



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

DANYEVERSON PHELPE RODRIGUES DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO REGULAMENTO BRASILEIRO DE
ETIQUETAGEM: ESTUDO EM EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

**Recife
2021**

DANYEVERSON PHELIPE RODRIGUES DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO REGULAMENTO BRASILEIRO DE
ETIQUETAGEM: ESTUDO EM EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento Urbano. Área de concentração: Desenvolvimento Urbano.

Orientador: Prof. Dr. Ruskin Fernandes Marinho de Freitas

Recife
2021

Catálogo na fonte
Bibliotecária Lílian Lima de Siqueira Melo – CRB-4/1425

O48e Oliveira, Danyeverson Phelipe Rodrigues de
Eficiência energética segundo regulamento brasileiro de etiquetagem:
estudo em edificação do exército brasileiro / Danyeverson Phelipe Rodrigues
de Oliveira. – Recife, 2021.
144p.: il.

Orientador: Ruskin Fernandes Marinho de Freitas.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. Centro
de Artes e Comunicação. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento
Urbano, 2021.

Inclui referências.

1. Desenvolvimento Urbano. 2. Conforto ambiental. 3. Eficiência
energética. I. Freitas, Fernandes Marinho de (Orientador). II. Título.

711.4 CDD (22. ed.) UFPE (CAC 2021-136)

DANYEVERSON PHELIPE RODRIGUES DE OLIVEIRA

**EFICIÊNCIA ENERGÉTICA SEGUNDO REGULAMENTO BRASILEIRO DE
ETIQUETAGEM: ESTUDO EM EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO**

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

Aprovada em: 24/02/2021

BANCA EXAMINADORA

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

Prof. Dr. Fernando Diniz Moreira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^a. Dr^a. Livia Melo de Lima (Examinadora Externa)
Instituto Federal de Pernambuco

Recife
2021

Dedico este trabalho a meus pais.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus pais, pela educação e dedicação de uma vida.

Aos familiares e amigos que apoiam minha trajetória acadêmica.

Aos meus chefes no Exército Brasileiro, Uninassau e UniFG pelo apoio durante todo o curso.

Ao meu orientador pelo aprendizado nas aulas da graduação e do mestrado e pela dedicação e presteza nas orientações.

Aos meus alunos pela troca de conhecimento na vivência como docente.

“Um edifício é mais eficiente energeticamente que outro quando proporciona as mesmas condições ambientais com menor consumo de energia” (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.5).

RESUMO

O crescimento no consumo energético das edificações acelerou a necessidade de criação de estratégias para melhoria da eficiência energética, influenciando na concepção de projetos arquitetônicos que apresentem soluções com baixo consumo energético e na diminuição da emissão de gases de efeito estufa, que aumentam com o desenvolvimento urbano acelerado. O Procel, junto ao Inmetro, implementou em 2009 a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edifícios comerciais, de serviços e públicos, classificando a eficiência energética da edificação de A (mais eficiente) até E (menos eficiente). O objetivo deste trabalho é aplicar o Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C), na avaliação da eficiência energética de uma envoltória e comparar com os resultados da Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C), que visa substituí-lo. Para aplicar tais técnicas, utilizou-se o método hipotético-dedutivo, tomando-se uma edificação do Exército Brasileiro, como objeto empírico de estudo. Pelo RTQ-C, a envoltória da edificação apresentou etiqueta C e pela INI-C, obteve etiqueta A, com 17,11% de economia de consumo de energia. Pela INI-C, a avaliação da eficiência energética é feita pelo percentual de economia gerado, o que não é possível pelo RTQ-C. Esta informação tem maior relevância para os projetistas e consumidores finais.

Palavras-chave: conforto ambiental; eficiência energética; retrofit; etiquetagem.

ABSTRACT

The growth in energy consumption of buildings accelerated the need to create strategies to improve energy efficiency, influencing the design of architectural projects that present solutions with low energy consumption and the reduction of greenhouse gas emissions, which increase with urban development accelerated. In 2009, Procel, together with Inmetro, implemented the National Energy Conservation Label (ENCE) for commercial, service and public buildings, classifying the building's energy efficiency from A (most efficient) to E (less efficient). The objective of this work is to apply the Technical Regulation on the Quality Level of Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (RTQ-C), in the evaluation of the energy efficiency of a envelope and compare it with the results of the Inmetro Normative Instruction for the Level Energy Efficiency of Commercial, Service and Public Buildings (INI-C), which aims to replace it. To apply such techniques, the hypothetical-deductive method was used, taking the building of the Brazilian Army as an empirical object of study. By RTQ-C, the building envelope was labeled C and by INI-C, it obtained label A, with 17.11% of energy consumption savings. According to INI-C, the energy efficiency assessment is made by the percentage of savings generated, which is not possible by the RTQ-C. This information has greater relevance for designers and final consumers.

Keywords: environmental comfort; energy efficiency; retrofit; labeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Emissão total de CO2 no Brasil, entre 1990 e 2018.	18
Figura 2 -	Intensidade de energia primária.	19
Figura 3 -	Participação setorial no consumo de eletricidade.	20
Figura 4 -	Desenho do problema de pesquisa.	24
Figura 5 -	Parte do aquartelamento do 4º Batalhão de Polícia do Exército-4ºBPE, em Recife-PE.	26
Figura 6 -	Pavilhão de comando do 4º Batalhão de Polícia do Exército, em Recife-PE.	27
Figura 7 -	Consumo de energia em edifícios públicos brasileiros.	33
Figura 8 -	Parâmetros que afetam o conforto das pessoas.	34
Figura 9 -	Luz natural no exterior em dias encobertos.	36
Figura 10 -	Mapa do clima do Brasil.	38
Figura 11 -	Zoneamento Bioclimático Brasileiro.	39
Figura 12 -	Tempo de desconforto por calor nas estações do ano, em Recife-PE.	39
Figura 13 -	Carta Bioclimática de Olgyay, adaptada por Lamberts, Dutra e Pereira.	41
Figura 14 -	Matriz de relação entre as variáveis relacionadas com o meio ambiente e as variáveis relacionadas com o meio urbano.	42
Figura 15 -	A eficácia da forma na praça dos três poderes, em Brasília.	43
Figura 16 -	Percentual de necessidade de sombreamento.	44
Figura 17 -	Carta solar para a cidade de Recife-PE.	45
Figura 18 -	Circulação urbana adaptada ao clima local.	46
Figura 19 -	Máscara de sombra produzida por dispositivo de proteção solar.	47
Figura 20 -	Tipos de ventilação.	48
Figura 21 -	Rosa dos ventos para a cidade de Recife-PE.	49
Figura 22 -	Percentual da necessidade de ventilação natural.	49
Figura 23 -	Variáveis da abertura.	51
Figura 24 -	Vidros e parcelas, absorvida, refletida e transmitida.	52

Figura 25 -	Telhado inclinado com forro ou laje, formando ático ventilado.	53
Figura 26 -	RTQ-C e manual do RTQ-C.	56
Figura 27 -	Sistemas para etiquetagem do RTQ-C.	56
Figura 28 -	Etiqueta da envoltória para um restaurante universitário.	57
Figura 29 -	Partes da edificação que compõem a envoltória.	58
Figura 30 -	Modelo da Etiqueta PBE Edifica, do RTQ-C.	59
Figura 31 -	Escala para a determinação da classe de eficiência da edificação avaliada.	64
Figura 32 -	Proposta de novo modelo de etiqueta, pelo INI-C.	65
Figura 33 -	Transmitância térmica para alguns fechamentos.	68
Figura 34 -	Cálculo da resistência térmica de uma parede de tijolo maciço rebocada.	69
Figura 35 -	Capacidade térmica da parede de tijolo maciço com reboco.	71
Figura 36 -	Valores de fator solar (FS) para diferentes tipos de vidros.	72
Figura 37 -	Pré-requisito para transmitância térmica da cobertura, segundo o RTQ-C.	72
Figura 38 -	Pré-requisito para transmitância térmica das paredes, segundo o RTQ-C.	72
Figura 39 -	Ferramenta webprescritivo, utilizada no RTQ-C.	73
Figura 40 -	Grupos climáticos de 1 a 24 pela classificação proposta por Roriz em 2014.	75
Figura 41 -	Processo de divisão das zonas térmicas pela INI-C.	76
Figura 42 -	Coeficiente de redução da carga térmica anual da classe D para a classe A (CRCgTD-A) com base no fator de forma (FF) e grupo climático correspondente.	78
Figura 43 -	Fachada do edifício da Eletrosul em Florianópolis-SC.	81
Figura 44 -	Fachada do edifício da Superintendência da Caixa Econômica Federal em Londrina-PR.	82
Figura 45 -	Fachada do edifício anexo da FAUrb UFPel em Pelotas-RS.	83
Figura 46 -	Edificação do Ministério do Meio Ambiente e Cultura em 2015.	84
Figura 47 -	Fachada leste do Ministério do Meio Ambiente e Cultura em	85

2015.

Figura 48 -	Análise de custos e benefícios com o retrofit do Ministério do Meio Ambiente e Cultura.	86
Figura 49-	Localização do bairro do Curado.	88
Figura 50 -	Perímetro do bairro do Curado.	88
Figura 51 -	Quartel onde se localiza a edificação que será objeto de estudo.	89
Figura 52 -	Edificação que será objeto de estudo empírico.	90
Figura 53 -	Pavilhão de comando do 4º BPE.	91
Figura 54 -	Fachada leste do pavilhão de comando.	92
Figura 55 -	Planta baixa pavimento térreo.	93
Figura 56 -	Planta baixa segundo pavimento.	93
Figura 57 -	Corte transversal.	93
Figura 58 -	Revestimento em litocerâmica na fachada leste.	94
Figura 59 -	Fachada Leste.	95
Figura 60 -	Máscaras de sombra dos dispositivos de proteção solar existentes.	96
Figura 61 -	Fachada Oeste.	97
Figura 62 -	Salão de honra.	98
Figura 63 -	Configuração da parede da envoltória da edificação em estudo.	99
Figura 64 -	Vista superior da edificação.	99
Figura 65 -	Configuração da cobertura da edificação.	100
Figura 66 -	Localização dos aparelhos de condicionamento artificial nos ambientes.	101
Figura 67 -	Aparelho de ar-condicionado com baixa eficiência.	102
Figura 68 -	Fachada Norte.	102
Figura 69 -	Fachada Sul.	103
Figura 70 -	Planta com a distribuição da iluminação artificial.	104
Figura 71 -	Sala administrativa.	104
Figura 72 -	Sala administrativa.	105
Figura 73 -	Quadro geral de energia da edificação.	105
Figura 74 -	Resistência térmica superficial interna e externa.	106

Figura 75 -	Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais.	106
Figura 76 -	Cálculo do nível de eficiência da envoltória no webprescritivo, pelo RTQ-C.	111
Figura 77 -	Ambientes condicionados e não condicionados artificialmente.	113
Figura 78 -	Divisão das zonas térmicas, segundo a INI-C.	114
Figura 79 -	Parâmetros fixos para escritórios, na condição de referência.	116
Figura 80 -	Inserção dos parâmetros de entrada e cálculo da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT (kWh/m ² . ano) e carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, na interface web, para a edificação real.	118
Figura 81 -	Inserção dos parâmetros de entrada e cálculo da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT (kWh/m ² . ano) e carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, na interface web, para a edificação de referência.	119
Figura 82 -	Classificação da envoltória segundo o RTQ-C.	123
Figura 83 -	Modelagem da edificação na condição real.	124
Figura 84 -	Modelagem da edificação após o retrofit.	125
Figura 85 -	Classificação após o retrofit 1, pelo RTQ-C.	126
Figura 86 -	Modelagem da edificação após o retrofit 2.	127
Figura 87 -	Classificação após o retrofit 2, pelo RTQ-C.	128
Figura 88 -	Coberta proposta com telha cerâmica.	129
Figura 89 -	Modelagem da edificação após retrofit 3.	129
Figura 90 -	Classificação após o retrofit 3, pelo RTQ-C.	130
Figura 91 -	Coberta proposta com telha de poliestireno.	131
Figura 92 -	Modelagem da edificação após retrofit 4.	132
Figura 93 -	Classificação após o retrofit 4, pelo RTQ-C.	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 -	Síntese metodológica da pesquisa.	30
Quadro 2 -	Métodos de avaliação para a envoltória.	62
Quadro 3-	Limites dos parâmetros de materiais e vedações da edificação atendidos pelo método simplificado.	63
Quadro 4 -	Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária.	64
Quadro 5 -	Parâmetros para o cálculo de carga térmica interna de refrigeração.	77
Quadro 6 -	Intervalos de cada uma das classes de eficiência energética.	79
Quadro 7 -	Características dimensionais da edificação.	91
Quadro 8 -	Espessura dos componentes construtivos das paredes.	98
Quadro 9 -	Espessura dos componentes construtivos da cobertura.	100
Quadro 10 -	Capacidade e quantidade de aparelhos de condicionamento artificial existentes na edificação.	101
Quadro 11 -	Valores recomendados e encontrados para os níveis de transmitância térmica na ZB 8.	108
Quadro 12 -	Recomendações para os níveis de absorvância na ZB 8.	108
Quadro 13 -	Recomendações para tamanho de aberturas na ZB 8.	110
Quadro 14 -	Parâmetros da edificação real.	112
Quadro 15 -	Dados das zonas térmicas da edificação.	115
Quadro 16 -	Limites dos parâmetros da edificação pelo método simplificado.	117
Quadro 17 -	Valores DCgT (kWh/m ² . ano) para a condição real e de referência para os pavimentos térreo e cobertura.	119
Quadro 18 -	Valores de carga térmica de resfriamento por zona na condição real e de referência.	120
Quadro 19 -	Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação.	122
Quadro 20 -	Resultado do retrofit 1 pela INI-C.	126
Quadro 21 -	Resultado do retrofit 2 pela INI-C.	128
Quadro 22 -	Resultado do retrofit 3 pela INI-C.	131
Quadro 23 -	Resultado do retrofit 4 pela INI-C.	133

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIE	International Energy Agency
ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BPE	Batalhão de Polícia do Exército
CB3E	Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações
EB	Exército Brasileiro
ENCE	Etiqueta Nacional de Conservação de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ESIG	Informações Geográficas do Recife
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INI-C	Instrução Normativa Inmetro - Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
IFPE	Instituto Federal de Pernambuco
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PBE	Programa Brasileiro de Etiquetagem
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
RAC	Requisitos de Avaliação da Conformidade
RVS	Refúgio da Vida Silvestre
RTQ-C	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos
RTQ-R	Regulamento Técnico da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais
SEEG	Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa
SEUC	Sistema Estadual de Unidades de Conservação
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
WWF	World Wide Fund for Nature

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	CONFORTO, BIOCLIMATISMO E CONSUMO ENERGÉTICO	31
2.1.	CLIMA E ZONEAMENTO	36
2.2.	DIRETRIZES BIOCLIMÁTICAS	41
3	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES	54
3.1.	ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA COM BASE NA TÉCNICA “MÉTODO PRESCRITIVO” DO RTQ-C	68
3.2.	ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA COM BASE NA TÉCNICA “MÉTODO SIMPLIFICADO” DA INI-C	74
3.3.	INTERVENÇÕES EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS PARA ETIQUETAGEM DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	79
4	DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO	88
4.1.	CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO EMPÍRICO DE ESTUDO	88
4.2.	AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO O RTQ-C	105
4.3.	AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO A INI-C	111
4.4.	RETROFITS, DISCUSSÕES E RESULTADOS	122
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	134
	REFERÊNCIAS	137

1 INTRODUÇÃO

O conforto, o Bioclimatismo e a eficiência energética constituem temas interrelacionados e ainda em emergência, apesar de já terem sido objetos de estudos. O aprofundamento das relações recíprocas entre esses campos pode representar um aporte para a melhoria da qualidade de vida e para o desenvolvimento urbano.

As relações entre esses temas serão discutidas ao longo deste trabalho e permitem refletir sobre as soluções adotadas no planejamento urbano e nos projetos de arquitetura, visando diminuir o consumo de energia e contribuir com a conscientização para utilização de menos recursos naturais e redução de gases de efeito estufa, com foco na sustentabilidade. Os recursos naturais são elementos disponíveis na natureza e que são utilizados pelo homem, suprindo suas necessidades básicas e de produção. A má gestão dos recursos naturais pode comprometer as gerações futuras, pois boa parte desses recursos não se renovam.

A busca pela sustentabilidade tem produzido políticas direcionadas para a eficiência energética das cidades e mudanças na relação da arquitetura com o meio ambiente. Do latim *sustentare*, em sua etimologia sustentável carrega o conceito de conservação, cuidado, manutenção e, mesmo, resistência. Conservar e cuidar da arquitetura., tornando-a sustentável. O conceito de sustentabilidade é amparado por três pilares: econômico, social e ambiental. Será abordada neste trabalho a arquitetura sustentável pelo viés ambiental. Estamos falando de uma arquitetura que tem relação direta com o ambiente natural e seus recursos. A ventilação natural, a insolação e a iluminação natural são recursos que podem ser explorados para adequar a arquitetura ao meio ambiente. Tornar a arquitetura sustentável significa também consumir menos energia e torná-la eficiente.

A arquitetura sustentável é a continuidade mais natural da bioclimática, considerando também a integração do edifício à totalidade do meio ambiente, de forma a torná-lo parte de um conjunto maior. É a arquitetura que quer criar prédios objetivando aumento da qualidade de vida do ser humano no ambiente construído e no seu entorno, integrando com as características da vida e do clima locais, consumindo a menor quantidade de energia compatível com o conforto ambiental, para legar um mundo menos poluído para as futuras gerações. (CORBELLA e YANNAS, 2009, p. 19).

Arquitetura sustentável é moldada pela discussão de sustentabilidade e pela pressão de questões econômicas e políticas despertando uma falsa consciência, abrindo caminho para um lucrativo mercado “verde”. As empresas passaram a investir em uma sustentabilidade ambígua que promete a salvação do planeta, mas que na prática pode significar algo que pareça sustentável, sem que seja necessário ser. As respostas para a sustentabilidade das edificações estão relacionadas com as decisões projetuais utilizando os sistemas passivos e ferramental tecnológicos integrados aos condicionantes locais, aspectos climáticos e físicos.

A Organização das Nações Unidas (ONU) instituiu os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), criados no Brasil, durante a Conferência das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Sustentável no Rio de Janeiro, em 2012. Entre os 17 objetivos existentes, estão: cidades e comunidades sustentáveis, ação contra a mudança global do clima e energia limpa e acessível.

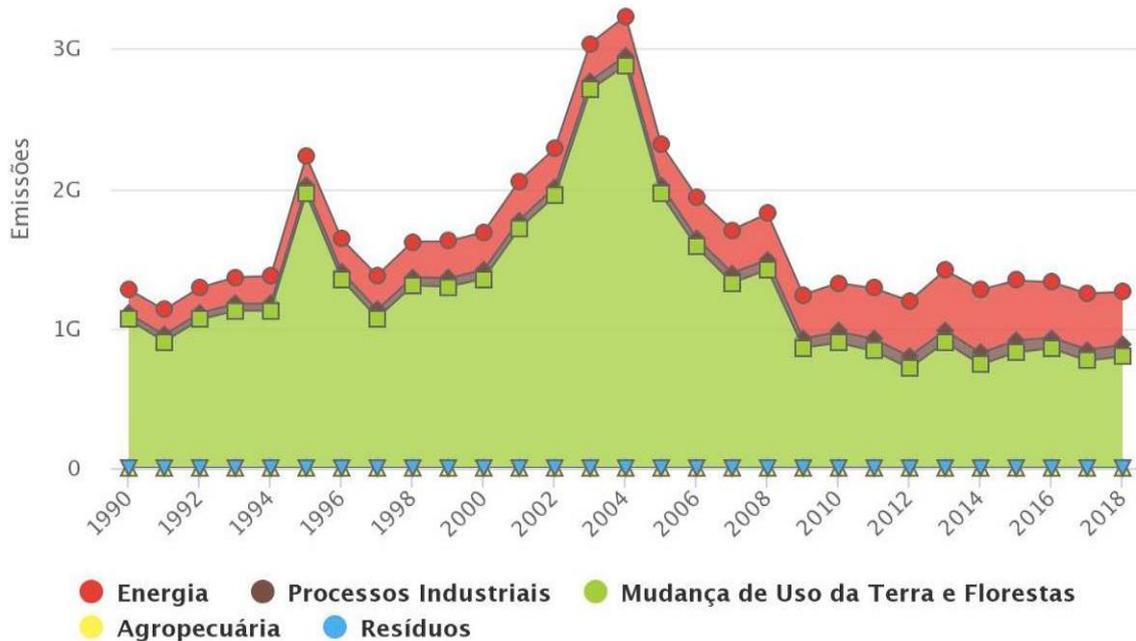
Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento capaz de suprir as necessidades da geração atual, sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (WWF, 2020).

