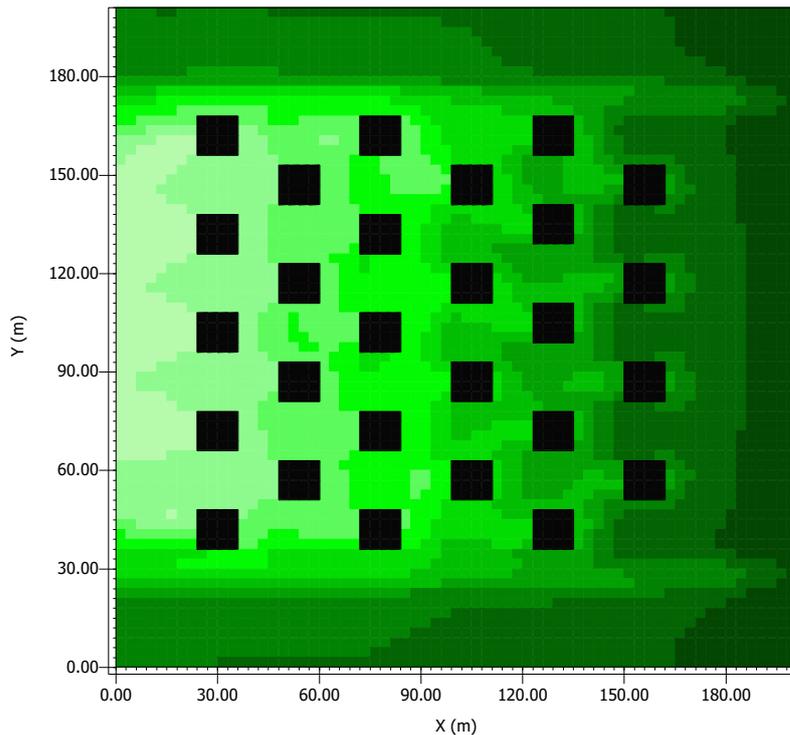
- Buildings



T4 CH3

T4 CH3 12:00

03.01.2016



Relative Humidity

- unter 65.01 %
- 65.01 bis 65.99 %
- 65.99 bis 66.96 %
- 66.96 bis 67.94 %
- 67.94 bis 68.91 %
- 68.91 bis 69.88 %
- 69.88 bis 70.86 %
- 70.86 bis 71.83 %
- 71.83 bis 72.81 %
- über 72.81 %