O período de 2014 a 2024 foi declarado pela ONU como “Década da Energia Sustentável para Todos”, com a adoção de ações globais. A Agência Internacional de Energia (IEA - em inglês: International Energy Agency) estima que quase metade das ações necessárias para conter as mudanças do clima terão de vir da melhoria da eficiência energética (Ministério do Meio Ambiente, 2015a).

As crescentes emissões de gases de efeito estufa na atmosfera destacam-se dentre os diversos fatores que contribuem com as mudanças climáticas no planeta. Segundo Romero et al. (2012, p.07), os problemas relacionados ao efeito estufa, cerne do aquecimento global, devem-se à modificação na intensidade da radiação térmica emitida pela superfície da terra em razão do aumento da concentração dos gases-estufa na atmosfera. Acredita-se que esse aumento de concentração tenha origem principalmente nas ações antropogênicas relacionadas com atividades industriais e produção de energia.

O gráfico da figura 1, mostra a evolução das emissões de gases de efeito estufa dos últimos 28 anos, com destaque para as emissões geradas pela mudança do uso da terra e florestas e pela energia. Os impactos gerados por estas mudanças podem causar danos irreversíveis aos ecossistemas.

Figura 1 - Emissão total de CO2 no Brasil, entre 1990 e 2018.



Fonte: OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020.

De acordo com o Sistema de Estimativas de Emissão de Gases de Efeito Estufa-SEEG (OBSERVATÓRIO DO CLIMA, 2020), no Brasil a alta pode ser entre 10% e 20% no ano de 2020, em relação aos dados de 2018, devido ao desmatamento.

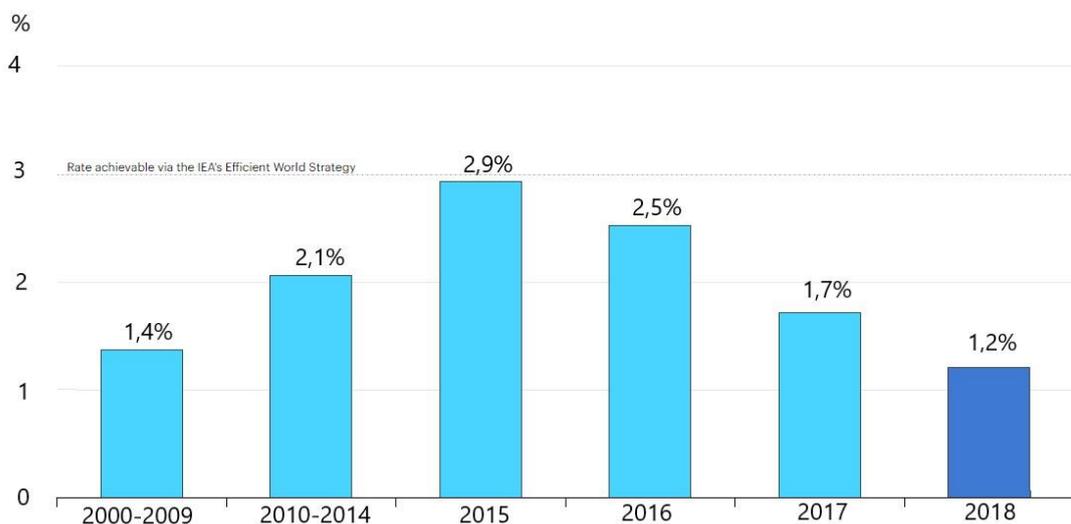
Dentre os fatores relacionados ao desenvolvimento urbano, o aumento populacional contribui por interferir no crescimento das cidades, em densidade de construção, consumo de energia, transportes e atividades antrópicas.

Conforme o censo demográfico de 2010, do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), aproximadamente 85% da população brasileira é urbana. Um aumento de 3% em relação ao último censo. Esse aumento pode afetar o meio ambiente e aumentar o consumo energético. As estimativas para 2020 apontam um crescimento de 0,77% em relação à estimativa de 2019, com população de 211,8 milhões de habitantes (IBGE,2020),

As cidades por sua vez, abrigam populações cada vez maiores, e desejosas do conforto proporcionado pelo progresso material e pelo consumo de produtos, bens e serviços modernos, mormente demandantes de energia, em síntese as populações em geral buscam conforto moderno que para ser alcançado demanda cada vez mais energia em suas mais distintas e diversas formas. (RIPPEL et al., 2009, p.167).

A eficiência energética tem um enorme potencial para impulsionar o crescimento econômico e evitar as emissões de gases de efeito estufa, porém a taxa global de progresso está diminuindo - uma tendência que tem implicações importantes para consumidores, empresas e meio ambiente. Em 2018, a intensidade de energia primária melhorou apenas 1,2%, sendo a taxa mais lenta desde 2010 (Figura 2). Isso foi significativamente mais lento do que a melhoria de 1,7% em 2017 e marcou o terceiro ano seguido em que a taxa diminuiu, segundo a International Energy Agency (IEA, em português Agência Internacional de Energia) (IEA, 2020). Energia primária é a forma de energia disponível na natureza que não foi submetida a qualquer processo de conversão ou transformação. É a energia contida nos combustíveis ainda brutos (primários) e pode ser proveniente de fontes renováveis ou não renováveis. Quando não utilizada diretamente, pode ser transformada em fontes de energia secundárias como eletricidade (CB3E, 2020). Representa o princípio da cadeia que culmina na energia final útil que chega para os consumidores, constituindo um indicador importante de quanta energia é usada pela economia global.

Figura 2 – Intensidade de energia primária.



Fonte: IEA, 2020.

Este cenário, que aponta para a necessidade de se buscar práticas sustentáveis no processo de planejamento urbano e arquitetônico sob o ponto de vista energético, tem origem principalmente na redução de investimentos em energia elétrica, na dependência do país com relação às usinas hidrelétricas, nas transformações ambientais e na falta de planejamento. As práticas relacionadas às

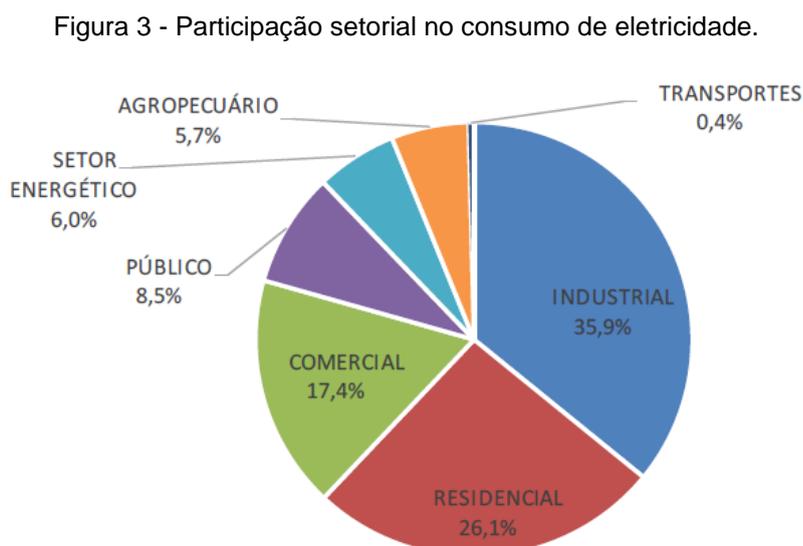
edificações estão pautadas no desenho da arquitetura, na sua relação com os aspectos bioclimáticos e com as necessidades dos indivíduos. O Bioclimatismo significa a aplicação dos efeitos do clima sobre os seres humanos.

A arquitetura bioclimática é capaz de adaptar o projeto de arquitetura ao seu contexto climático, influenciando o consumo energético. Estas adaptações podem ocorrer em edificações existentes, trazendo benefícios como o conforto ambiental para os usuários e eficiência energética à edificação.

Torna-se evidente a necessidade de planejar edificações com soluções que respondam às características do clima e que gerem menor consumo energético com conforto ambiental. Também são essenciais as ações de eficiência em edificações já existentes, para diminuir o impacto do alto consumo na matriz energética brasileira.

Os princípios da eficiência energética, quando aplicados nas edificações, são um fator determinante para a economia de energia, ao diminuir a necessidade de aquecimento / resfriamento do ambiente e ao diminuir a necessidade de uso de iluminação artificial durante o dia.

No Brasil, o consumo de energia elétrica na rede se distribuiu, em 2019, por classe: as residenciais consumindo 26,1%, as comerciais chegando a 17,4%, as industriais 35,9% e as públicas com 8,5%, conforme dados da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), que podem ser vistos na figura 3.



Fonte: EPE, 2020.

Planejar ações de eficiência energética são essenciais para combater os efeitos negativos do aumento do consumo de energia e o setor de edificações tem um papel crucial nesse planejamento.

No setor de edificações, a promoção da eficiência energética é uma estratégia de relevância cada vez maior considerando o crescimento do setor energético inerente ao processo de desenvolvimento nacional e o fato de que o setor responde atualmente por aproximadamente 51% do total da eletricidade consumida no Brasil. (BRASIL, 2020, p. 48).

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 260), nos setores comercial e público, o consumo de energia é fortemente influenciado pela grande quantidade de calor gerado no interior do edifício. Diferente da arquitetura residencial, edifícios comerciais e públicos contam com maior densidade de usuários, de equipamentos e de lâmpadas que levam à tendência ao sobreaquecimento dos ambientes, mesmo em situações em que o clima exterior indica conforto térmico.

Tendo em vista que a construção e a utilização de edificações, em seus diversos segmentos - residenciais, comerciais e públicas – contribuem com 30 a 40% das emissões globais de gases de efeito estufa por meio de intenso uso energético, surge como proposta em 2008, na III Conferência Nacional do Meio Ambiente com o tema mudanças climáticas, o incentivo à disseminação de selagem de eficiência de edifícios (BRASIL, 2008, p.62).

No Brasil, a etiquetagem de edificações faz parte do Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE), desenvolvido pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica-PROCEL e o Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia (INMETRO). Essas etiquetas são chamadas de Etiqueta Nacional de Eficiência Energética (ENCE) e têm o propósito de incentivar o planejamento de projetos de edificações que aproveitem a capacidade de iluminação e ventilação natural, com um menor consumo de energia elétrica, proporcionando conforto ambiental. O processo de etiquetagem de edificações se configura como um processo de avaliação do desempenho energético da edificação.

O governo, atento a essas questões, criou em 2009, o Programa Brasileiro de Etiquetagem de Edificações, parceria entre o INMETRO e a Eletrobras/PROCEL Edifica, elaborando a ENCE específica para edificações chamada PBE Edifica, classificando a edificação de A (mais eficiente) até E (menos eficiente).

Foram desenvolvidos os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos (RTQ-C) que especificam requisitos para avaliação e classificação de edifícios comerciais, de serviços e públicos quanto à eficiência energética. O RTQ-C contém um roteiro que avalia a edificação em três partes que são chamadas pelo regulamento de sistemas: envoltória, condicionamento de ar artificial e iluminação artificial, constituindo-se no regulamento brasileiro vigente para a classificação de eficiência energética dessas classes de edificações.

Um novo roteiro de avaliação, chamado de Instrução Normativa Inmetro para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas (INI-C) e que tem o objetivo de aperfeiçoar e substituir o RTQ-C, foi publicado pelo INMETRO, em 2018. Este roteiro baseia-se no consumo de energia primária. Para sua aplicação, são analisadas as características da edificação real existente, que são comparadas com as características da mesma edificação considerando-a com componentes construtivos de baixa eficiência, equivalentes à classe D de eficiência energética, chamada de edificação de referência. A classificação energética da edificação é obtida a partir do percentual de redução de consumo gerado, comparando as duas situações, na condição real e na condição de referência.

Um estudo do Centro Brasileiro de Eficiência Energética em Edificações (CB3E) afirma que uma edificação pública que tenha passado por *retrofit*, ou seja, reformas para melhoria energética, alcançando o nível A, pode ter o consumo de energia reduzido em até 30%, ao ano (CB3E, 2020). O *retrofit* de edifícios com sistemas que se adaptem melhor às condições climáticas nas regiões onde são construídos, proporcionam conforto ao usuário e redução do consumo de energia.

Retrofit é uma palavra com origem na língua inglesa utilizada para definir qualquer tipo de reforma. Na área de eficiência energética em edificações, o termo é utilizado para definir alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica, visando à sua conservação (GHISI, 1997). Este termo encontra-se no texto da Instrução Normativa (IN) nº 02, de 02 de junho de 2014, do Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, que regulamenta as regras para o uso da etiqueta em edificações públicas federais. Neste trabalho, o termo *retrofit* é usado para definir alterações nos sistemas da envoltória, ar-condicionado e iluminação artificial da edificação, por meio da remodelação ou atualização do edifício ou dos sistemas, através da incorporação de novas tecnologias. Os benefícios do *retrofit*

podem ser estudados através da relação entre o consumo energético, soluções bioclimáticas adotadas no projeto de *retrofit* e o processo de etiquetagem.

Bogo et al. (1994) descrevem o Bioclimatismo como o princípio de concepção em arquitetura que pretende utilizar, por meio da própria arquitetura, os elementos favoráveis do clima com o objetivo de satisfazer as exigências de bem-estar higrotérmico. Segundo os autores, existem três movimentos de intervenção arquitetônica:

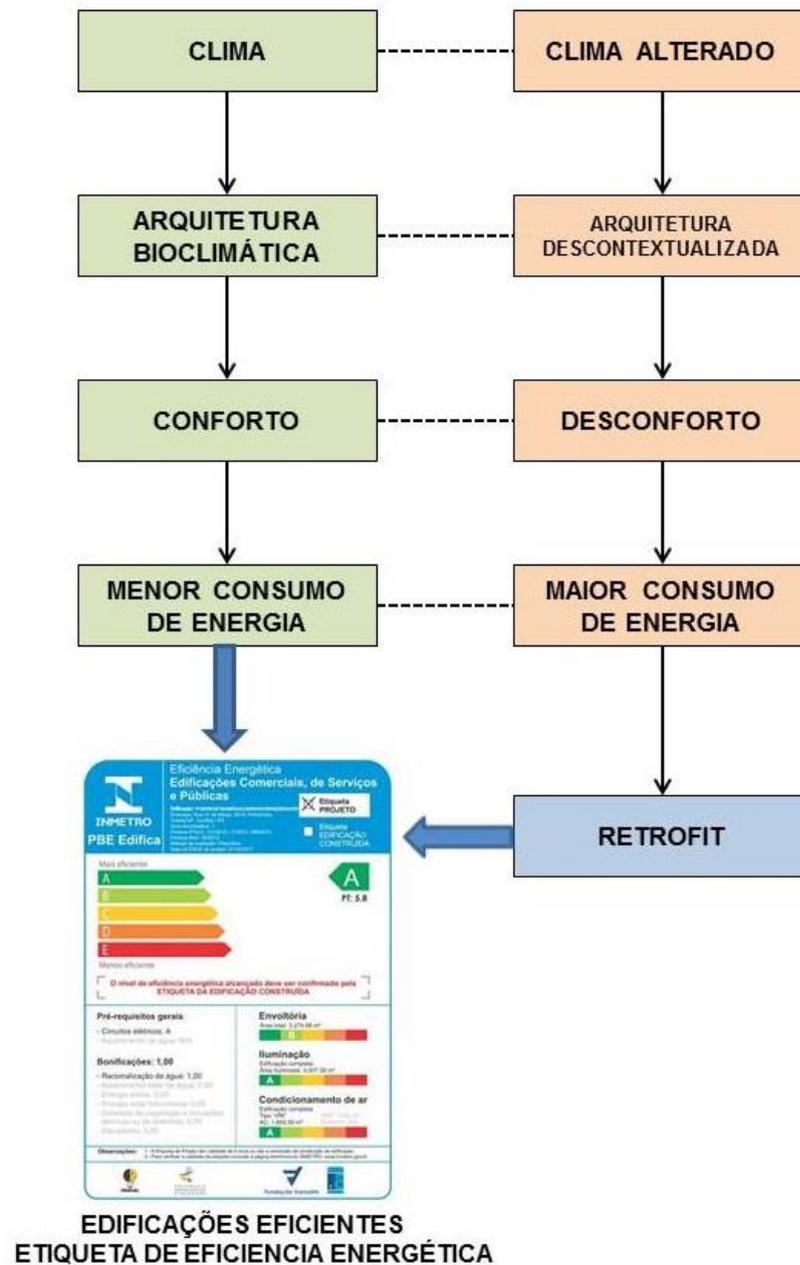
- a) Arquitetura autônoma: também chamada de Arquitetura de Energia Zero. Atua na total independência e autonomia energética das edificações.
- b) Arquitetura solarizada: Vinculada aos sistemas de captação energética, sem auxílio dos elementos da própria arquitetura.
- c) Arquitetura bioclimática: faz uso da tecnologia que se baseia na correta aplicação dos elementos arquitetônicos com o intuito de fornecer ao ambiente construído, um alto grau de conforto higrotérmico, com baixo consumo energético.

A falta da adoção de princípios bioclimáticos no projeto de edificações tem relação direta com o consumo e, conseqüentemente, com o nível de eficiência energética da edificação. As edificações planejadas com soluções e sistemas que não são adequados para o ambiente no qual se inserem, influenciam no comportamento energético. Diante dessas questões, **o problema de pesquisa** caminha para o seguinte questionamento: que influência as soluções arquitetônicas de um sistema projetado de forma inadequada, exercem no desempenho energético e na classificação de eficiência energética de uma edificação com a etiqueta PBE Edifica, segundo o regulamento brasileiro de etiquetagem vigente, o RTQ-C e o que visa substituí-lo, a INI-C?

Existem dois caminhos relacionados à eficiência energética em edificações, ao desempenho energético e ao processo de etiquetagem (Figura 4):

- a) o primeiro representa a conservação, a eficiência, o conforto ambiental atingido de maneira natural e retrata o caminho ideal para o planejamento das edificações e de sua relação com a eficiência energética e seu processo de etiquetagem;
- b) o segundo é o mais complexo, aumentando o desconforto, produzindo edificações ineficientes, provocando aumento do consumo de energia e causando mais impactos e mais custos sociais, econômicos e ambientais.

Figura 4 - Desenho do problema de pesquisa.



Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2019.

O segundo caminho, apesar de mais complexo, é o mais comum, com produção de edificações descaracterizadas bioclimaticamente e ineficientes. Com isso, ressalta-se a importância da obrigatoriedade de programas de etiquetagem. Torna-se primordial o estudo da eficiência energética e a prática de projetos de arquitetura de edificações que respondam ao Bioclimatismo com baixo consumo energético, tornando as edificações eficientes.

Uma das maneiras da gestão pública demonstrar ações de eficiência energética em edificações é criando políticas governamentais para promoção, avaliação e aperfeiçoamento dos processos de desempenho e etiquetagem. Segundo o artigo 23 da Constituição da República Federativa do Brasil (BRASIL, 1988), é competência comum da União, dos Estados, do Distrito Federal e dos Municípios conservar o patrimônio público. Uma ação concreta para a conservação é a busca pela eficiência energética em suas edificações.

As edificações públicas militares têm um médio/alto consumo de energia, que pode ser verificada nas contas de energia das concessionárias, comparando as demandas medidas e contratadas, bem como analisando os consumos ativos. Esta constatação foi atribuída devido ao acompanhamento de projetos, obras e serviços de manutenção, durante quatro anos e meio, em mais de vinte quartéis do Exército Brasileiro, entre os anos de 2014 e 2018 em Recife, Olinda, Jaboatão dos Guararapes, Garanhuns, Petrolina, João Pessoa, Campina Grande, Natal e Maceió. Esse alto consumo pode estar relacionado às soluções adotadas nos sistemas envoltória, iluminação artificial e condicionamento de ar. A envoltória tem um impacto grande no desempenho térmico e no resultado da eficiência energética da edificação.

Para Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 5), o conceito de eficiência energética na arquitetura define-se como um atributo inerente à edificação, representante de seu potencial em possibilitar conforto térmico, visual e acústico aos usuários com baixo consumo energético. De acordo com os autores, a principal causa da demanda energética em edificações públicas é em decorrência do uso de aparelhos de condicionamento de ar, o qual representa, em média, 48% do total do consumo de energia elétrica da edificação. Em segundo lugar está o sistema de iluminação, com 23%. Diante disso, o setor público tem um grande potencial para economia de energia. As soluções do sistema envoltória pode aumentar ou diminuir o consumo energético da edificação, pois impacta diretamente no funcionamento dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar.

Entre os aspectos essenciais que devem ser considerados em um projeto de uma edificação eficiente do ponto de vista energético são as características da envoltória -cobertura e vedações externas- e da composição dos materiais de construção. Esses aspectos estão relacionados com os conceitos de tecnologia passiva, que proporcionam conforto ambiental para os usuários, com menor

consumo de energia. As edificações já construídas também poderão receber melhorias no seu desempenho em eficiência energética, mas necessitam de reformas. São os *retrofits* mencionados na Instrução Normativa nº 2, de 2014.

É nesse contexto que a presente pesquisa se apresenta como ferramenta para uma análise do desempenho energético do sistema envoltória de uma edificação pública militar localizada no aquartelamento do 4º Batalhão de Polícia do Exército Brasileiro-4ºBPE (Figura 5).

Esta edificação foi escolhida, primeiro por pertencer ao poder público, podendo servir de exemplo para as demais; segundo, por apresentar um tipo arquitetônico padrão que se repete dentro do sistema de obras militares, onde este experimento poderá ser replicado em outras edificações com as mesmas características e utilizando as mesmas técnicas.

Figura 5 - Parte do aquartelamento do 4º Batalhão de Polícia do Exército-4ºBPE, em Recife-PE.



Fonte: RECIFE/ESIG - adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

A edificação **objeto empírico** de estudo será o pavilhão de comando (Figura 6). Trata-se de um edifício que tem uso administrativo. As demais edificações têm caráter operacional e de serviços. O aquartelamento do 4º BPE fica localizado no complexo do Curado, na BR-232.

Figura 6 - Pavilhão de comando do 4º Batalhão de Polícia do Exército, em Recife-PE.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2019.

Com a obrigatoriedade da etiquetagem com classificação A de eficiência energética em edificações públicas federais, desde 2014, devido à INº 02 de 2014, e da relevância da eficiência energética nas edificações, este trabalho propôs avaliar o desempenho energético da envoltória, porque tem um papel decisivo no desempenho da carga térmica da edificação e no funcionamento de outros sistemas, como a iluminação natural e artificial e o condicionamento de ar. Além disso, a envoltória está diretamente relacionada com decisões do ato projetual, onde o projetista escolhe materiais, cores e elementos que devem responder a um bom desempenho térmico e um alto índice de eficiência energética.

Para esta análise, será utilizado o **método hipotético-dedutivo**, com foco no objeto. Segundo Karl Popper (apud MARCONI e LAKATOS, 2010), a pesquisa científica parte de um problema, onde são aplicadas possíveis soluções, as quais devem ser posteriormente confrontadas. Portanto, Popper defende três momentos no processo investigatório:

a) Problema, que surge, em geral, de conflitos ante expectativas e teorias existentes.

Neste estudo, como já exposto, a problemática consiste na investigação da influência das soluções arquitetônicas de um sistema projetado de forma inadequada, no desempenho energético e na classificação de eficiência energética

da envoltória da edificação com a etiqueta PBE Edifica, à luz do regulamento brasileiro de etiquetagem.

b) Solução proposta, consistindo numa conjectura; dedução de consequências, na forma de proposições passíveis de teste.

Neste estudo serão testadas proposições de *retrofit* para avaliação do desempenho energético da envoltória por meio de duas técnicas, o “método prescritivo” do RTQ-C e o “método simplificado” da INI-C.

c) Testes de falseamento: tentativas de refutação, entre outros meios, pela observação e experimentação.

Neste estudo, os resultados das proposições de retrofit utilizando as técnicas, serão analisados e comparados sob o ponto de vista do desempenho energético e do processo para obtenção da etiqueta PBE Edifica que avalia o nível de eficiência energética da envoltória, resultando da síntese do processo. A hipótese precisa ser confirmada ou refutada.

A estrutura se evidencia em análise e síntese. A partir da evidência de que as soluções arquitetônicas adotadas para o sistema envoltória impactam no consumo energético e no processo de etiquetagem de eficiência energética da edificação, parte-se então da seguinte **hipótese**: as soluções arquitetônicas existentes no sistema envoltória da edificação produzirão baixo desempenho energético, interferindo na classificação da sua eficiência energética para o nível A, segundo o regulamento brasileiro de etiquetagem vigente, o RTQ-C e o que visa substituí-lo, a INI-C, onde a aplicação do *retrofit* de eficiência energética na envoltória apresentará melhorias à edificação, de modo a classificá-la com o nível A de eficiência energética.

Os procedimentos a serem adotados passarão necessariamente por 5 fases:

- a) Fazer a leitura da edificação na sua condição real, atual;
- b) Fazer a leitura da edificação na sua condição de referência, ou seja, situação hipotética com nível de desempenho classe D;
- c) Aplicar as duas técnicas propostas, RTQ-C e INI-C, analisando os resultados.
- d) Realizar experimentação de soluções arquitetônicas no sistema envoltória para melhorar o desempenho da edificação, aplicando *retrofits*, utilizando os dois roteiros RTQ-C e INI-C.
- e) Comparar os resultados obtidos após as aplicações do RTQ-C e INI-C.

O **objetivo geral** deste trabalho é analisar comparativamente duas técnicas de avaliação e classificação do nível de eficiência energética de uma edificação, o RTQ-C e a INI-C, avaliando o desempenho energético da envoltória de uma edificação pública militar, com estudos de *retrofit*. Pretende-se classificar a envoltória, em ambos os casos, com a etiqueta de eficiência energética em edificações PBE Edifica.

Para alcançar o objetivo geral e orientar o desenvolvimento da pesquisa, foram trabalhados três **objetivos específicos**:

- Caracterizar o conceito de conforto ambiental, arquitetura bioclimática e eficiência energética e como eles se relacionam.
- Conhecer os procedimentos para etiquetagem de eficiência energética em edificações públicas, através das técnicas RTQ-C e INI-C.
- Analisar os resultados da aplicação das técnicas RTQ-C e INI-C antes e após o *retrofit*, e a influência no desempenho energético e na classificação da envoltória.

A Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) para edificações, o PBE Edifica, pode gerar vantagens competitivas para a diminuição do consumo energético das edificações e contribuir para a redução das emissões de carbono no Brasil.

O **primeiro capítulo** é constituído pela introdução, que apresenta do problema à estrutura da dissertação.

O **segundo capítulo** é de fundamentação teórica com pesquisa bibliográfica em livros, teses, dissertações e artigos sobre conforto ambiental, arquitetura bioclimática e eficiência energética, onde serão abordados conceitos, como se relacionam e qual a sua contribuição em busca de cidades confortáveis e eficientes.

O **terceiro capítulo** também é de fundamentação teórica, com pesquisa bibliográfica em livros, dissertações, artigos, manuais e regulamentos, onde serão discutidos os conceitos de eficiência energética em edificações e os procedimentos para o processo de etiquetagem de eficiência energética da envoltória utilizando o RTQ-C e a INI-C. Serão mostrados também exemplos de aplicação da etiquetagem em algumas edificações públicas.

O **quarto capítulo** aborda o objeto empírico, com pesquisas de campo, avaliação e análise do desempenho energético da envoltória utilizando o RTQ-C e a INI-C, com as discussões e apresentação dos resultados obtidos.

A estrutura metodológica da pesquisa pode ser vista no quadro 1.

Quadro 1 - Síntese metodológica da pesquisa.

SUBTEMAS	OBJETIVOS	PROCEDIMENTOS	PRODUTOS	CAPÍTULOS
Conforto ambiental, arquitetura bioclimática e eficiência energética.	Caracterizar os conceitos conforto ambiental, arquitetura bioclimática e eficiência energética.	Pesquisa bibliográfica sobre conforto ambiental, arquitetura bioclimática e relação com a eficiência energética em edificações.	Orientação para análise e aplicação do Bioclimatismo no projeto de arquitetura	CONFORTO, BIOCLIMATISMO E CONSUMO ENERGÉTICO
			Procedimentos para promover eficiência energética em edificações	
Eficiência energética em edificações. Etiqueta de eficiência energética. Retrofit de eficiência energética.	Analisar os procedimentos para avaliação do desempenho energético e etiqueta de eficiência energética em edificações públicas	Pesquisa bibliográfica sobre procedimentos e técnicas para avaliação do desempenho e etiqueta de eficiência energética.	Síntese do processo avaliação de desempenho e etiqueta de eficiência energética nas edificações públicas	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES
		Pesquisa bibliográfica de edificações etiquetadas.		
Desempenho energético de edificações.	Analisar o desempenho energético da envoltória do pavilhão de comando do 4º BPE com classificação do nível de eficiência energética.	Pesquisa documental e de campo no pavilhão de comando do 4º BPE, no Curado, Recife-PE	Avaliação do desempenho e classificação do nível de eficiência energética da envoltória do pavilhão de comando do 4ºBPE.	DESEMPENHO ENERGÉTICO EM ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO
		Aplicação do RTQ-C e INI-C para avaliação do desempenho da envoltória no 4ºBPE.		

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

2 CONFORTO, BIOCLIMATISMO E CONSUMO ENERGÉTICO

O conceito de eficiência energética em edificações está relacionado ao desenho do edifício e como ele responde passivamente aos condicionantes climáticos, produzindo baixo consumo e proporcionando conforto ambiental, ou seja, é a busca da adequação da arquitetura ao meio ambiente natural, produzindo conforto e economia de energia.

De acordo com o Ministério do Meio Ambiente (MMA) (2019), os desafios para o setor da construção são diversos e entre eles estão a redução e a otimização do consumo de materiais e de energia. Para tanto, recomenda-se, entre outras soluções:

- Potencializar o uso racional de energia ou de energias renováveis, e
- Reduzir o uso de materiais com alto impacto ambiental.

No âmbito do urbano, estratégias adaptadas ao clima local devem gerar conforto aos usuários, dentro da relação da arquitetura com o meio ambiente natural. Essa relação pode afetar o conforto e a eficiência energética das edificações.

De acordo com Mascaró e Mascaró (2009, p.27), a necessidade de consumo energético na obtenção de um conforto ambiental apropriado não se deve apenas a um problema decorrente das condições climáticas, mas muitas vezes, ao conforto gerado por uma organização espacial urbana e arquitetônica.

Os efeitos que as fachadas dos edifícios produzem nela são semelhantes aos que essas mesmas paredes e seus acabamentos produzem no espaço arquitetônico: refletâncias, emitâncias, absortâncias. A largura da rua, altura e características dos planos laterais, assim como a presença de vegetação afetarão a ambiência urbana e o consumo de energia dos edifícios que dela formam parte de maneira que podem ser associadas, inicial e tentativamente e levadas em consideração no desenho urbano. (MASCARÓ e MASCARÓ, 2009, p. 71).

A adequação do projeto ao clima, como forma de minimizar o consumo energético e garantir o conforto deve ser uma ação de planejamento. Nesse sentido é essencial relacioná-la ao conceito de arquitetura bioclimática.

Para Serra (1989 apud Romero, 2015, p. 25), arquitetura bioclimática é aquela que otimiza, no seu próprio desenho arquitetônico, suas relações energéticas com o entorno e o meio ambiente; aproveita o sol no inverno e evita-o no verão; utiliza os benefícios da ventilação para combater a umidade e para extrair o ar quente; e vale-

se do isolamento para reduzir as trocas térmicas com o exterior, especialmente as perdas de calor em épocas frias.

Conforme Romero (1998, p. 52), arquitetura e clima são conceitos inseparáveis, porém produziu-se em tão larga escala uma arquitetura dissociada do clima que foi necessário criar uma segunda arquitetura e batizá-la de bioclimática.

Considerando gastos com a energia, boa parte dela pode ser considerada desperdício quando existe troca não desejada de calor entre ambientes internos e externos. O ambiente interno, mais frio, recebe calor do ambiente externo, mais quente. Se a edificação não foi pensada para dissipar o calor vindo do sol, não terá eficiência energética.

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), a eficiência energética das edificações pode ser melhorada com a elaboração de projetos que incluam estudos sobre o comportamento energético do edifício. O consumo elevado de energia pelas edificações, a preocupação com a sustentabilidade ambiental e com a conservação dos recursos naturais levaram os países mais desenvolvidos a elaborarem normas de eficiência energética para as edificações, como uma medida de regulamentação e controle do consumo energético.

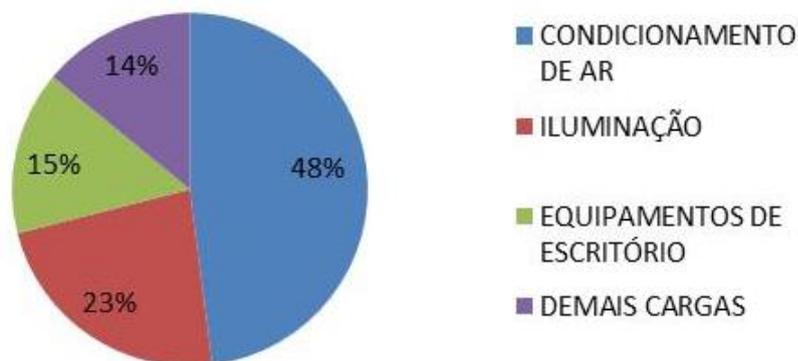
Segundo Boeck (2017), investir em prédios eficientes influencia muito no retorno financeiro, social e ambiental tanto para quem constrói quanto para a cidade e para os moradores dos empreendimentos. O levantamento Accelerating Building Efficiency (Acelerando a Eficiência de Construção), do WRI Ross Center for Sustainable Cities (Centro WRI Ross para Cidades Sustentáveis), foi realizado no mundo e foi constatado que edifícios e construções são responsáveis por 60% do uso de eletricidade, 12% do uso de água, 40% do lixo e 40% dos recursos materiais. Para Boeck, mesmo as construções antigas podem passar por melhorias de eficiência energética e aprimorar seus desempenhos.

Edifícios novos podem ser concebidos, considerando-se os aspectos da eficiência, no desenvolvimento do projeto. Para os edifícios existentes, a forma de torná-los econômicos no uso da energia elétrica, é através de procedimentos e intervenções na edificação, equipamentos e sistemas. Os sistemas de condicionamento de ar e iluminação consomem grande parte da energia.

Segundo PROCEL (2007, p. 30-33, apud SERAFIN, 2010 p. 30), em edifícios públicos brasileiros, estudos apontam a divisão do consumo em: 48% pelo

condicionamento de ar, 23% pela iluminação, 15% por equipamentos de escritório e 14% devido a demais cargas (Figura 7).

Figura 7 - Consumo de energia em edifícios públicos brasileiros.



Fonte: PROCEL (2007, p. 30-33, apud SERAFIN, 2010 p. 30, elaborado pelo autor).

A Agência Internacional de Energia estima que quase metade das ações necessárias para conter as mudanças do clima terão de vir da melhoria da eficiência energética mundial (Ministério do Meio Ambiente, 2015a).

A importância das questões relacionadas a eficiência energética aumentou o reconhecimento do valor do projeto bioclimático e dos sistemas passivos. Estes sistemas devem sempre considerar a diminuição do consumo energético e o conforto ambiental dos usuários.

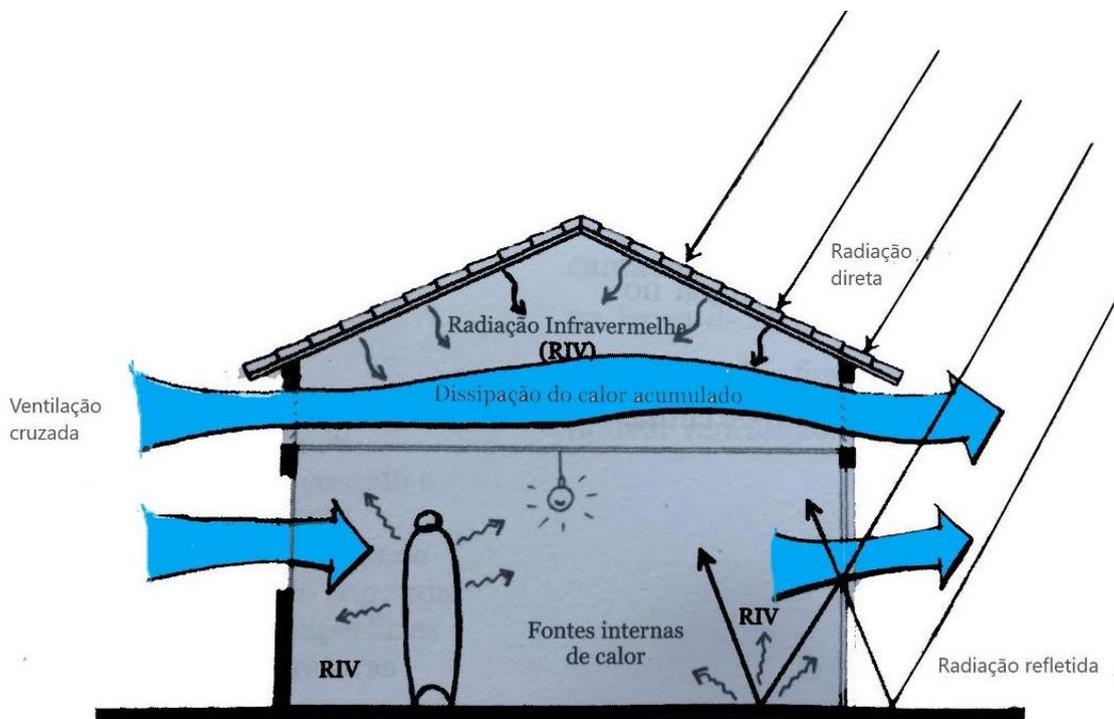
O conforto ambiental é o nível de satisfação térmico, acústico, visual, psicológico e ergonômico dentro de um espaço.

O conforto térmico é essa condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico. Existem grandes variações, tanto fisiologicamente quanto psicologicamente, de pessoa para pessoa. É difícil satisfazer todos em um espaço. As condições ambientais exigidas para o conforto não são iguais para todos. (ASHRAE 55, 2013 p. 4).

De acordo com Corbella e Corner (2011, p. 25), pode-se dizer que uma pessoa está confortável com relação a um ambiente, quando pode percebê-lo sem incômodo, com uma sensação neutra em relação a ele. A sensação de conforto no interior de um cômodo depende de alguns parâmetros de seu meio ambiente (Figura 8). Segundo os autores, o bem-estar tem relação com as sensações do corpo humano, quando variam com alguns parâmetros físicos, entre os quais:

- a) Radiação solar: direta, refletida ou difusa, produz um efeito de aquecimento da pele (ou da roupa) atingida por ela;
- b) Temperatura do ar: se a temperatura for muito baixa, há grande perda de calor e sente-se frio; ao contrário, se ela estiver alta, sente-se calor;
- c) Umidade relativa do ar: quando a umidade relativa aumenta, diminui ou inibe a perda de calor por evaporação, por isso sente-se mais calor;
- d) Movimento do ar: produz um efeito de aquecimento ou esfriamento, conforme a temperatura e a umidade do ar, e facilita a renovação do ar saturado de umidade em torno da pele.

Figura 8 - Parâmetros que afetam o conforto das pessoas.



Fonte: CORBELLA E CORNER – adaptado por Danyeverson Oliveira, 2011.

O conforto térmico e a eficiência energética obtidos pela manipulação dos fatores ambientais, das variáveis arquitetônicas e das demandas bioclimáticas devem se complementar, durante toda a fase de concepção do projeto, e influenciar o arquiteto na solução do projeto.

Um importante aspecto para promover conforto e eficiência energética nas edificações é a luz natural. Edificações capazes de aproveitar o potencial da luz

natural, além da economia na redução no consumo de energia, traz benéficos à saúde das pessoas.

Segundo Corbella e Yannas (2009, p. 253), é importante considerar que a luz natural provê um aumento de qualidade de vida, põe as pessoas em contato com a variação temporal ao longo do dia e as informa sobre o decorrer e as variações do clima externo. Segundo os autores, se o projeto de iluminação for bem concebido, resultará em poupança de energia elétrica, para iluminação artificial e para ar-condicionado.