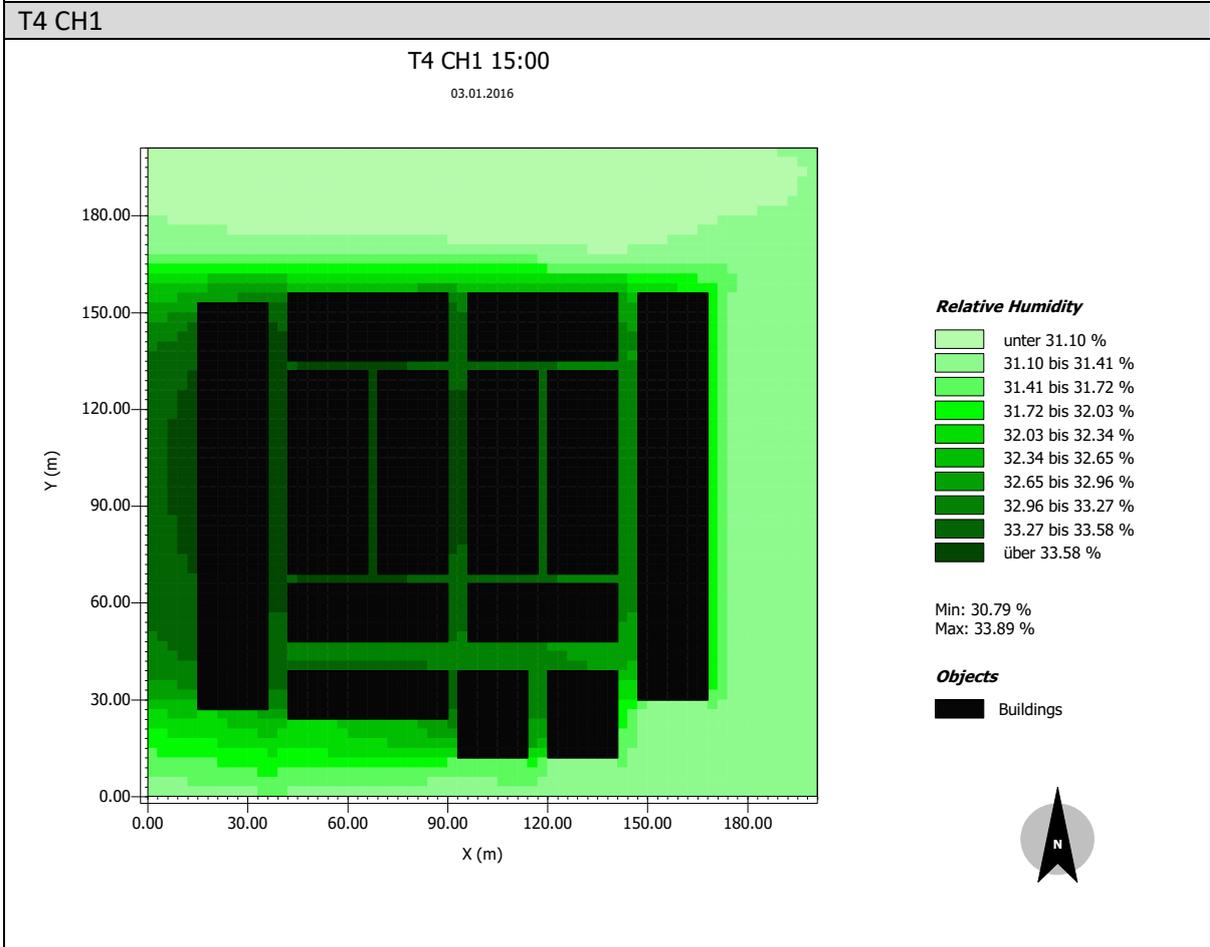
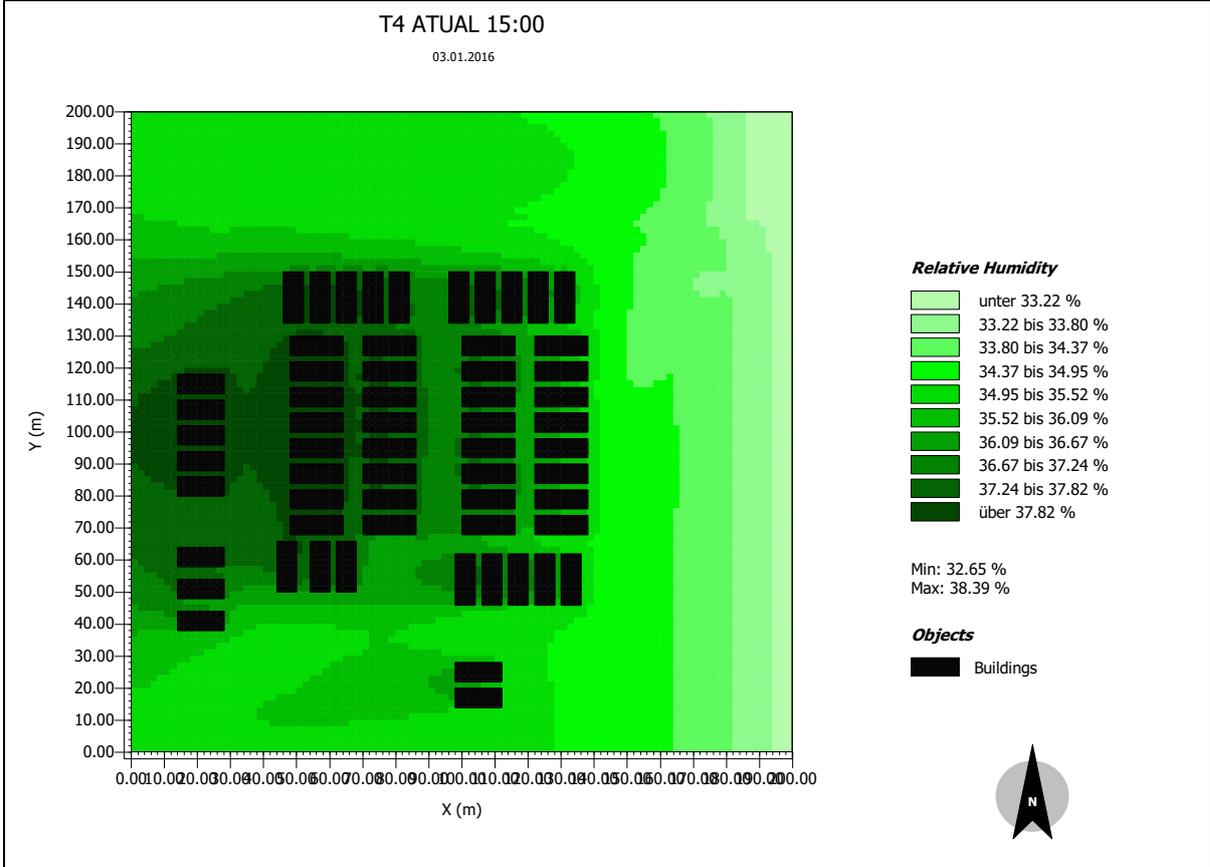
Min: 64.04 %
Max: 73.78 %