Mas, obviamente, deve-se lembrar de que se, no seu empenho em utilizar mais luz natural, o projeto abrir demais as áreas de janela, os usuários poderão experimentar um excesso de iluminação, resultando em ofuscamento, e aumentando de forma considerável a carga térmica, devido à grande quantidade de radiação solar que entrara no prédio e se converterá em calor ao atingir as superfícies internas. Isto resultara em maior desconforto térmico, ou em maior consumo de energia para o sistema de ar-condicionado. (CORBELLA e YANNAS, 2009, pág. 254).

Nas regiões tropicais quentes e úmidas, onde está localizada Recife, as edificações precisam de aberturas médias e grandes para garantir uma boa ventilação, mas deve-se controlar a luz que entra, para não criar ofuscamento e entrada de radiação solar direta, pois esta afetará o conforto térmico. Essa radiação solar direta pode ser controlada com a criação de dispositivos de proteções solares.

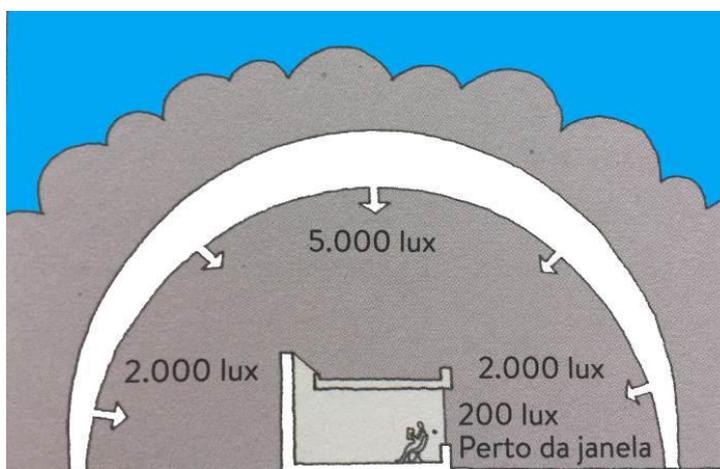
A iluminação natural é um fator primordial quando consideramos o conforto visual dos espaços internos. A luz natural é a fonte de iluminação que nossos olhos se adaptam naturalmente, influenciando nos padrões de sono, diminuindo os riscos de doenças e gerando economia de energia, pois evita a necessidade do uso da luz artificial.

O sistema de iluminação artificial tem a função de fornecer a iluminância necessária para a realização de atividades, complementar a iluminação natural ou substituí-la nos horários com ausência de luz natural.

Segundo Heywood (2015, p. 156) há uma grande quantidade de luz natural mesmo em dias encobertos (Figura 9). Nos baseamos demais na luz artificial que consome uma grande quantidade de energia elétrica. Até 50% da energia consumida em um edifício de tipologia de escritórios é usada para iluminação artificial. Para o autor, uma estratégia de iluminação natural pode acarretar uma economia de até 40% no consumo de energia em relação a um esquema com

iluminação artificial. Lux é a unidade do Sistema Internacional utilizada para medir o fluxo luminoso em uma determinada área.

Figura 9 – Luz natural no exterior em dias encobertos.



Fonte: Heywood, 2015, p.157.

Um bom projeto de iluminação, deve proporcionar conforto lumínico aos usuários, reduzindo o consumo de energia. O uso da iluminação artificial é um dos fatores que contribuem para o aumento do consumo de energia em edificações. É necessário conhecer os equipamentos que compõem este sistema. Lâmpadas, luminárias e reatores devem ser eficientes e o comportamento desses equipamentos deve ser previsto na distribuição da iluminação no espaço, mas priorizar a luz natural torna-se imprescindível.

A busca pelo conforto ambiental pode provocar aumento do consumo de energia. É necessário desenvolver projetos de edificações que priorizem sistemas passivos. Para isso, aponta-se a necessidade de se relacionar clima e arquitetura.

2.1 CLIMA E ZONEAMENTO

O clima é um fator físico que apresenta variações no ambiente natural ou construído, com suas diferenças na precipitação, umidade, temperatura, intensidade dos ventos e insolação. Estes elementos do clima determinam ambientes térmicos variados sugerindo formas diferenciadas para uma edificação. Para cada clima deve haver soluções específicas.

De acordo com Ayoade (1991, p. 02, apud FREITAS, 2005, p. 63), clima é a síntese do tempo num dado lugar, durante um período aproximadamente de 30 a 35 anos.

O clima de uma região é caracterizado por um conjunto de elementos meteorológicos que, agindo de forma recíproca entre si, são responsáveis também pelas nossas sensações de conforto ou não, pelas sensações de frio e calor. A temperatura juntamente com a umidade relativa do ar, a pluviosidade, a ventilação, constituem os principais elementos climáticos. São eles que vão caracterizar o clima e muitas vezes defini-lo. (FREITAS, 2005, p. 63).

O Brasil possui diversos climas que são definidos por uma série de fatores naturais e variam em função da disposição geográfica, temperaturas, massas de ar, pressão atmosférica e ação dos mares. Grande parte do território brasileiro encontra-se entre a linha do equador e o trópico de capricórnio, que são zonas de baixas latitudes e de clima quente.

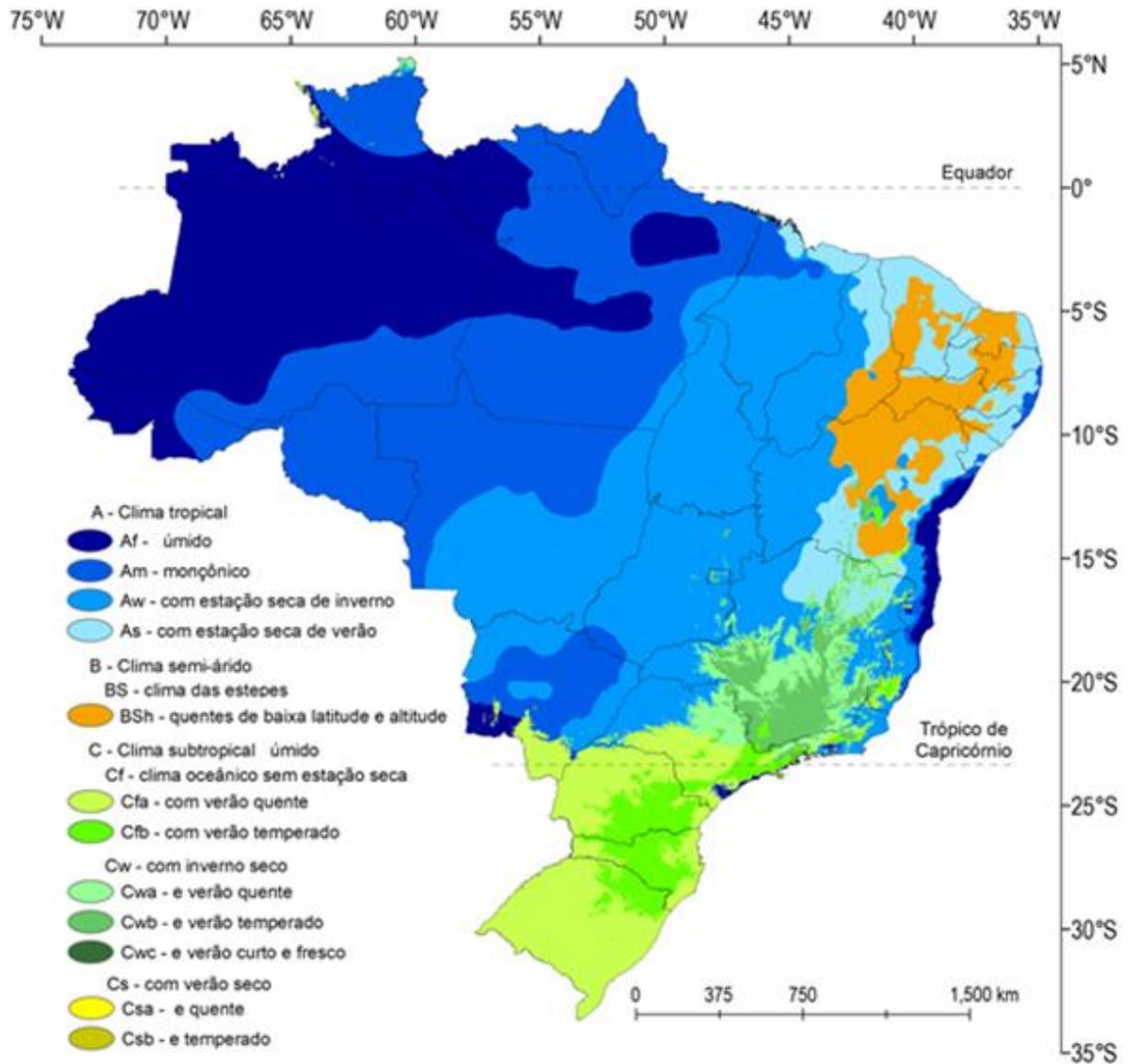
Segundo Corbella e Corner (2011, p. 22), conhecer a realidade climática e as necessidades humanas de conforto são fatores decisivos para realizar um bom projeto de arquitetura, onde é necessário dar atenção a algumas estratégias que permitirão obter boas condições de habitabilidade das construções em clima tropical:

- a) Controle solar. Sombrear e proteger do sol de verão e aproveitar o sol de inverno quando necessário;
- b) Reduzir as áreas de vidro ao estritamente necessário para prover iluminação natural e controlar a entrada da radiação solar;
- c) Utilizar a ventilação. Resfriar o ambiente e promover ventilação cruzada no clima tropical quente e úmido.
- d) Isolar os ambientes e reduzir os intercâmbios térmicos com o exterior em locais com ar-condicionado; minimizar a utilização de aparelhos de ar-condicionado, que consomem muita energia.

De acordo com Coutinho (1991, apud FREITAS, 2005, p. 66), Lysia Maria Fernandes classifica o Brasil em cinco tipos básicos de clima: clima equatorial, clima tropical, clima semiárido, clima subtropical e clima tropical de altitude.

Para Köppen, Recife está inserido no clima As, onde 'A' indica o tipo de clima tropical e 's' indica estação seca no verão e chuvas de inverno. A figura 10 mostra a divisão do clima brasileiro, derivada da classificação de Köppen.

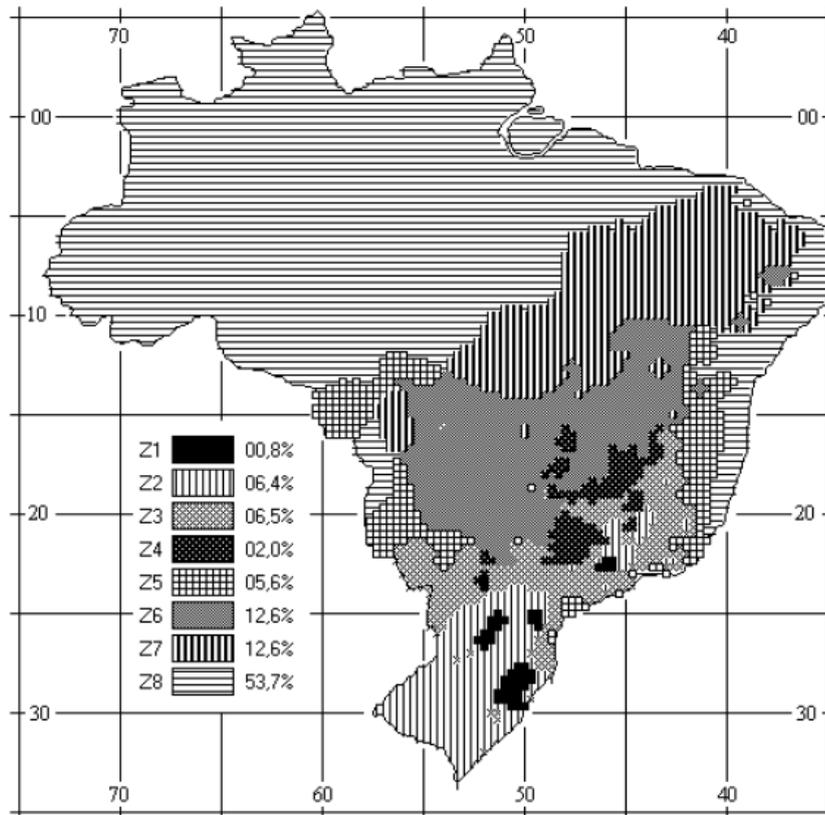
Figura 10 - Mapa do clima do Brasil.



Fonte: ALVARES et al, 2014, p.717.

A NBR 15.220-3/2005 - Desempenho térmico de edificações, da Associação Brasileira De Normas Técnicas (ABNT), na sua parte 3 que aborda o zoneamento bioclimático e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social, publicada em 2005, apresenta um zoneamento, dividindo o Brasil em 8 zonas bioclimáticas (ZB), com recomendações projetuais técnico-construtivas para cada zona, para melhorar a adequação climática das edificações e para otimizar o seu desempenho térmico. Recife localiza-se na zona bioclimática 8 (Ver figura 11).

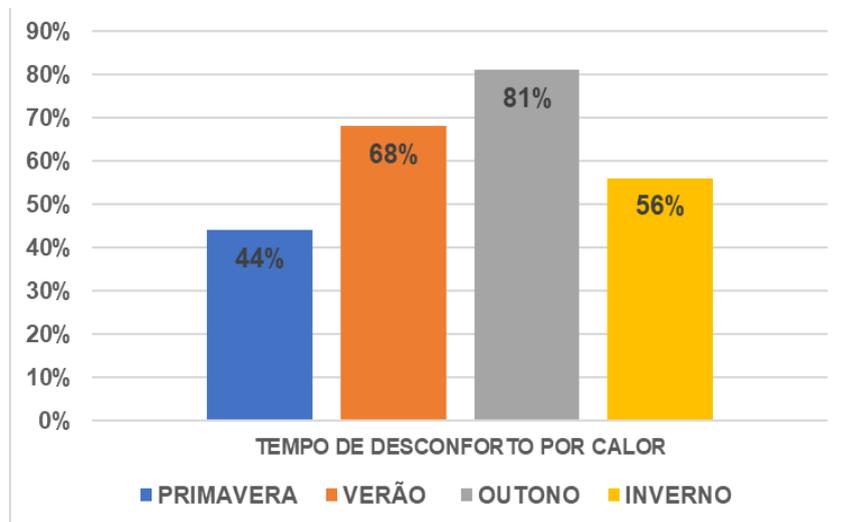
Figura 11 - Zoneamento Bioclimático Brasileiro.



Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005.

De acordo com a NBR 15.220-3/2005, devem ser atendidas as seguintes diretrizes para a zona bioclimática 8: aberturas grandes para ventilação, sombreamento das aberturas, ventilação cruzada permanente no verão e vedações externas (paredes e coberturas) leves e refletoras. Em Recife o desconforto por calor predomina a maior parte do tempo durante as estações do ano (Figura 12).

Figura 12 - Tempo de desconforto por calor nas estações do ano, em Recife-PE.



Fonte: PROJETEEE, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Holanda (2010, p. 15), em *Roteiro para Construir no Nordeste*, aborda recomendações projetuais para orientar a criação de espaços arquitetônicos no clima tropical quente, úmido e litorâneo do Nordeste brasileiro. Para o autor, as estratégias passivas de condicionamento mais eficazes são: a ventilação natural para a redução da temperatura interna das edificações, o sombreamento, coberturas ventiladas, elementos vazados que filtram luz e deixam a brisa penetrar, e o uso da vegetação. Tais estratégias de Holanda estão de acordo com as recomendações da norma da ABNT para a ZB 8, que são a ventilação e o sombreamento.

Apesar de se configurar como um guia orientativo, a NBR 15220-3/2005 ainda se mostra imprecisa na caracterização climática das cidades brasileiras. Pesquisadores apontam para a necessidade de fazer uma revisão do zoneamento.

De acordo com Bogo (2016, p. 294-297), a norma brasileira NBR 15220-3/2005, em parte, tem limitações. Está correto abordar que a norma não contempla algumas diretrizes construtivas e estratégias de condicionamento térmico passivo para cidades com clima subtropical, na sua maioria localizadas no Sul do Brasil. De acordo com o autor:

a) Para a zona bioclimática 3 e respectivas cidades que fazem parte, não existe a recomendação de sombrear as aberturas no verão;

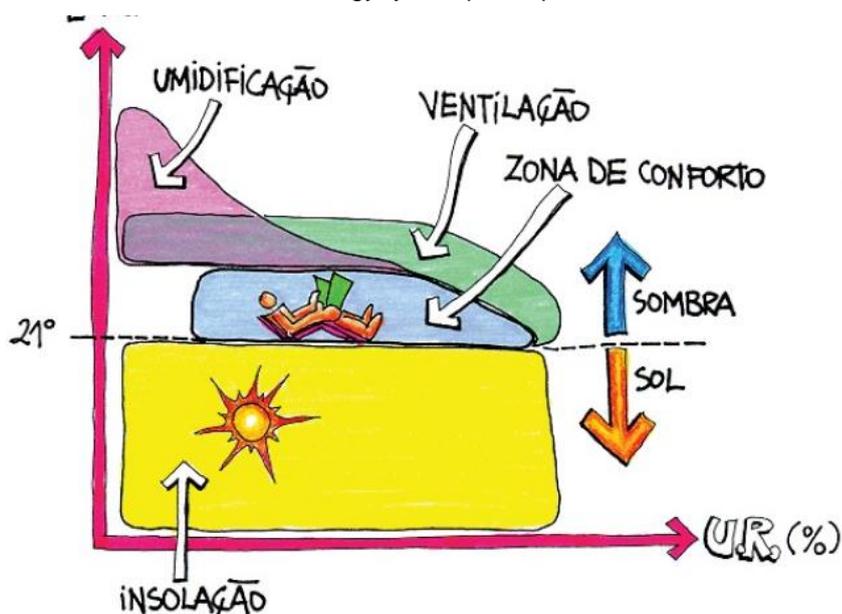
b) São encontradas numa zona bioclimática cidades com altitudes bastante diversas, como por exemplo Camboriú-SC, no litoral, com 8 m de altitude e Chapecó a 400 km do litoral em direção ao oeste com 679 m de altitude, ambas enquadradas na ZB 3;

c) O “Método de Givoni” adotado na definição da zona de conforto, visando a definição do zoneamento bioclimático, não contempla o quesito controle da insolação direta, apresentando uma falha importante quanto à definição das estratégias de condicionamento térmico recomendadas. O controle solar nas aberturas e na edificação como um todo, é um dos principais pontos para se obter melhorias no desempenho térmico da edificação, com aumento no conforto térmico interior para os períodos de calor.

Cada local requer diferentes diretrizes e soluções construtivas baseadas nas condições físicas e climáticas, onde deve-se conhecer dados climáticos e variações meteorológicas do local, para desenvolver boas soluções de projeto: adequação de formas e materiais aos elementos do clima, temperatura do ar, umidade absoluta e relativa do ar, ventilação, radiação solar, nebulosidade e precipitação.

Segundo Romero (2015, p.16), o livro *Design with climate*, de Olgyay, foi o primeiro texto de fácil compreensão a desenvolver racionalmente um estudo que levasse em consideração as variáveis do lugar. Em 1968, o autor elabora e publica um gráfico bioclimático no qual podem ser registradas as necessidades de proteção contra os elementos climáticos não desejados, ao mesmo tempo que é avaliada a variedade dos elementos climáticos de qualquer dia do ano (Figura 13).

Figura 13 - Carta Bioclimática de Olgyay, adaptada por Lamberts, Dutra e Pereira.



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.84.

A arquitetura concebida aplicando diretrizes bioclimáticas e utilizando condições favoráveis do clima são necessárias para satisfazer as exigências de conforto dos usuários e promover a eficiência energética da edificação.

2.2 DIRETRIZES BIOCLIMÁTICAS

Os primeiros estudos de uma arquitetura integrada com a natureza e o clima surgiram há aproximadamente 2000 anos, com Vitruvius, ainda na Roma Antiga. A denominação de “arquitetura bioclimática” surgiu na década de 1960, a partir de pesquisas de *Aladar e Victor Olgyay*, considerados grandes pesquisadores e precursores da área de conforto ambiental. O Bioclimatismo consiste na adequada e harmoniosa relação entre ambiente construído, clima e seus processos de troca de energia, tendo como objetivo final o conforto ambiental humano em todas suas formas: térmico, luminoso, acústico (FERREIRA, 2019).

Do ponto de vista do urbano é importante o planejamento de diretrizes bioclimáticas como a inserção de áreas verdes em diversas escalas, pois sua falta tem influência no fenômeno das ilhas de calor. A presença de massa vegetativa promove sombreamento, modifica a umidade e temperatura do ar, influencia no direcionamento e velocidade do vento e filtra a radiação solar.