Objects

- Buildings

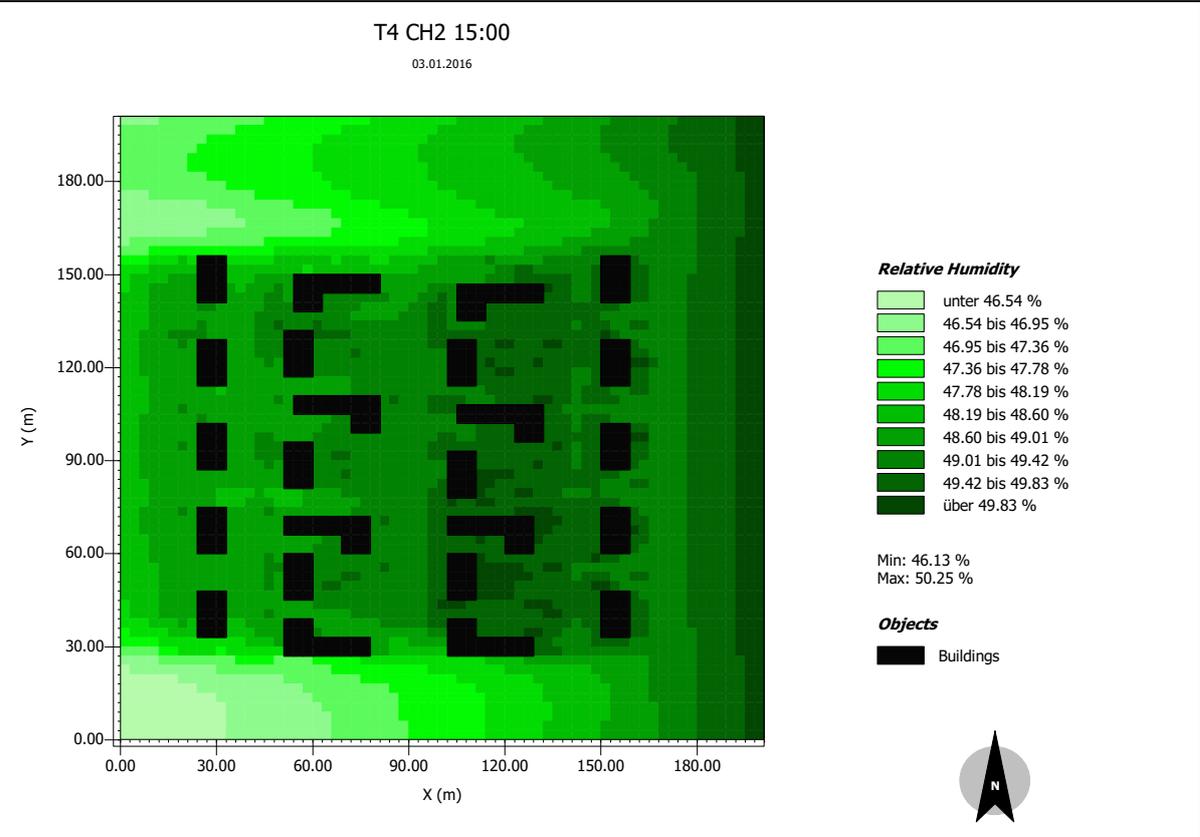


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

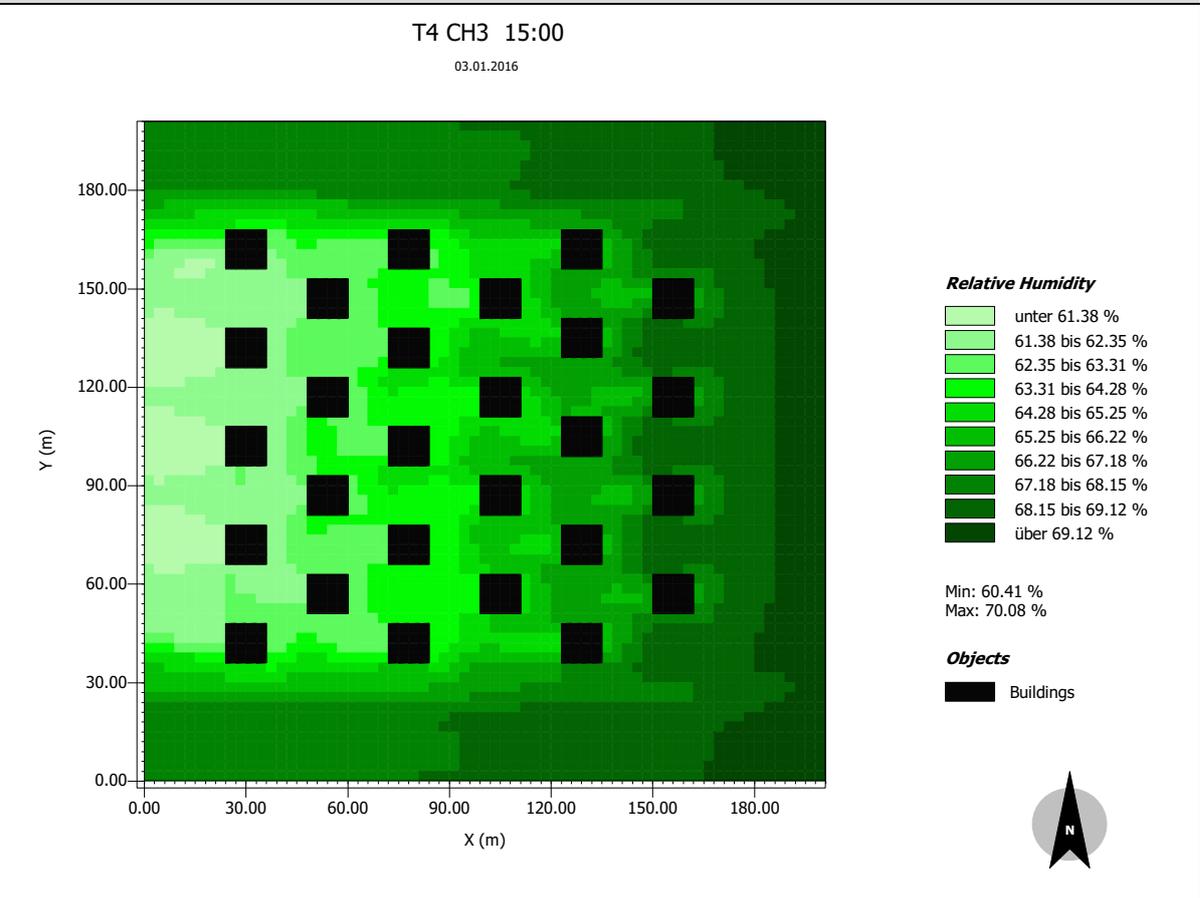


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 15:00

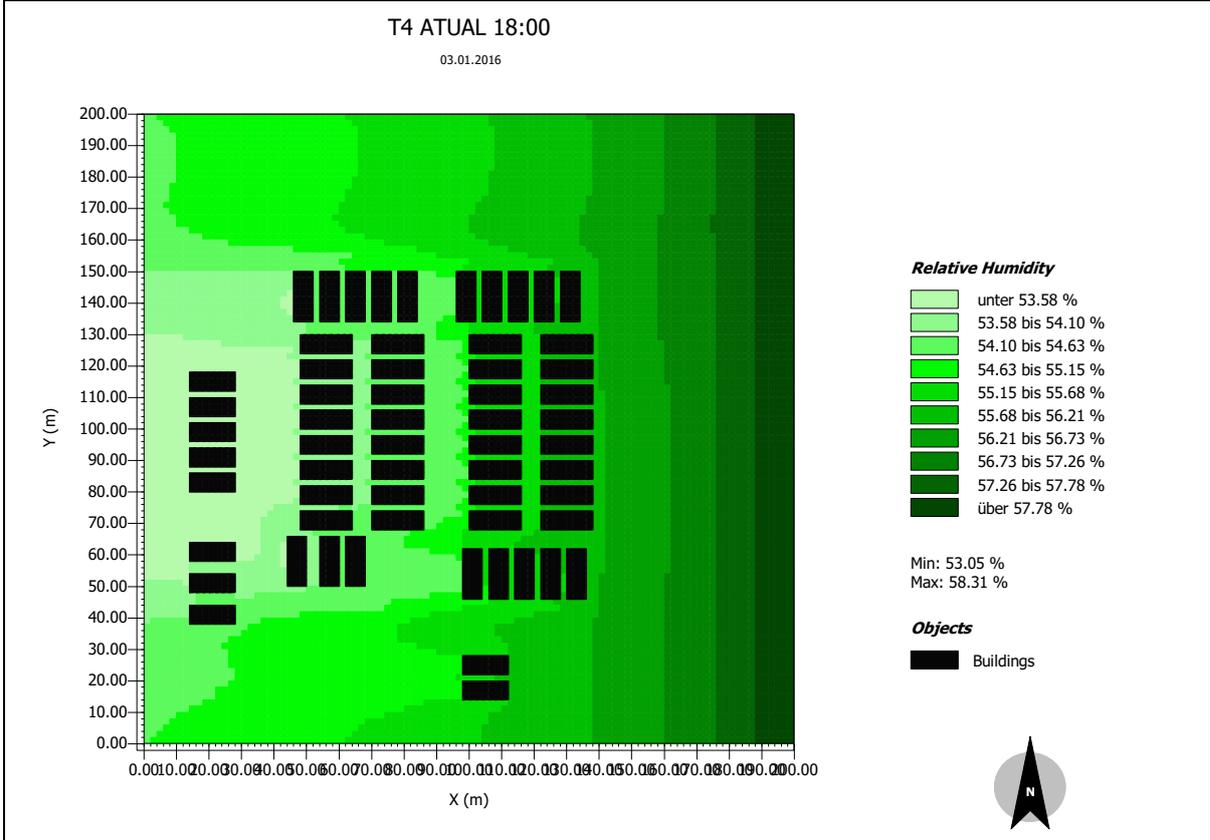