Segundo Higuera (2006, apud, Barbosa, 2018, p. 110), as variáveis relacionadas com o meio ambiente - radiação solar, vegetação, vento, água, umidade do ar e geomorfologia - e as variáveis relacionadas com o meio urbano - rede viária, espaços livres, morfologia das quadras e lotes e tipologia arquitetônica - possuem uma matriz de relação (Figura 14).

Figura 14 – Matriz de relação entre as variáveis relacionadas com o meio ambiente e as variáveis relacionadas com o meio urbano.

		VARIÁVEIS DO MEIO NATURAL				
		Sol	Vegetação	Vento	Água	Geomorfologia
VARIÁVEIS DO MEIO URBANO	Rede viária	Orientação Forma	Localização	Orientação Forma	Microclima	Condição do solo Adaptação topográfica
	Espaços livres	Orientação Forma	Espécies Densidade Localização	Orientação Forma	Microclima	Condição do solo
	Condições da quadra	Orientação Geometria Densidade		Orientação Geometria Densidade		
	Condições do lote	Geometria Alturas Ocupação Potencial construtivo		Geometria Alturas Potencial construtivo		
	Condições da edificação	Controle solar		Ventilação interna Localização de aberturas	Microclima interno	

Fonte: Higuera, 2006, apud BARBOSA, 2018, p.110.

A arquitetura bioclimática considera a relação com os fatores climáticos e com a natureza, de acordo com a localização geográfica. Respeitar e inserir esses elementos à construção garante mais conforto para as pessoas.

Cada região impõe condições de variações de vento, chuva, pressão, temperatura, umidade e radiação, que influenciam o conforto dos usuários no interior das edificações. Essas condições se configuram na base dos níveis de eficiência e do consumo energético nas edificações.

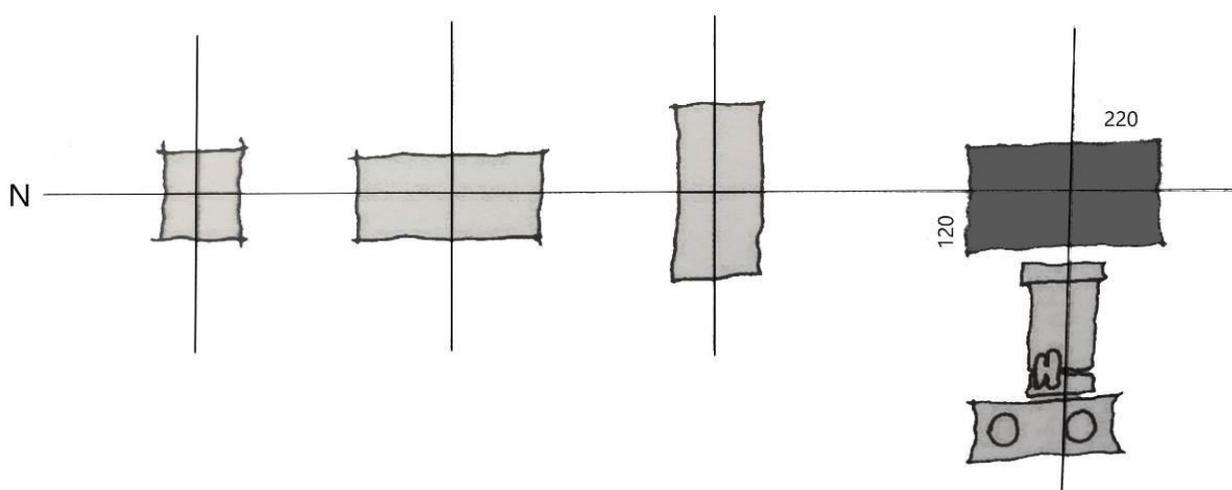
São fatores de grande influência para o consumo de energia de um edifício, sua forma, orientação e aberturas, os quais devem ser compatíveis com o clima do local onde está sendo planejada a edificação. Também tem grande influência a escolha dos materiais das envoltórias da edificação.

Olgay (1968, apud, Romero, 2015, p. 79), investigou os efeitos do clima nas construções, considerando como guia o efeito combinado da temperatura ambiente com a radiação solar. O estudo foi realizado em quatro zonas climáticas dos Estados Unidos e concluiu que:

- a) A forma quadrada não é ideal em nenhum dos lugares estudados;
- b) Todas as formas alongadas sobre o eixo norte-sul são mais eficazes, tanto no verão quanto no inverno, do que a forma quadrada; e,
- c) A forma ideal é, em cada caso, uma forma alongada sobre o eixo Leste-Oeste.

Com este estudo de Olgay, podemos concluir que os diferentes lados da edificação recebem impactos e efeitos da radiação solar diferentes (Figura 15).

Figura 15 - A eficácia da forma na praça dos três poderes, em Brasília.



Fonte: ROMERO, 2015, p.80.

A forma e orientação do edifício deve ser definida de modo a propiciar o equilíbrio entre os períodos de inverno, quando é necessário o máximo de radiação solar, e os períodos de verão, quando a radiação deve ser evitada. No caso de Recife, não se percebe essa variação, devido à baixa latitude, aproximadamente oito graus.

O estudo da insolação na edificação é um importante aliado dos arquitetos, pois o sombreamento é uma das estratégias bioclimáticas mais indicadas para o Brasil, principalmente no clima quente e úmido de Recife (Figura 16).

Figura 16 - Percentual de necessidade de sombreamento.

cidade	necessidade de sombreamento (% das horas do ano no período diurno)	necessidade de sol (% das horas do ano no período diurno)
<i>idades com grande necessidade de sombreamento durante todo o ano</i>		
Belém	100,0	0,0
Fortaleza	100,0	0,0
São Luís	100,0	0,0
Recife	100,0	0,0

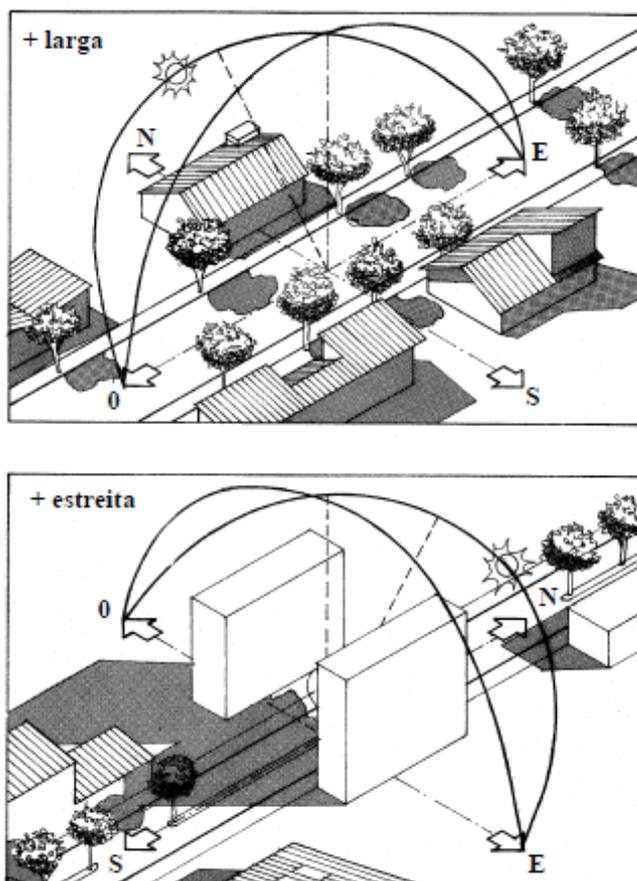
Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014.

O sombreamento é uma estratégia bioclimática que cria obstáculo à incidência direta da radiação solar na edificação, sendo importante para minimizar o aquecimento da edificação.

O planejamento da edificação deve estar adaptado ao movimento aparente do sol. A posição do sol na abóboda celeste pode ser definida através de ângulos que variam de acordo com a hora do dia e período do ano, com trajetórias solares aparentes diferentes nos solstícios, em junho/dezembro e equinócios, em março/setembro. Essas trajetórias são representadas graficamente através da carta solar.

Na figura 17, é mostrada a carta solar para a cidade de Recife para uma latitude aproximada de oito graus.

Figura 18 - Circulação urbana adaptada ao clima local.

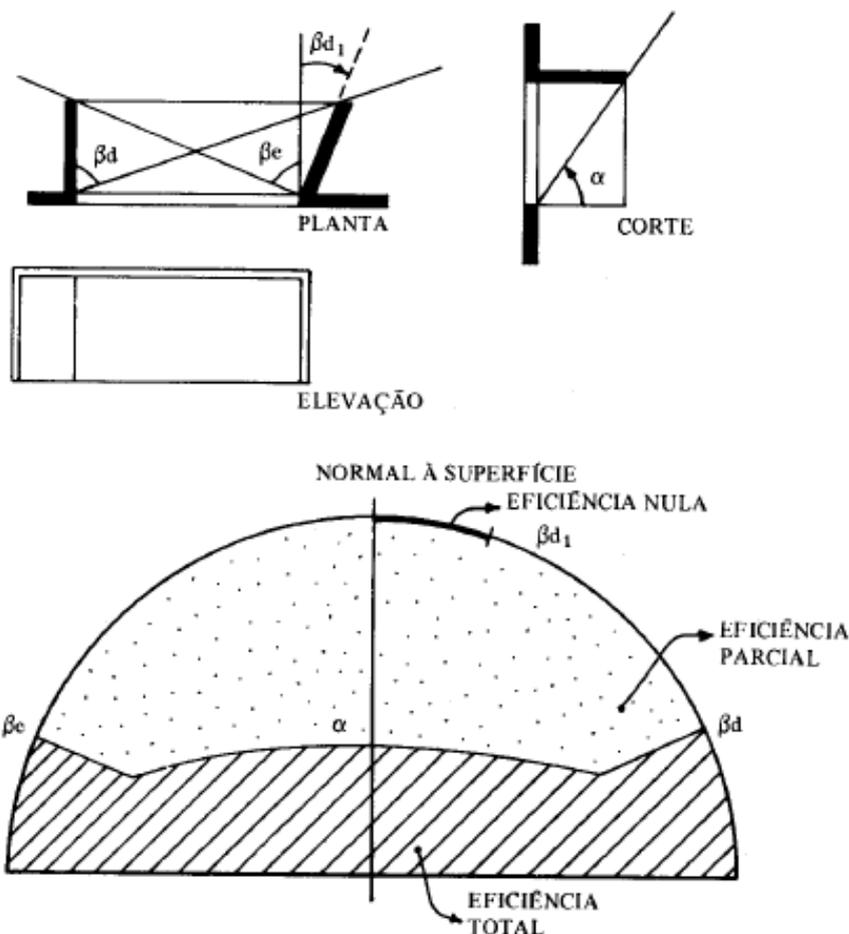


Fonte: FROTA E SCHIFFER, 2001, p.70.

No clima quente e úmido, deve-se proteger as aberturas na envoltória das edificações e para isso recomenda-se determinar a posição do sol e estudar seus efeitos na edificação, planejando dispositivos de proteção solares e fazendo estudos de sombreamento (Figura 19). O dispositivo de proteção solar é um elemento arquitetônico composto por lâminas geralmente de concreto e paralelas, planejadas na fachada da edificação, com função de impedir a radiação solar direta nos ambientes da edificação. Podem ser verticais, horizontais e mistos e são conhecidos como brises.

Segundo Bittencourt (2004, p. 54), os brises horizontais são mais eficientes nas horas do dia em que o sol está mais alto e menos eficientes nas horas próximas ao nascer e pôr-do-sol; e o vertical possui maior eficiência nas fachadas onde a maior parte da incidência solar se afasta da perpendicular à fachada, caso das fachadas norte, sul, sudeste, nordeste e sudoeste.

Figura 19 - Máscara de sombra produzida por dispositivo de proteção solar.



Fonte: FROTA E SCHIFFER, 2014, p. 102.

Outra estratégia bioclimática importante para Recife é a ventilação natural. É um dos fatores mais importantes que determinam o conforto térmico para o clima tropical quente e úmido. Trata-se do fenômeno da movimentação do ar devido a diferença de pressão e, conseqüentemente, diferença de temperatura. Proporciona conforto térmico para as pessoas, através da ventilação de conforto e renovação do ar dos ambientes, através da ventilação higiênica (Figura 20). Para que a ventilação possa entrar nos ambientes de forma eficiente, são necessárias aberturas em sentidos opostos ou adjacentes.

Há um sistema passivo de refrigeração que usa a ventilação natural como parte integrante do projeto arquitetônico de uma edificação com o objetivo de reduzir a energia requerida para resfriar o ambiente interno quando necessário. (ROMERO et al, 2012, p.45).

Figura 20 - Tipos de ventilação.



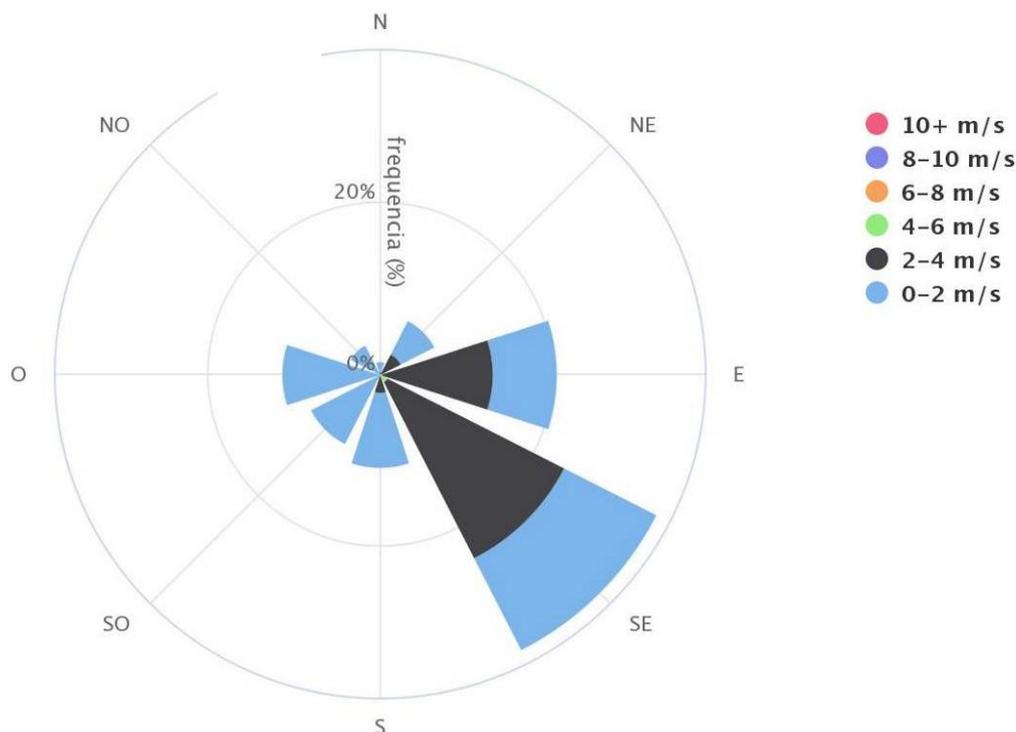
Fonte: Esboço elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

De acordo com Frota e Schiffer (2014, p. 124), a diferença de pressão exercidas pelo ar sobre um edifício pode ser causada pelo vento ou pela diferença de densidade do ar interno e externo, ou por ambas as forças agindo simultaneamente. A força dos ventos então promove a movimentação do ar através do ambiente, produzindo a ventilação chamada ação dos ventos. O efeito da diferença de densidade provoca o denominado efeito chaminé. Ainda segundo as autoras, a ventilação natural de edifícios se faz através de dois mecanismos, ventilação por ação dos ventos e ventilação por efeito chaminé:

Quando a ventilação natural de um edifício é criteriosamente estudada, verifica-se a conjugação dos dois processos. No entanto, a simultaneidade dos processos pode resultar na soma das forças, ou pode agir em contraposição e prejudicar a ventilação dos ambientes. A identificação de ocorrência de uma ou de outra situação depende da análise de cada caso, especificamente. (FROTA E SCHIFFER, 2014, p. 125).

No Recife a direção predominante dos ventos é sudeste, com direções secundárias leste e sul, conforme rosa dos ventos (Figura 21). Esse gráfico mostra estatísticas cujas medições incluem velocidade do vento, direção e frequência.

Figura 21 – Rosa dos ventos para a cidade de Recife-PE.



Fonte: PROJETEEE, 2020.

Na Figura 22, podemos perceber que Recife necessita de ventilação natural em mais de 67% das horas do ano e em mais de 76% das horas de verão. Então essa estratégia deve ser valorizada em projetos e nos processos de avaliações de eficiência energética.

Figura 22 - Percentual da necessidade de ventilação natural.

cidade	necessidade de ventilação natural (% das horas do ANO)	necessidade de ventilação natural (% das horas de VERÃO)
Recife	67,8	76,2
Rio de Janeiro	60,9	78,0
Salvador	57,9	80,6
São Paulo	14,3	45,2

= cidades com grande necessidade de ventilação no ANO TODO
 = cidades com grande necessidade de ventilação no VERÃO

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014.

Um dos aspectos mais importantes para trabalhar o desempenho térmico e o consumo energético da edificação é a escolha dos materiais que irão compor os

sistemas. Para isso é fundamental o conhecimento das propriedades térmicas dos materiais e componentes.

O emprego de materiais com propriedades térmicas adequadas pode representar uma redução significativa das trocas de calor com o ambiente, e conseqüente redução do consumo de energia, com possibilidade de proporcionar um maior conforto térmico para os usuários.

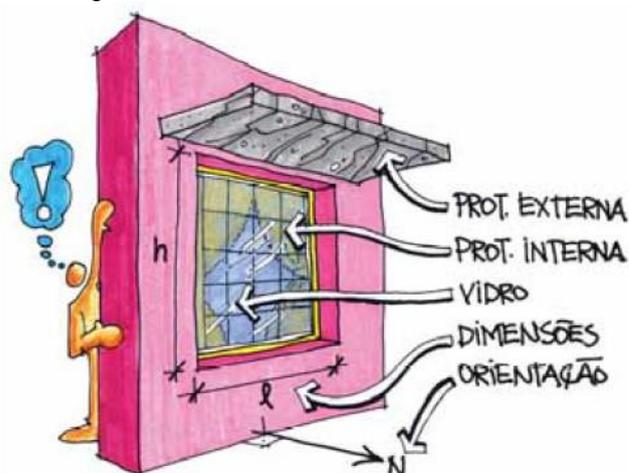
As edificações perdem ou ganham calor por meio das suas vedações externas: as paredes, a cobertura e o piso. O isolamento é uma barreira aos fluxos de calor que entram ou saem de um prédio, e é necessário para se manter o conforto térmico. (Heywood, 2015, p.110).

Givoni (1994, p. 30-33), estudou a cor externa de uma edificação e sua influência sobre o consumo de energia. Vedações refletivas e de cores claras são um recurso de controle solar barato, sem gastos extras ao projeto. A cor de um material também pode incrementar sua temperatura na sua superfície externa quando está exposta ao sol.

Em fechamentos opacos, a transmissão de calor acontece quando há diferença de temperatura entre as superfícies do interior e exterior. O sentido do fluxo de calor será da superfície mais quente para a mais fria. Caso a temperatura do ar externo está mais elevada que a do ar interno, ocorrência frequente no verão, a elevação da temperatura da superfície externa do fechamento induz a um diferencial entre esta e a temperatura da superfície interna, que se traduzirá na troca de calor entre as duas. Uma característica importante dos fechamentos é a inércia térmica. Os fechamentos absorvem calor tanto do exterior, quanto do interior, dependendo de onde o ar tem a maior temperatura.

Em fechamentos transparentes (janelas, claraboias e elementos transparentes) ocorrem as principais trocas térmicas em uma edificação e podem acontecer em três tipos: condução, convecção e radiação. O principal problema é controlar as parcelas transmitidas diretamente, absorvidas e reemitidas para o interior. As principais variáveis de projeto que podem alterar o aporte de calor pela abertura são (Koenigsberger e outros, 1977): a orientação e tamanho das aberturas, tipo de vidro, e uso de proteções solares (Figura 23) (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p. 199).

Figura 23 - Variáveis da abertura.



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014. p.199.

A radiação solar que atravessa a atmosfera, atingindo a superfície terrestre compreende a composição ultravioleta (UV), luz visível (LV) e infravermelho (IV). A parcela de radiação visível representa apenas uma fonte de luz e garante as condições de iluminação natural e o contato entre o meio externo e o interior das edificações. A parcela de infravermelho, representa uma fonte de calor e não pode ser captada pelo olho humano. Cada uma dessas categorias de radiação quando incidem sobre um material translúcido/transparente é absorvida, refletida e transmitida em função das características do componente.

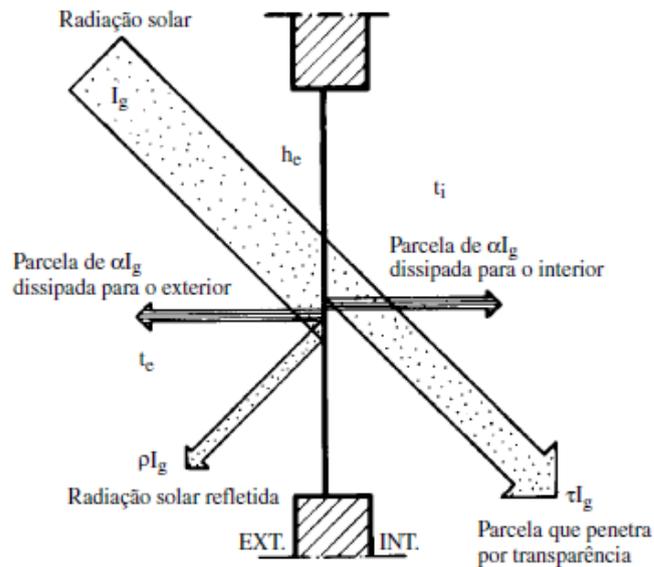
Algumas propriedades óticas são de conhecimentos necessários por parte dos projetistas para a escolha dos materiais que compõem os sistemas de vedação de uma edificação (CORBELLA E CORNER, 2011, p. 49):

- a) absorvância solar (α): fração da radiação incidente que é absorvida pela superfície;
- b) transmitância (τ): fração da radiação incidente que é transmitida por fechamento semitransparente;
- c) refletância solar (ρ): fração da radiação incidente que é refletida pela superfície;
- d) emitância ou emissividade infravermelha (ϵ): relação entre a radiação infravermelha emitida por uma superfície e aquela emitida por um corpo negro com a mesma área e temperatura.

Os vidros têm alta transmitância térmica (U), ou seja, são bons condutores de calor. A radiação solar que incide em um fechamento transparente pode ser

absorvida, refletida ou transmitida para o interior, dependendo da absorvidade(α), refletividade (ρ) e transmissividade (τ) do vidro (Figura 24).

Figura 24 - Vidros e parcelas, absorvida, refletida e transmitida.



Fonte: FROTA E SCHIFFER, 2014, p.43.

Nas edificações que apresentam uso comercial e público, existe uma maior quantidade de usuários e equipamentos nos ambientes e isso aumenta o consumo de energia. É importante priorizar equipamentos mais eficientes e sempre que possível utilizar sistemas passivos, integrando com os artificiais.

Segundo Wassouf (2014, p. 21), o desempenho passivo da edificação se caracteriza por sua demanda de energia para suprir a necessidade de calefação e refrigeração. Essa demanda depende das características passivas de um edifício, como: orientação solar, proteção solar, desempenho das vedações e estanqueidade ao ar.

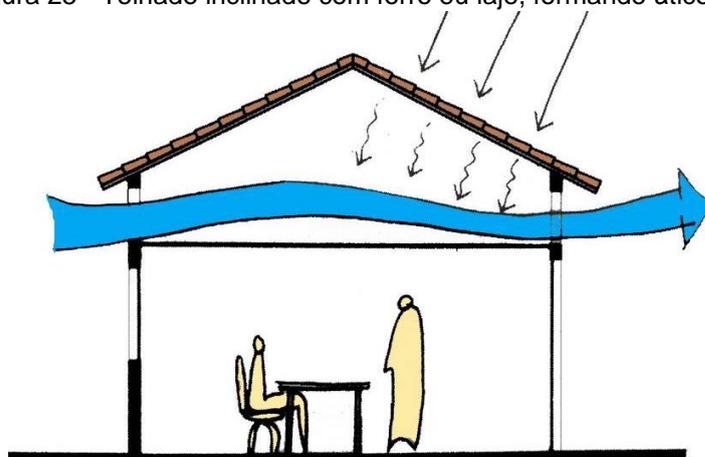
Olgay (1963, p. 86-87), confirma que a cobertura de uma edificação recebe mais radiação solar no verão se comparada a outra superfície, em qualquer latitude.

De acordo com Corbella e Corner (2011, p. 56), a importância do ganho térmico pela cobertura no contexto geral da edificação está subordinada a diferentes características, tais como, número de pavimentos da edificação e sua relação com a implantação. Em construções com poucos pavimentos, onde o partido é geralmente horizontal, com predominância do comprimento em relação à altura, a cobertura é o principal responsável pelo aumento da carga térmica decorrente da energia solar. Ainda segundo os autores, quando há forro ou laje no espaço formado pelo ático,

acumula-se colchão de ar quente cuja energia térmica é transferida para os ambientes internos. É importante ventilar o ático através de aberturas nas laterais ou zenitais (Figura 25).

Segundo Carlo (2008, apud GALAFASSI, 2012, p. 39), edificações com dimensões de plantas maiores e com muitos pavimentos, apresentam os menores consumos de energia elétrica pela área, ao longo do ano; as edificações com as plantas menores e com um pavimento, ou até mais de um pavimento, tem um aumento significativo no consumo de energia elétrica.

Figura 25 - Telhado inclinado com forro ou laje, formando ático ventilado.



Fonte: CORBELLA E CORNER, 2011, p.57.

As questões relacionadas à eficiência energética de uma edificação têm ganhado importância e despertado uma mudança de comportamento na cadeia da construção civil, mas ainda existe um longo caminho a percorrer. Embora exista a preocupação com a eficiência energética por parte dos projetistas, aplicando conceitos passivos nos projetos, muitos construtores preferem economizar na construção, priorizando a redução do custo imediato face à economia a longo prazo. Existe uma estreita relação entre arquitetura, clima e eficiência energética de modo a influenciar o comportamento energético das edificações. O planejamento urbano deve considerar características do clima local, com soluções construtivas que viabilizem conforto térmico e economia de energia elétrica. A aplicação de instrumentos de eficiência energética em edificações proporciona benefícios na qualidade ambiental e na economia do consumo de energia.

No próximo capítulo, será abordada a eficiência energética em edificações e no processo de avaliação do desempenho energético da edificação com base no processo de etiquetagem, de acordo com o regulamento brasileiro.

3 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES

A economia de energia gerada com ações de eficiência energética no setor de edificações traz diversos benefícios para a sociedade, porque diminuem o consumo de energia e garantem um menor índice de emissão de gases do efeito estufa.

O potencial de conservação de energia desse setor é expressivo. A economia pode chegar a 30% para edificações já existentes, se passarem por uma intervenção tipo *retrofit* (reforma e/ou atualização). Nas novas edificações, ao utilizar tecnologias energeticamente eficientes desde a concepção inicial do projeto, a economia pode superar 50% do consumo, se comparada com uma edificação concebida sem o uso dessas tecnologias. (ROMERO et al., 2012, p.69).

Em 1984, o INMETRO iniciou um projeto que contribuiu com a racionalização do uso da energia no Brasil através de informações para os consumidores em relação aos equipamentos e eletrodomésticos que indicavam os maiores índices de eficiência energética. Esse projeto se transformou no Programa Brasileiro de Etiquetagem-PBE, atuando principalmente na área de produtos consumidores de energia elétrica. Esses programas de etiquetagem iniciaram de forma voluntária.

Com a lei nº 10.295, publicada em 17 de outubro de 2001, que dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, também conhecida como Lei de Eficiência Energética, o INMETRO passou a estabelecer programas de avaliação da conformidade compulsórios na área de eficiência energética:

Os fabricantes e os importadores de máquinas e aparelhos consumidores de energia são obrigados a adotar as medidas necessárias para que sejam obedecidos os níveis máximos de consumo de energia e mínimos de eficiência energética, constantes da regulamentação específica estabelecida para cada tipo de máquina e aparelho. (BRASIL, 2001, Art.3)

Através de uma parceria do INMETRO com a Eletrobrás, pelo Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica-Procel, foram originados dois subprogramas importantes: o primeiro é o selo Procel Eletrobras, criado em 1993 para indicar produtos que apresentam os melhores níveis de eficiência energética dentro de cada categoria; o segundo é o Procel Edifica, criado em 2003, voltado para a área de edificações para incentivar a conservação e o uso eficiente dos recursos naturais nas edificações.

As máquinas, aparelhos e as edificações passaram a receber a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia-ENCE que é o selo que atesta o atendimento a requisitos de desempenho estabelecidos em normas e regulamentos técnicos, com objetivo de apresentar informações sobre eficiência energética.

Após a parceria, a Eletrobrás e o INMETRO passaram a desenvolver programas de etiquetagem de edificações. O INMETRO passou a ser responsável pela fiscalização e pelo acompanhamento dos programas de avaliação da conformidade das máquinas, aparelhos consumidores de energia e edificações regulamentados.

Em 2009, desenvolveu-se os Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos-RTQ-C, que contém os quesitos necessários para classificação do nível de eficiência energética das edificações comerciais, residenciais e públicas. É o regulamento que permite ao edifício obter a ENCE do INMETRO que passou a se chamar PBE Edifica, junção do PBE e do Procel Edifica. É uma etiqueta de conservação de energia para edificações regulamentado e fiscalizado pelo Inmetro, que informa a eficiência energética de edificações, utilizando uma escala que vai de A (mais eficiente) a E (menos eficiente). A primeira versão do RTQ-C foi lançada em fevereiro de 2009. Atualmente, encontra-se em vigor (ELETROBRÁS; INMETRO, 2014, p.23).

A proposta de regulamentação foi elaborada pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações-LABeee, do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Santa Catarina, em convênio formado com a Eletrobrás.

De acordo com Romero et al. (2012, p. 98), com a regulamentação para etiquetagem de nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos, o Brasil passou a fazer parte dos países com grande geração e consumo de energia que possuem regulamentos para disciplinar os consumos de energia nos edifícios.

Para obtenção da ENCE nível A, deve-se atender aos requisitos mínimos descritos pelo RTQ-C.

Além do RTQ-C, existe um manual que visa facilitar a aplicação do RTQ-C, com última versão publicada em junho de 2016 (Figura 26).

Figura 26 - RTQ-C e manual do RTQ-C.



Fonte: PROCEL INFO, 2017.

A análise é realizada em três sistemas individuais: envoltória, sistema de iluminação e sistema de condicionamento de ar. Cada sistema corresponde a uma porcentagem na classificação final da edificação: envoltória 30%, sistema de iluminação 30% e sistema de condicionamento de ar 40% (Figura 27). A edificação ainda pode receber bonificações no cálculo da pontuação final, baseada em iniciativas tomadas para melhor desempenho da edificação, como por exemplo a inclusão de energia solar.

Figura 27 - Sistemas para etiquetagem do RTQ-C.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2015a, p.27.

Existem duas etapas no processo de etiquetagem, a emissão da etiqueta de projeto e a etiqueta da edificação construída. A inspeção de projeto pode ser feita segundo duas técnicas, denominadas “método prescritivo” e “método da simulação termo energética”.

A edificação pode receber uma etiqueta geral, quando os três sistemas são avaliados, ou parcial, quando somente a envoltória é avaliada ou é avaliada de forma combinada com um dos outros dois sistemas, de modo que a avaliação da envoltória seja obrigatória. Na figura 28, pode ser visto um exemplo da etiqueta apenas da envoltória, do restaurante universitário, no campus universitário Reitor João David Ferreira Lima, em Florianópolis-SC, que recebeu nível A.

Figura 28 - Etiqueta da envoltória para um restaurante universitário.

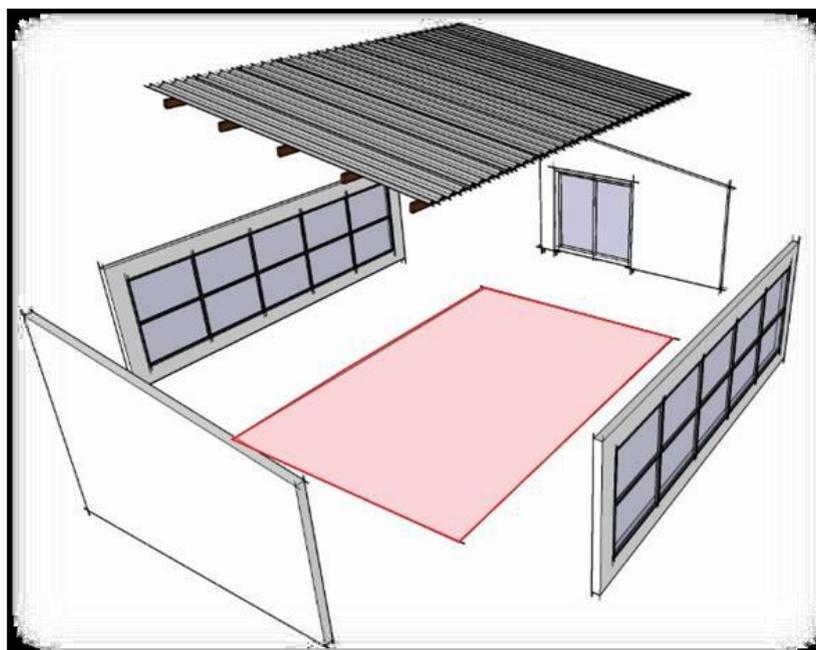


Fonte: <http://pbeedifica.com.br/edificacoes-etiquetadas>, 2020.

O sistema envoltório trata da parte construtiva externa à edificação, acima do nível do nível do solo, definindo as paredes e cobertura, conforme figura 29. São avaliados na envoltória as características dos materiais utilizados e sua localização na fachada. Dentre as características avaliadas estão: transmitância térmica; cores e absorvância de superfícies; iluminação zenital; percentual de abertura na fachada; ângulos de sombreamento e ventilação natural. Algumas destas características

estão ligadas à zona bioclimática em que a edificação está inserida. (ELETROBRÁS; INMETRO, 2014, p.27)

Figura 29 - Partes da edificação que compõem a envoltória.



Fonte: ELETROBRÁS; INMETRO, 2015, p.38.

A característica dos materiais e das cores escolhidos para a envoltória tem impacto direto no ganho térmico da edificação.

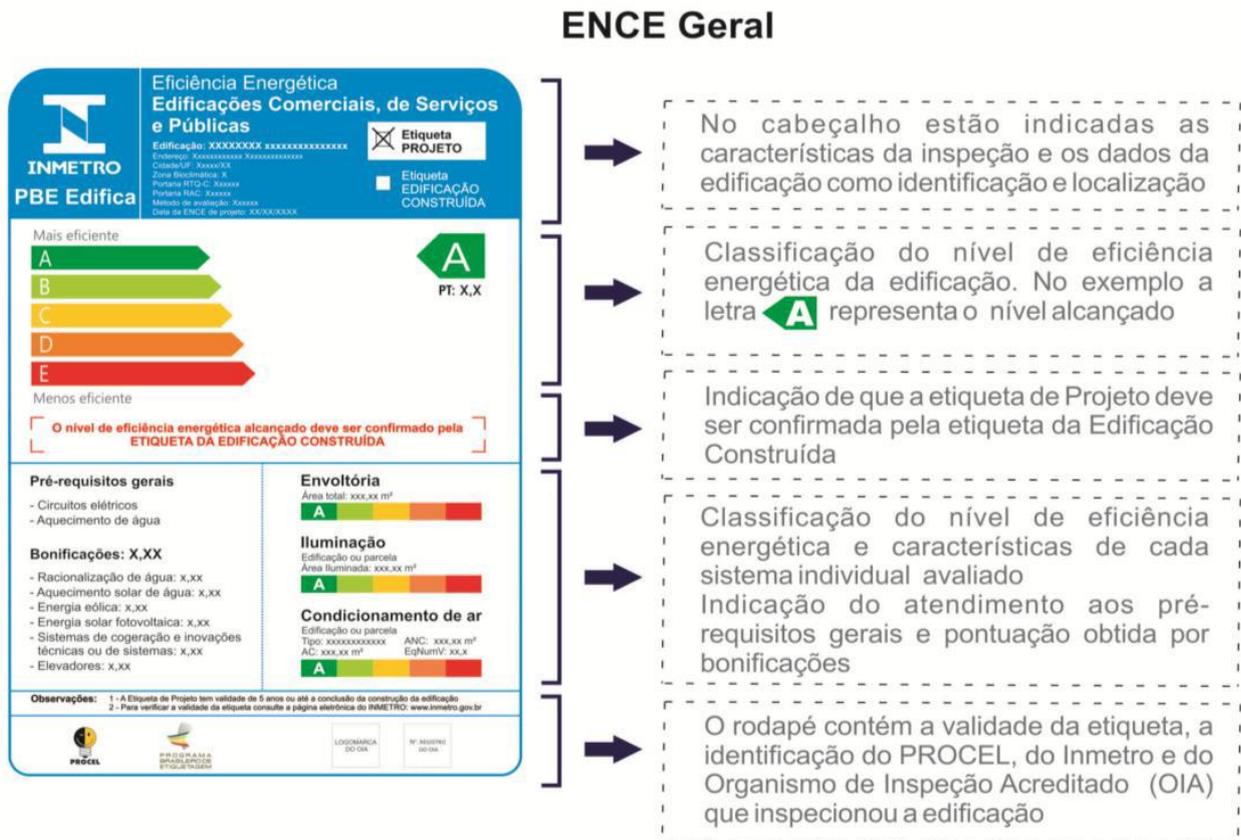
De acordo com Heywood (2015, p. 170), uma parede ou cobertura negra absorverá 20 vezes mais energia solar se comparada com uma parede branca. No verão uma superfície que reflete calor é desejável nos climas quentes. A cobertura de um prédio receberá mais radiação no verão do que qualquer outra superfície, em qualquer latitude, e uma cobertura branca geralmente se manterá a uma temperatura inferior à do ar.

A etiqueta mostrada na figura 30 é um exemplo de uma ENCE Geral PBE Edifica avaliada pela técnica “método prescritivo” do RTQ-C em edificações comerciais, de serviços e públicas. Este modelo de etiqueta é o que está vigente, no Brasil.

A técnica do RTQ-C que será utilizada neste trabalho para a avaliação da envoltória, será o “método prescritivo”, que avalia os sistemas através de parâmetros pré-definidos e que necessitam de cálculo para a avaliação. Estes cálculos são realizados através de equações e tabelas que estabelecem parâmetros de acordo

com a classe de eficiência energética. Este procedimento será detalhado no próximo subcapítulo.

Figura 30 - Modelo da Etiqueta PBE Edifica, do RTQ-C.



Fonte: ELETROBRÁS; INMETRO, 2014, p.30.

Os parâmetros utilizados pelo RTQ-C não fazem parte daqueles que são utilizados na rotina de desenvolvimento de projetos de arquitetura, presentes nas legislações urbanísticas, como afastamentos, gabaritos e taxa de solo natural. Conceitos como absorvância, refletância, fator de forma, fator solar e percentual de abertura de fachada, utilizados no regulamento, são desconhecidos ou não utilizados por muitos projetistas.

O RTQ-C pode auxiliar o arquiteto na avaliação da eficiência energética de seu projeto, melhorando o desempenho energético da edificação, mas o regulamento apresenta uma séria de limitações.

Galafassi e Pereira (2013, p. 09-10) apresentam uma série de críticas ao RTQ-C:

a) O regulamento apresenta limitações para avaliar volumetrias complexas através do “método prescritivo”. O RTQ-C valoriza um fator de forma mais compacto, que reduz as áreas de troca de calor, mas que não estimula o uso de estratégias bioclimáticas;

b) Os vidros de alto desempenho não são avaliados de maneira adequada e a interpretação do fator solar deixa claro que, quanto menos aberturas, ou quanto menores elas forem, mais fácil se torna alcançar uma avaliação melhor de eficiência energética. Isso pode prejudicar bastante, por exemplo, uma edificação localizada no clima quente e úmido, onde as grandes aberturas são essenciais para promover a estratégia da ventilação natural.

c) As variáveis de transmitância térmica e absorptância solar, tratadas como pré-requisitos para a envoltória e relacionadas entre si através do fator solar de elementos opacos (FS_o), não estão correlacionadas no RTQ-C. O regulamento não considera o FS_o, tratando transmitância e absorptância separadamente;

d) O valor de absorptância solar, fixado como limite pelo RTQ-C no valor de 0,5, induz para a utilização de cores claras, as quais possuem absorptância com valores entre 0,2 e 0,5, definindo então padrões estéticos; e,

e) Os ângulos verticais e horizontais de sombreamento são considerados na avaliação da envoltória, mas a orientação solar das fachadas com os elementos de obstrução solar, não é considerada, o que pode facilmente mascarar as condições de ganho de calor solar tornando-os parâmetros que não representam adequadamente o ganho de calor solar através das aberturas.