T4 CH2



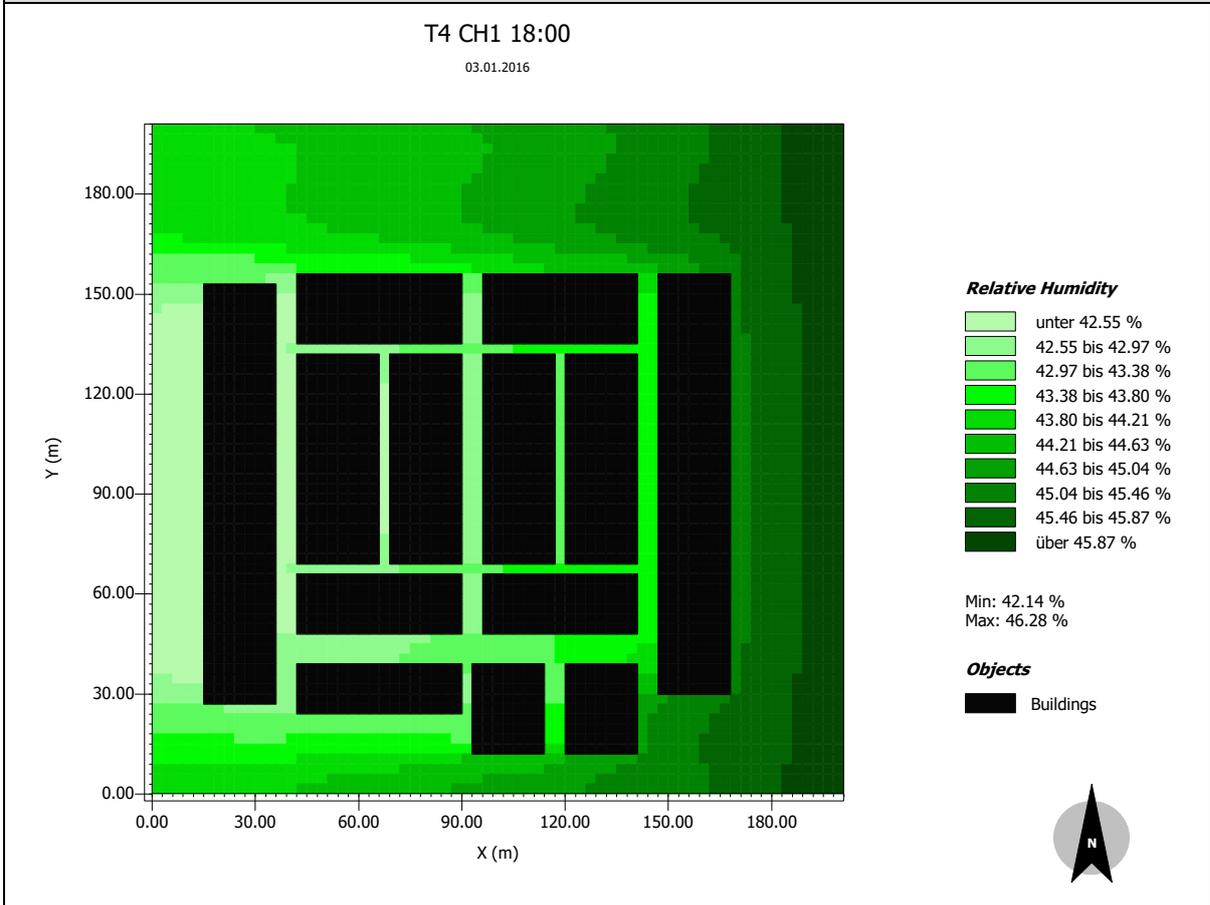
T4 CH3



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 18:00



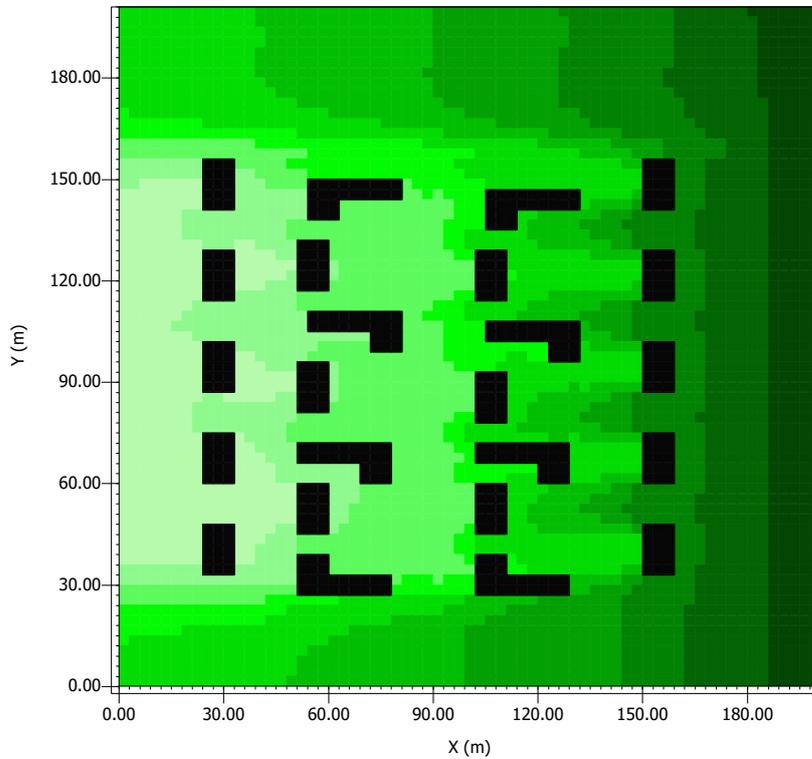
T4 CH1



T4CH2

T4 CH2 18:00

03.01.2016



Relative Humidity

- unter 54.26 %