Ainda segundo os autores, mesmo sendo parte de um conjunto e avaliados em uma mesma equação, o RTQ-C não faz uma integração satisfatória entre os três sistemas: envoltória, iluminação e condicionamento de ar. Os sistemas são vistos de maneira independente. O arquiteto tem autonomia sobre o desenho da envoltória, mas de certa forma, não tem a mesma influência sobre o projeto dos sistemas de iluminação e condicionamento de ar. A envoltória, uma vez desenvolvida a partir do referencial da redução da carga térmica, deveria impactar no projeto do sistema de condicionamento de ar e de iluminação artificial.

Versage (2015, p. 18), também faz críticas ao RTQ-C: na avaliação da envoltória, os modelos do sistema de etiquetagem brasileiro apresentam limitações para representar áreas envidraçadas e proteções solares por orientação solar e não responde bem à aplicação de vidros de controle solar; buscando representar a

edificação completa, os modelos impossibilitam a avaliação de edificações com volumetrias complexas; por avaliar consumo de energia, o modelo foi elaborado com um tipo de sistema de condicionamento de ar. Por isso não permite a avaliação de sistemas de diferentes eficiências.

Os princípios do RTQ-C auxiliam na concepção de edifícios com melhor desempenho, mas este regulamento apresenta uma série de limitações. Os aspectos observados por Galafassi, Pereira e Versage puderam ser comprovados nesta pesquisa, na avaliação do desempenho da envoltória da edificação objeto de estudo. Esta análise será apresentada no capítulo seguinte.

Passados dez anos do lançamento do RTQ-C, onde foram produzidas várias pesquisas, análises, e experimentações deste regulamento, por parte de técnicos, profissionais e comunidade científica, foi elaborada uma proposta de aperfeiçoamento deste regulamento, desenvolvida pelo programa Procel Edifica da Eletrobrás em parceria com a Universidade Federal de Santa Catarina-UFSC, com o propósito de corrigir as limitações relacionadas à técnica “método prescritivo” do RTQ-C.

Em 2018, foi apresentada pela Portaria INMETRO nº 248/2018, a Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas-INI-C, que visa aperfeiçoar e substituir o RTQ-C.

A INI-C, estabelece os requisitos técnicos e os critérios para classificação de edificações comerciais, de serviços e públicas quanto à sua eficiência energética, visando à etiquetagem de edificações, que são aplicados a edifícios condicionados, parcialmente condicionados e não condicionados.

A instrução baseia-se no Consumo de Energia Primária (CEP) e compara as características da edificação real a ser avaliada, com a mesma edificação com condições de referência que equivalem à classe energética D. Eles resultam em consumos de energia elétrica ou energia térmica, buscando aproximação com o consumo real da edificação analisada. As fontes de energia existentes são convertidas para energia primária para serem somadas e avaliadas em conjunto. A proposta considera, ainda, o consumo estimado de equipamentos, a geração local de energia renovável, o uso racional de água e as emissões de dióxido de carbono. Estes dois últimos de caráter informativo. Os sistemas avaliados são: envoltória, condicionamento de ar, iluminação e aquecimento de água (CB3E, 2017).

A energia elétrica que está disponível para o consumidor nas suas residências é chamada de energia final. Essa energia vem das usinas de geração, que fazem a transformação de formas de energia disponíveis na natureza em energia elétrica. Entre essas formas, podemos encontrar o vento, a água e o gás natural. Todas elas são conhecidas como energia primária, onde ainda não foi submetida a qualquer processo de conversão e podem ser provenientes de fontes renováveis ou não renováveis.

Na INI-C, o consumo energético dos sistemas da edificação pode ser avaliado por duas técnicas, o “método simplificado” e o “método de simulação” (Quadro 2).

A avaliação da envoltória é resultado do valor de carga térmica anual para resfriamento, utilizado para o cálculo do consumo energético do sistema de condicionamento de ar.

Quadro 2 - Métodos de avaliação para a envoltória.

Envoltória		
Edificações condicionadas	Edificações naturalmente ventiladas	Edificações naturalmente iluminadas
Método Simplificado	Método Simplificado	-
Método de Simulação	Método de Simulação	Método de Simulação

Fonte: INI-C, 2018.

A técnica “método simplificado” abrange grande parte das soluções arquitetônicas mais difundidas no mercado, porém a avaliação da envoltória da edificação por essa técnica, deve respeitar os limites de aplicação descritos na instrução, para edificações condicionadas artificialmente ou parcelas da edificação condicionadas artificialmente. Deve atender apenas às edificações que tenham os seus parâmetros construtivos compreendidos entre os intervalos utilizados na proposição da técnica. Para aplicar o método simplificado, por exemplo, a medida do pé-direito da edificação deve compreender valores variando de 2,60 a 6,60m e a absorvância solar de coberturas e paredes deve apresentar valores variando de 0,2 a 0,8. Todos esses parâmetros podem ser verificados no quadro 3 (INI-C, 2018).

Para edificações com formas complexas, que possuam aberturas zenitais, dispositivos de sombreamentos móveis, ambientes de elevada geração de carga interna, vidros com comportamento dinâmico, a exemplo dos eletrocromáticos ou

soluções de desempenho inovadoras, a INI-C recomenda utilizar o método de simulação.

Quadro 3 - Limites dos parâmetros de materiais e vedações da edificação atendidos pelo Método Simplificado.

Parâmetros	Limites	
	Valor mínimo	Valor máximo
Absortância solar da cobertura (α)	0,2	0,8
Absortância solar da parede (α)	0,2	0,8
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0°	80°
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0°	80°
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0°	90°
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22 kJ/m ² K	450 kJ/m ² K
Contato com o solo	Sem contato (Em contato
Densidade de Potência de equipamentos (DPE)	4 W/m ²	40 W/m ²
Densidade de Potência de iluminação (DPI)	4 W/m ²	40 W/m ²
Fator solar do vidro (FS)	0,21	0,87
Percentual de abertura zenital	0%	3%
Pé-direito (PD)	2,6 m	6,6 m
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0%	80%
Piso com isolamento	Não, se isolamento < 5 mm	Sim, se isolamento > 5 mm
Transmitância térmica da cobertura (Ucob)	0,51 W/m ² K	5,07 W/m ² K
Transmitância térmica da parede externa (Upar)	0,50 W/m ² K	4,40 W/m ² K
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 W/m ²	5,7 W/m ²

Fonte: INI-C, 2018.

Neste trabalho, a técnica da INI-C utilizada para a avaliação da eficiência energética da envoltória será a chamada “método simplificado”, pois além dos parâmetros da edificação objeto de estudo atenderem aos requisitos de aplicação da técnica, como será demonstrado no capítulo seguinte, pretende-se comparar com a técnica chamada método “prescritivo” do RTQ-C. Nesta pesquisa, serão avaliados os ambientes condicionados artificialmente, excluindo circulações e banheiros

Pela INI-C, a eficiência energética das edificações deve ser avaliada por meio do seu desempenho quanto ao consumo de energia primária, o CEP, resultado da soma das energias elétrica e térmica - transformadas a partir de seus fatores de

conversão (Quadro 4) - assim como pelo seu potencial de geração local de energia renovável. Para a edificação objeto de estudo, só existe a energia elétrica como fonte de energia primária.

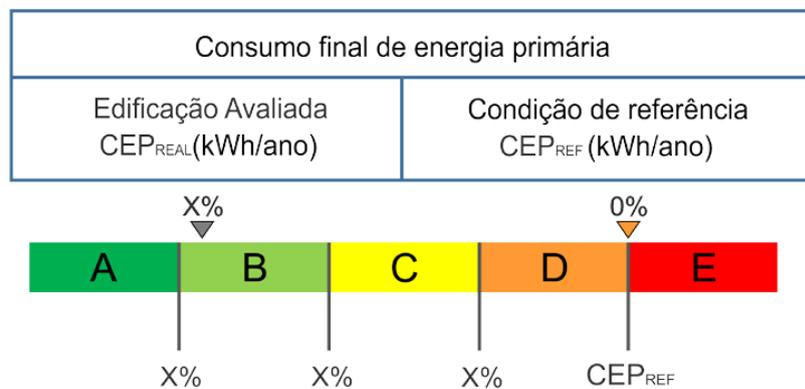
Quadro 4 - Fatores de conversão de energia elétrica e térmica em energia primária.

Fonte de energia	Fator de conversão	
Energia elétrica	fcE	1,6
Energia térmica - Gás Natural (GN)	fcT	1,1
Energia térmica – Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	fcT	1,1

Fonte: INI-C, 2018.

O consumo de energia primária da edificação avaliada, o CEP, deve ser comparado com o consumo de energia primária da edificação de referência, o CEP_R. A classe de eficiência é definida de acordo com o percentual de economia quando os dois consumos são comparados (Figura 31).

Figura 31 - Escala para a determinação da classe de eficiência da edificação avaliada.



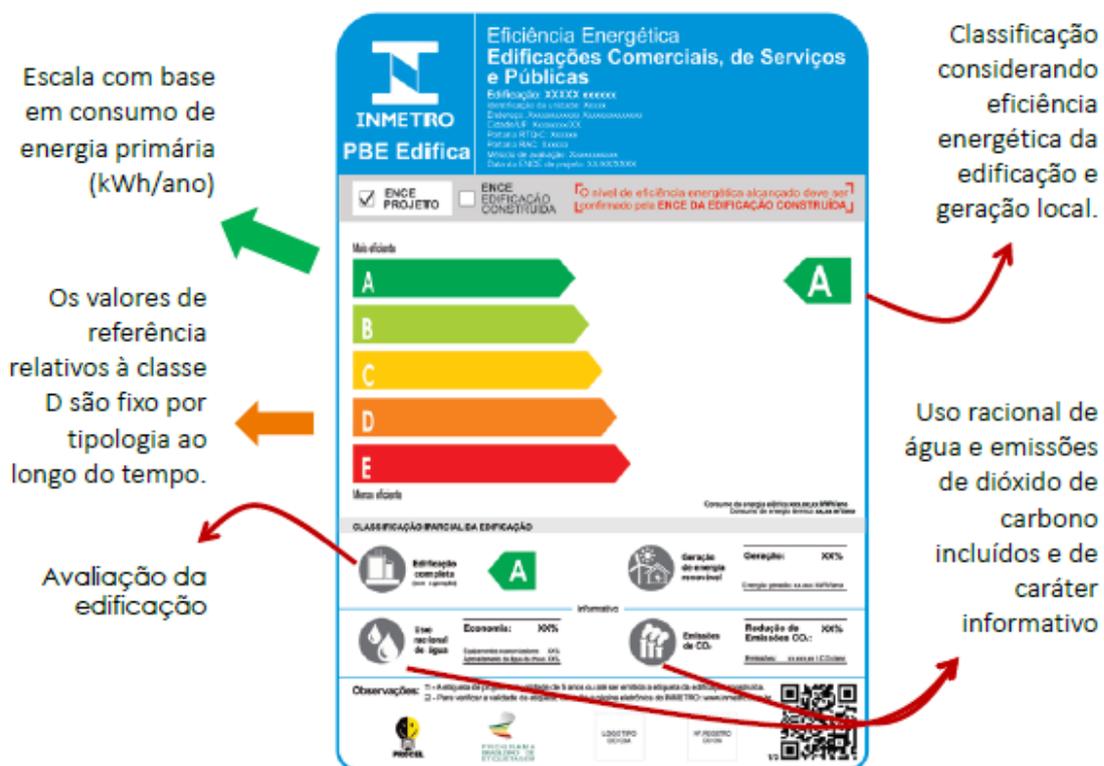
Fonte: INI-C, 2018.

Assim como no RTQ-C, a ENCE pode ser obtida para a edificação, onde todos os sistemas serão avaliados, para combinações entre os sistemas ou somente para a envoltória da edificação, que é o caso do objeto de estudo desta pesquisa. A INI-C apresenta um novo modelo de etiqueta (Figura 32).

Neste estudo, não foi considerado o uso de ventilação natural nas análises, pois a maior parte dos ambientes foi projetada para funcionar com sistema de climatização artificial, então foram analisados apenas os ambientes climatizados, os quais consomem muita energia derivada deste sistema.

Edificações totalmente ventiladas naturalmente, ou que funcionam a partir da combinação entre a ventilação natural e unidades condicionadoras de ar sempre que o uso da ventilação natural não é suficientemente aceitável para garantir as condições de conforto (sistemas híbridos), ou ainda edificações com ambientes climatizados e outros ventilados naturalmente, devem ser analisadas pelo método simplificado a partir da estimativa do percentual de horas ocupadas em conforto térmico atendidas durante o uso da ventilação natural (INMETRO,2018).

Figura 32 - Proposta de novo modelo de etiqueta, pelo INI-C



Fonte: CB3E, 2020.

Em relação à INI-C, os estudos e pesquisas ainda são recentes, por se tratar de um regulamento que foi publicado no ano de 2018. A quantidade de dados e resultados de pesquisadores e da comunidade acadêmica ainda são muito pequenos, para que se obtenha um diagnóstico preciso da eficácia da técnica proposta.

Leite e Hackenberg (2020) avaliaram a envoltória de uma edificação de uso público na cidade de Joinville/SC e aplicaram as técnicas do prescritivo do RTQ-C e do simplificado da INI-C e concluíram que as duas técnicas possuem diversas

semelhanças em relação aos parâmetros necessários para o processo de avaliação, apesar disso o grau de complexidade da INI-C mostrou-se maior, pois necessita de mais tempo de dedicação. Os resultados de classificação foram diferentes: nível C pelo RTQ-C e nível B pela INI-C. A justificativa da divergência pode ser explicada pelo maior detalhamento de informações necessárias para a avaliação utilizada pela segunda técnica, como a inserção de parâmetros relativos à Densidade de Potência Instalada (DPI) e Densidade de Potência de Equipamentos (DPE).

Ainda segundo as autoras, a INI-C demonstrou ser um instrumento de melhoria para a aplicação da certificação, com a inserção de mais informações e parâmetros de entrada para avaliação, além da maior complexidade do modelo. Seus resultados foram apontados como mais palpáveis, já que representam a carga térmica da edificação e que pode ser relacionada ao consumo de energia para refrigeração dos ambientes.

De acordo com Montanari (2018, p. 144), a fim de estimular o uso de diferentes soluções, as propriedades térmicas de elementos de envoltória deveriam estar presentes no “método simplificado” da INI-C, pois facilitaria o acesso aos dados, que não se encontram disponíveis em fontes de livre acesso. A autora aponta que os dados que foram inclusos na nova versão do PBE Edifica - emissões de CO₂ e o uso racional da água - demonstram preocupação com a sustentabilidade e não somente com o consumo energético, mesmo que esses dados sejam apenas de caráter informativo.

Entre as edificações comerciais, de serviços e públicas contabilizadas pelo programa PBE Edifica, até o final do mês de setembro de 2020, foram avaliadas 174 e emitidas 257 etiquetas, sendo 159 de projeto e 98 de edificação construída (PBE Edifica, 2020). São exemplos de edificações comerciais que receberam etiquetada PBE Edifica: A Arena Pernambuco em 2014, o Centro de Comando e Controle Fixo do 34º BIMEC-Exército Brasileiro em 2017, o Destacamento de Controle do Espaço Aéreo -DTCEA/TWR de Recife em 2019 e o Centro de Controle APP Sudeste-São Paulo em 2021.

O selo Procel é conhecido pelos brasileiros desde 1993. Os hábitos dos consumidores mudaram em relação ao racionamento de energia. Passaram a adquirir equipamentos que consomem menos energia e maior eficiência, devido ao crescimento da renda das famílias e incentivos tributários para a aquisição de

eletrodomésticos, na primeira década dos anos 2000. A consciência ambiental dos brasileiros também cresceu nas últimas décadas.

Os incorporadores, construtores e diversos atores do mercado imobiliário conhecem as etiquetas, mas elas são de caráter voluntário para a maioria dos edifícios. A etiquetagem de edifícios apresenta um custo na fase de projeto e na fase de conclusão da obra, que não é desejado por muitos desses atores. Uma edificação com etiqueta pode promover aumento nas vendas, melhoria na imagem da marca perante o mercado, sendo reconhecida como uma marca inovadora que se preocupa com medidas sustentáveis, causando menor impacto ao meio ambiente.

Scalco et al. (2014) indicam que, para a absorção da etiquetagem pelo mercado, são necessárias ações capazes de mensurar os benefícios alcançados a partir de um alto nível de classificação em relação à eficiência energética. Um estudo desenvolvido pelos autores simulou modelos de referência, utilizando o programa S3E, desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética de Edificações (LABEEE) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), e identificou, entre outros aspectos, a gradual economia no consumo de energia em todos os níveis de eficiência propostos pelo RTQ-C até alcançarem o nível "A".

Caldeira (2011, p. 97) afirmou que a etiquetagem de eficiência energética de edifícios promoverá impactos econômicos, tecnológicos, sociais e ambientais, refletindo-se na cadeia produtiva da construção civil e na gestão e planejamento das cidades sustentáveis.

Ainda é necessário aumentar a contribuição da eficiência energética nos processos de produção de projetos de edificações. Existem barreiras que impedem o avanço dos benefícios da eficiência energética. Muitas tecnologias ainda têm custo elevado e faltam investimentos em pesquisas. A promoção de programas de eficiência energética depende de decisões políticas. A falta de informação da população em relação aos benefícios provenientes dos programas de conservação de energia ainda é grande. Mais pesquisas devem ser realizadas nesta área para que os regulamentos sejam aperfeiçoados. As escolas de arquitetura devem promover programas de incentivo às pesquisas. Os arquitetos e profissionais da área de projetos devem utilizar estes parâmetros dos regulamentos, para aumentar a produção de edificações mais comprometidas com o meio ambiente.

3.1 ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA COM BASE NA TÉCNICA “MÉTODO PRESCRITIVO” DO RTQ-C

Para avaliar a envoltória e calcular o nível de eficiência energética, é necessário cumprir algumas etapas. Para verificar o nível de eficiência da envoltória são necessários, segundo o RTQ-C, os cálculos de transmitância térmica (U), cores e absorvância de superfícies (α), fator altura (FA), fator de forma (FF), percentual de área de abertura na fachada (PAF) e ângulos de sombreamento (AVS e AHS), onde seus procedimentos serão demonstrados a seguir:

a) Transmitância térmica (U): transmissão de calor dos componentes opacos das fachadas e coberturas, incluindo as resistências superficiais interna e externa, induzida pela diferença de temperatura entre dois ambientes e calculada utilizando o método de cálculo da NBR 15220-2/2005. A unidade é o W/m^2K .

Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 215), a transmitância térmica é a variável mais importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos.

Para que as envoltórias de edificações que estejam localizadas na ZB 8 possam atingir o maior nível de eficiência de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo RTQ-C, a transmitância da cobertura não deve ultrapassar os limites de $1,00 W/m^2K$, para ambientes condicionados artificialmente, e $2,00 W/m^2K$, para ambientes não condicionados. Para as paredes externas estes limites são $2,5 W/m^2K$, para paredes com capacidade térmica máxima de $80 kJ/m^2K$, e $3,7 W/m^2K$, para paredes com capacidade térmica superior a $80 W/m^2K$.

De acordo com a NBR 15.220-3/2005, paredes externas e coberturas leves refletoras são os componentes construtivos mais indicados para a ZB 8.

Calcula-se a transmitância térmica através da fórmula $U=1/Rt$, onde: U =transmitância térmica (W/m^2K) e Rt -Resistência total (m^2K/W). A figura 33 mostra o valor da transmitância para alguns fechamentos.

Figura 33 - Transmitância térmica para alguns fechamentos.

Elemento	Tipo	U ($W/m^2 K$)
Paredes	Tijolo. 6 furos esp. 12,5cm	2,39
	Tijolo. 6 furos esp. 17cm (deitado)	2,08
	Tijolo. 8 furos rebocado 12,5cm	2,49
	Tijolo. 4 furos rebocado 12,5cm	2,59
	Tijolo. maciço aparente 9cm	4,04
	Tijolo maciço rebocado 12cm	3,57
	Tijolo maciço rebocado 26cm	2,45

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.217.