- 54.26 bis 55.11 %
- 55.11 bis 55.96 %
- 55.96 bis 56.81 %
- 56.81 bis 57.66 %
- 57.66 bis 58.51 %
- 58.51 bis 59.36 %
- 59.36 bis 60.21 %
- 60.21 bis 61.06 %
- über 61.06 %

Min: 53.41 %
Max: 61.91 %

Objects

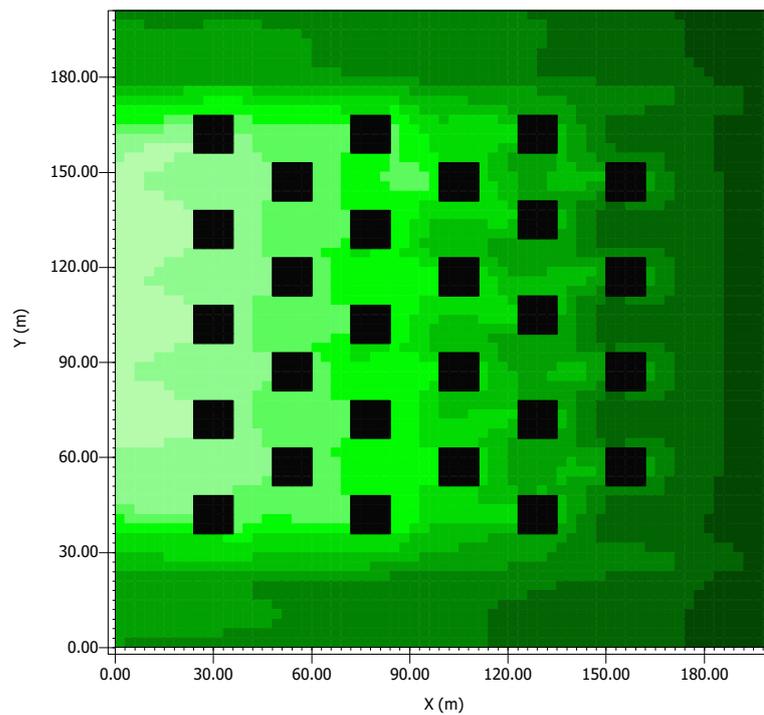
- Buildings



T4 CH3

T4 CH3 18:00

03.01.2016



Relative Humidity

- unter 64.78 %
- 64.78 bis 65.89 %
- 65.89 bis 67.00 %
- 67.00 bis 68.10 %
- 68.10 bis 69.21 %
- 69.21 bis 70.32 %
- 70.32 bis 71.43 %
- 71.43 bis 72.53 %
- 72.53 bis 73.64 %
- über 73.64 %

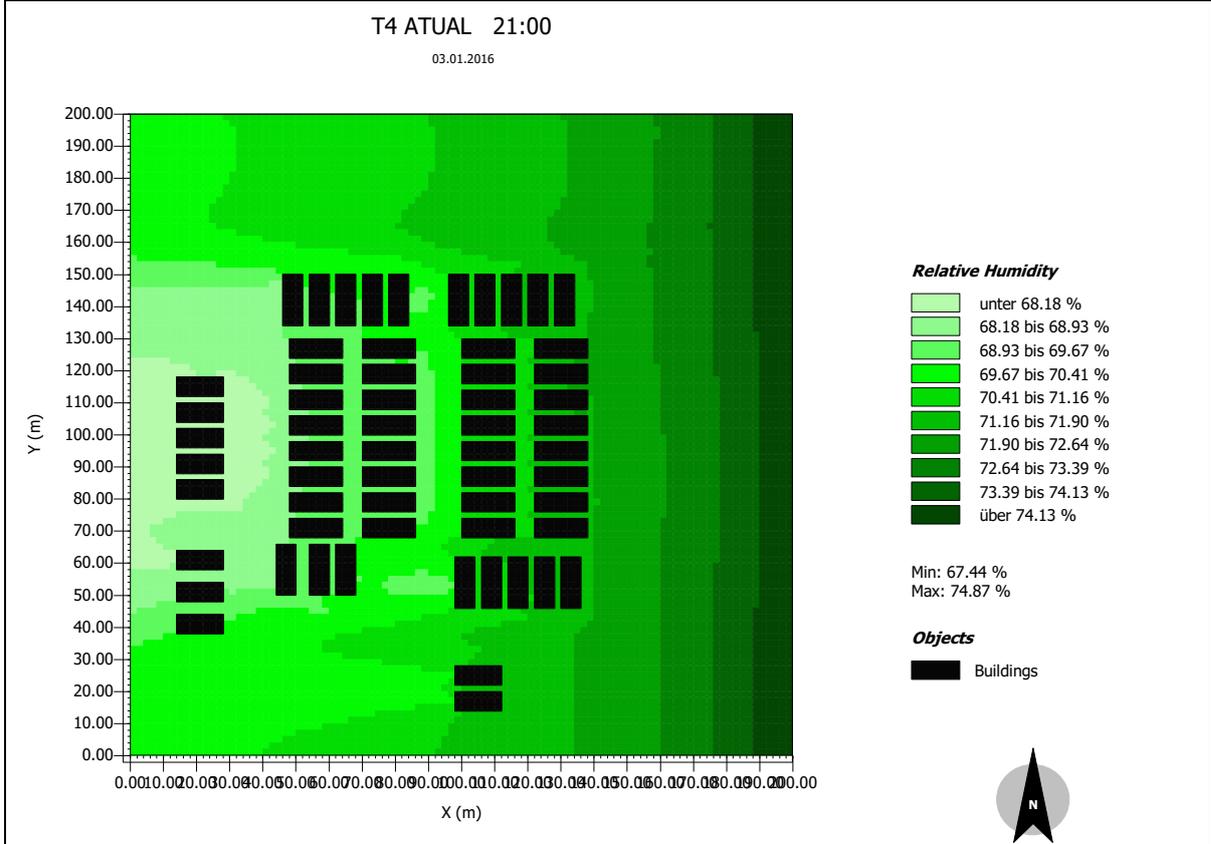
Min: 63.68 %
Max: 74.75 %

Objects

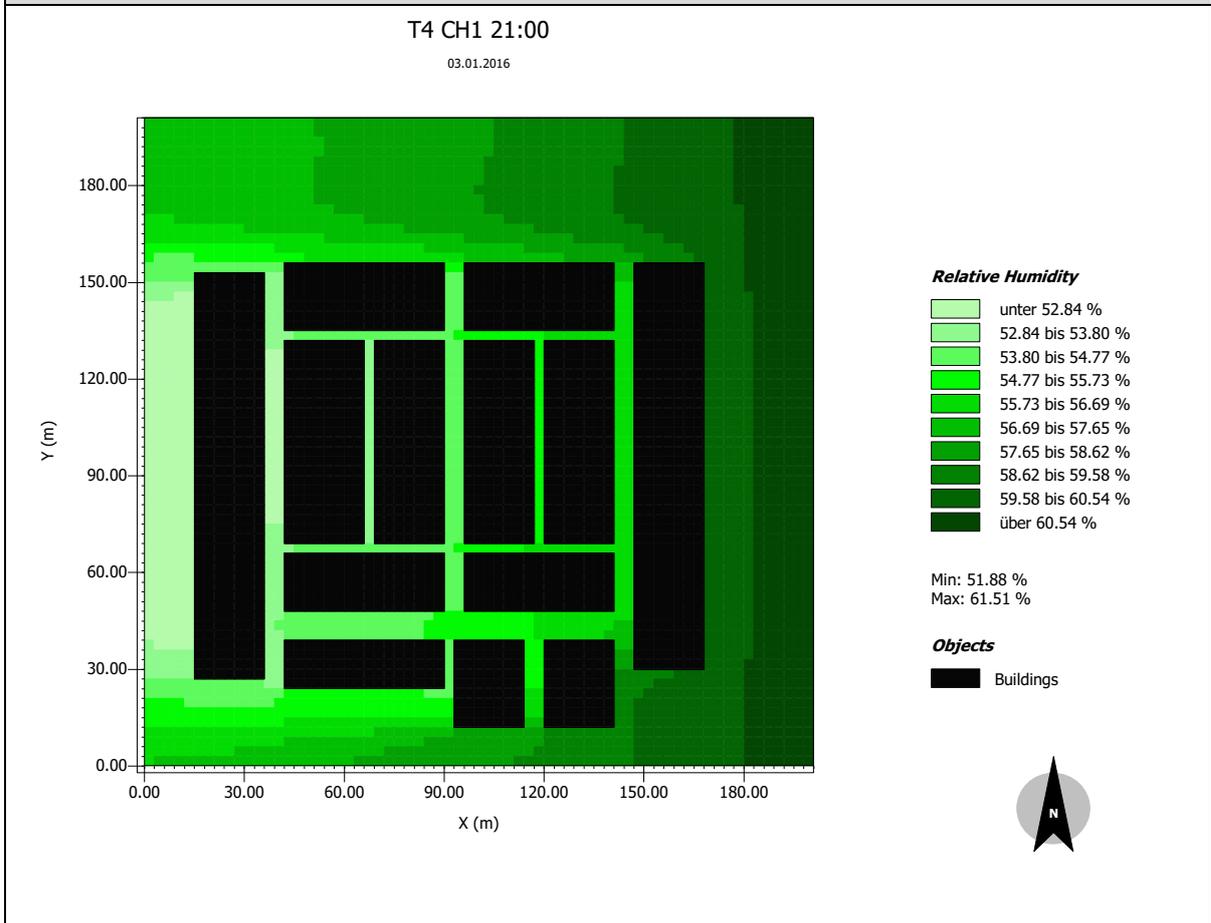
- Buildings



Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00



T4 CH1

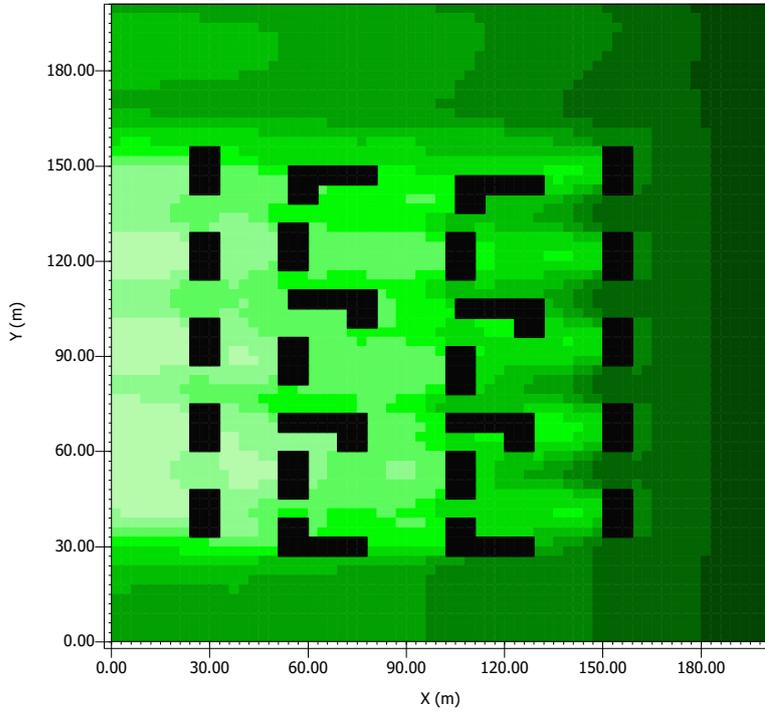


Tecido Urbano Tipo 4 e seus Cenários Hipotéticos : Umidade Relativa do ar – 21:00

T4 CH2

T4 CH2 21:00

03.01.2016



Relative Humidity

- unter 66.97 %
- 66.97 bis 67.96 %
- 67.96 bis 68.94 %
- 68.94 bis 69.93 %
- 69.93 bis 70.91 %
- 70.91 bis 71.90 %
- 71.90 bis 72.88 %
- 72.88 bis 73.87 %
- 73.87 bis 74.85 %
- über 74.85 %

Min: 65.99 %
Max: 75.83 %

Objects

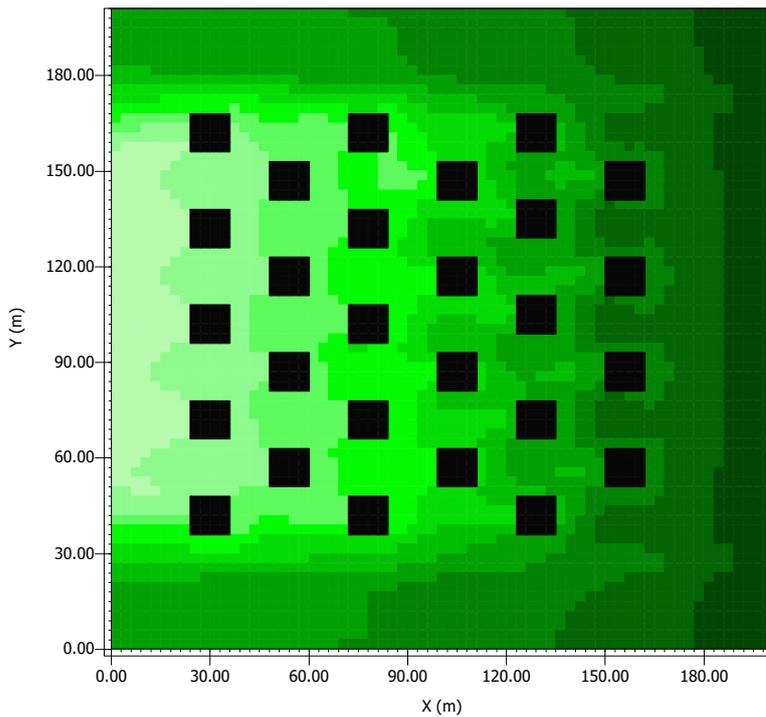
Buildings



T4 CH3

T4 CH3 21:00

03.01.2016



Relative Humidity

- unter 68.17 %
- 68.17 bis 69.37 %
- 69.37 bis 70.58 %
- 70.58 bis 71.78 %
- 71.78 bis 72.98 %
- 72.98 bis 74.18 %
- 74.18 bis 75.38 %
- 75.38 bis 76.58 %
- 76.58 bis 77.79 %
- über 77.79 %

Min: 66.97 %
Max: 78.99 %

Objects

Buildings