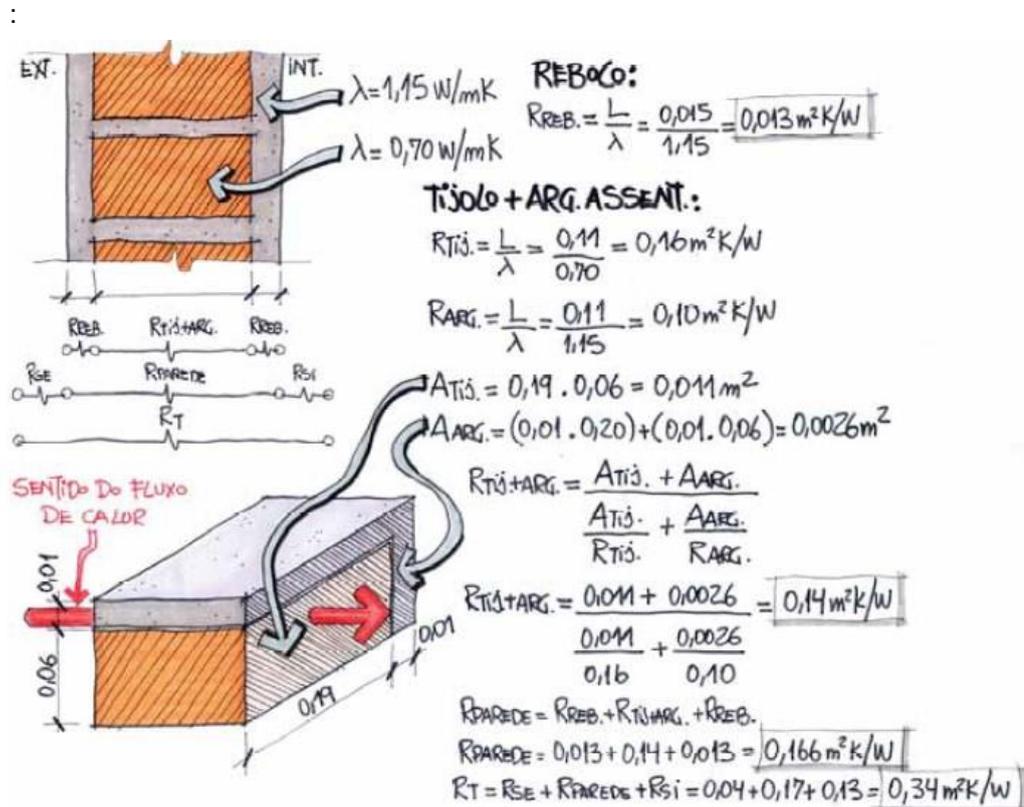
Para o cálculo da transmitância térmica, é necessário identificar a resistência térmica. A resistência térmica (R), é a propriedade do material em resistir à passagem do calor. Quanto maior a condutividade térmica (λ), menor será a resistência térmica.

A resistência térmica de materiais homogêneo é dada pela equação $R=L/\lambda$, onde: R=resistência térmica do material (m^2K/W), L=espessura do material (m) e λ =condutividade térmica do material (W/mK).

A resistência térmica de materiais heterogêneos é calculada pela soma das resistências térmicas de cada elemento componente desse material: $R_t=A_a + A_b + A_c/(A_a/R_a) + (A_b/R_b) + (A_c/R_c)$, onde: A_a, A_b, \dots, A_n =área do elemento transversal ao sentido do fluxo de calor(m^2) e R_a, R_b, \dots, R_n =resistência térmica do elemento (m^2K/W).

Na figura 34, vemos o exemplo do cálculo da resistência térmica de uma parede de tijolo maciço rebocada. Esse procedimento será utilizado no cálculo das paredes da envoltória da edificação objeto de estudo da pesquisa.

Figura 34 – Cálculo da resistência térmica de uma parede de tijolo maciço rebocada.



b) Cores e absorvância de superfícies (α): absorvância solar é uma propriedade do material referente à parcela da radiação absorvida pelo mesmo, geralmente relacionada à cor, além de composição, textura e propriedades dos materiais.

Segundo Roriz e Dornelles (2005, p.1649) em países tropicais, a radiação solar é responsável por importante parcela da carga térmica dos edifícios. O fator que exerce maior influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória é a absorvância solar, definida como a razão entre a energia solar absorvida pela superfície e o total da energia solar incidente.

Para que as envoltórias de edificações que estejam localizadas na ZB 8 possam atingir o maior nível de eficiência de acordo com os parâmetros estabelecidos pelo RTQ-C, o valor da absorvância deve ser no máximo 0,50 para os materiais de revestimento externo das paredes e coberturas. A cor é utilizada como indicação da absorvância quando não há possibilidade de medição. As cores com tonalidades claras têm absorvâncias mais baixas e são as mais indicadas para a ZB 8.

De acordo com a NBR 15.220-3/2005, paredes externas e coberturas refletoras são os componentes construtivos mais indicados para a ZB 8, ou seja, com cores claras, pois refletem mais a radiação solar.

c) Fator Altura (FA): razão entre a área de projeção da cobertura e a área total construída (A_{pcob} / A_{tot}), com exceção dos solos.

d) Fator de Forma (FF): razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação (A_{env} / V_{tot}).

e) Percentual de área de Abertura na Fachada (PAF): calculado pela razão entre a soma das áreas de abertura envidraçada, ou com fechamento transparente ou translúcido, da fachada e a área da fachada. A unidade é %.

De acordo com a NBR 15.220-3/2005, aberturas grandes com áreas maiores que 40% da área do piso dos ambientes, são as mais indicadas para a ZB 8.

Galafassi (2012, p. 86) relata que questões relacionadas respectivamente ao Fator de Forma, ao Percentual de Abertura na Fachada e ao Fator Altura, incorporam conceitos de conforto e bioclimatologia decisivos para que se obtenha uma edificação mais eficiente energeticamente, pensadas desde o início do processo projetual.

f) Ângulos de sombreamento (AVS e AHS): são ângulos que determinam a obstrução à radiação solar gerada pela proteção solar nas aberturas. São usados

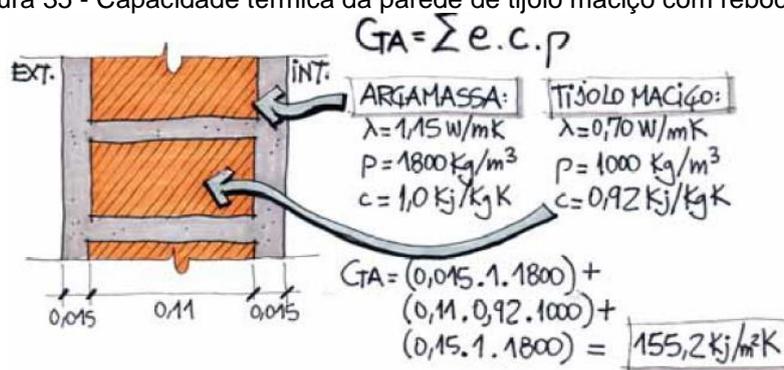
dois ângulos: ângulo vertical de sombreamento (AVS), referente a proteções horizontais e ângulo horizontal de sombreamento (AHS), referente a proteções verticais.

Entre as diretrizes construtivas apontadas pela NBR 15220-3/2005 para a ZB 8, está o sombreamento das aberturas, mas a norma não aborda nenhum parâmetro para dimensionamento.

Carlo e Lamberts (2010, p.23) citam que as proteções solares não são diferenciadas por fachadas nas equações no RTQ-C, assim como a orientação do edifício. Devem-se calcular ângulos apropriados para cada janela e orientação, e depois ponderá-lo para um valor de AVS e AHS final atribuído para toda a edificação. Seria atribuição do projetista planejar máscaras de sombra e outros recursos no projeto das proteções. Brises e outros tipos de proteções mais complexos não têm participação complementar na avaliação pelo “método prescritivo” do RTQ-C, mas podem ser avaliados pelo método da simulação.

g) Capacidade Térmica (CT): é a relação entre a quantidade de calor recebida por um corpo e a variação de sua temperatura. Indica a capacidade de um material construtivo em reter calor. A figura 35 mostra um exemplo de cálculo de capacidade térmica de uma parede de tijolo maciço com reboco, obtido através da equação $CT = \sum e_i \cdot c_i \cdot \rho_i = (e \cdot c \cdot \rho)_1 + (e \cdot c \cdot \rho)_2 + \dots + (e \cdot c \cdot \rho)_n$ onde: e =espessura do elemento (no sentido transversal ao fluxo de calor) (m), c =calor específico do elemento (kJ/kgK), ρ =densidade do elemento (Kg/m³) e n =número de camadas de elementos. Esse cálculo também será efetuado nesta pesquisa, tanto para a parede quanto para a cobertura. A unidade é o kJ/m²K.

Figura 35 - Capacidade térmica da parede de tijolo maciço com reboco.



Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.221.

h) Fator Solar (FS): é um outro item exigido pelo RTQ-C. É o índice de energia solar que incide no vidro, ou seja, quantidade de calor que é transferida para

um ambiente através de uma janela. Um vidro simples com fator solar de 0,85 significa que 85% da radiação solar que incide, penetra o ambiente. A figura 36 mostra valores para diferentes tipos e espessuras de vidros.

Figura 36 - Valores de fator solar (FS) para diferentes tipos de vidros.

Superfícies Separadoras		F_s	Referência	
Vidros	Transparente (simples)	3 mm	0,87	ASHRAE (1993)
		6 mm	0,83	ASHRAE (1993)
	Transparente (duplo)	3 mm	0,75	Pereira e Sharples (1991)
		Cinza (fumê)	3 mm	0,72
	6 mm		0,60	ASHRAE (1993)
	Verde	3 mm	0,72	Windows and Daylighting Group (1992)
		6 mm	0,60	Windows and Daylighting Group (1992)

Fonte: LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014, p.223.

O edifício precisa cumprir **pré-requisitos gerais** mínimos para obtenção dos níveis A e B de eficiência. A edificação deve possuir circuito elétrico separado por uso final: iluminação, sistema de condicionamento de ar, e outros; ou possuir instalado equipamento que possibilite medição por uso final;

O edifício também precisa cumprir **pré-requisitos específicos**, considerando a envoltória da edificação, localizada na ZB 8:

a) Para transmitância térmica de cobertura, verificar valores contidos figura 37 e para transmitância de paredes, figura 38, destacados na cor amarelo.

Figura 37 – Pré-requisito para transmitância térmica da cobertura, segundo o RTQ-C.

Zonas Bioclimáticas	$U_{COB} A (W/m^2K)$		$U_{COB} B (W/m^2K)$		$U_{COB} C e D (W/m^2K)$	
	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados	Ambientes Condicionados	Ambientes não condicionados
ZB 1 e 2	0,5	1,0	1,0	1,5	2,0	
ZB 3 a 8	1,0	2,0	1,5	2,0		

Fonte: PROCEL, 2016, p.189.

Figura 38 - Pré-requisito para transmitância térmica das paredes, segundo o RTQ-C.

Zonas Bioclimáticas	$U_{PAR} A (W/m^2K)$	$U_{PAR} B (W/m^2K)$	$U_{PAR} C e D (W/m^2K)$
ZB 1 e 2	1,0	2,0	3,7
ZB 3 a 6	3,7		
ZB 7 e 8	2,5W/m ² K, para $C_T < 80 \text{ kJ/m}^2K$		
	3,7 W/m ² K, para $C_T > 80 \text{ kJ/m}^2K$		

Fonte: PROCEL, 2016, p.189.

b) Em relação a cores e absorvância de superfícies (α), para o nível A são obrigatórios utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa, sendo $\alpha < 0,50$ do espectro solar e em coberturas, a utilização de cor de absorvância solar baixa, $\alpha < 0,50$ do espectro solar, telhas cerâmicas não esmaltadas, teto jardim ou reservatórios de água.

O método de classificação de eficiência da envoltória é baseado em um indicador de consumo obtido através de uma equação. Há duas equações por zona bioclimática: uma para edifícios com área de projeção (A_{pe}) menor que 500 m² e outra para edifícios com área de projeção maior que 500 m². O zoneamento bioclimático brasileiro considerado no RTQ-C é o estabelecido pela NBR 15220-3/2005.

Para facilitar o processo de análise, foi utilizada nesta pesquisa a ferramenta webprescritivo. É uma plataforma de serviços web de avaliação da ENCE pelo “método prescritivo” para edifícios comerciais, públicos e de serviços, onde são inseridos na plataforma, os parâmetros de projeto e obtém-se a etiqueta parcial para envoltória (Figura 39).

Figura 39 - Ferramenta webprescritivo, utilizada no RTQ-C.

WebPrescritivo

O webprescritivo é uma Ferramenta de Avaliação de Eficiência Energética de Edificações Comerciais pelo Método Prescritivo do RTQ-C. O objetivo dessa ferramenta não é obter uma etiqueta de conservação de energia, mas sim automatizar os procedimentos de avaliação da edificação conforme o RTQ-C. Para maiores detalhes, acesse o website do [PBE EDIFICA](#) ou baixe diretamente o [RTQ-C](#).



Pré-requisitos gerais

Circuitos elétricos

A edificação possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final

A edificação não possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final ou não se aplica

Aquecimento de água

Atende pré-requisito para A

Atende pré-requisito para B

Atende pré-requisito para C

A edificação possui isolamento de tubulações

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática **ZB 1** Cidade **Água Branca AL** (?)

Pré-requisitos

U_{COB-AC}	W/(m ² K) (?)	q_{COB}	0 % (?)
$U_{COB-ANC}$	W/(m ² K) (?)	CT_{PAR}	0 kJ/(m ² K) (?)
U_{PAR}	W/(m ² K) (?)	q_{PAR}	0 % (?)
PAZ	% (?)	FS	(?)

Dados Dimensionais da Edificação

A_{TOT}	m ² (?)
A_{PCOB}	m ² (?)
A_{PE}	m ² (?)
V_{TOT}	m ³ (?)
A_{ENV}	m ² (?)

Características das Aberturas

FS	(?)
PAF_T	% (?)
PAF_O	% (?)
AVS	° (?)
AHS	° (?)

Calcular Eficiência Limpar



3.2 ROTEIRO PARA AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DA ENVOLTÓRIA COM BASE NA TÉCNICA “MÉTODO SIMPLIFICADO” DA INI-C

Na INI-C, a envoltória da edificação é avaliada sob duas condições: na “condição real”, utilizando os valores dos parâmetros reais da edificação em estudo, extraídas do projeto de arquitetura e/ou no local, caso se trate de um *retrofit*, e na “condição de referência”, simulando uma edificação com classe D e utilizando os valores de referência contidos no regulamento, de acordo com o uso da edificação. No caso da edificação objeto de estudo desta pesquisa, o uso é de escritórios. Esses valores de referência, de acordo com cada uso, estão contidos nos anexos da INI-C.

O desempenho térmico da envoltória de uma edificação é definido através da carga térmica total anual da edificação em sua condição real (Cg_{TREAL}), e na condição de referência (Cg_{TREF}) e será equivalente ao valor da carga térmica de refrigeração ($Cg_{TREFRIG}$).

A estimativa da carga térmica para refrigeração é baseada em metamodelos de análise que utilizam redes neurais artificiais para os grupos climáticos onde estão inseridas.

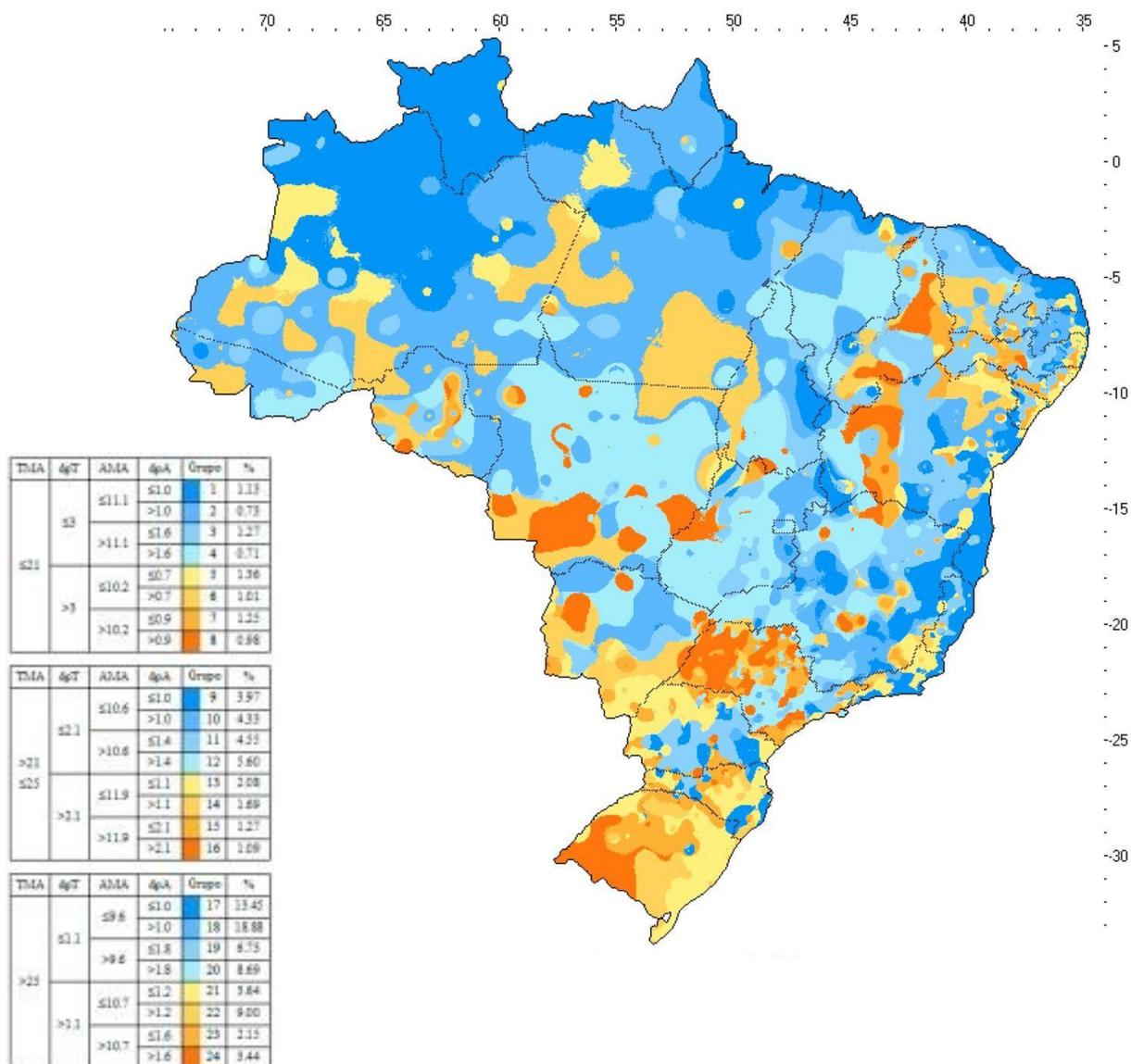
A carga térmica total de refrigeração ($Cg_{TREFRIG}$) é determinada com base em parâmetros construtivos físicos, geométricos e de carga interna da edificação. Os valores de densidade de carga térmica de resfriamento anual devem ser transformados em carga térmica total para toda a edificação em sua condição real e de referência (Cg_{TREAL} e Cg_{TREF}) (INMETRO,2018)

De acordo com a INI-C, para o cálculo do nível de eficiência energética da envoltória, são necessárias as seguintes etapas: definição do uso da tipologia; divisão da edificação em zonas térmicas; determinação dos parâmetros de entrada da edificação real e de referência por zona térmica; cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração ($DCgT$) e da carga térmica total de refrigeração ($Cg_{TREFRIG}$); obtenção do nível de eficiência energética da envoltória, onde calcula-se o fator de forma (FF) da edificação, o coeficiente de redução de carga térmica anual e a subdivisão das escalas de eficiência energética.

Para a verificação da influência do clima, a INI-C adota a classificação de climas proposta por Roriz (2014, p. 05) que divide o território brasileiro em 24

Grupos Climáticos (GCL), como podem ser vistos na figura 40. Recife pertence ao GCL 17.

Figura 40 - Grupos climáticos de 1 a 24 pela classificação proposta por Roriz em 2014.



Fonte: RORIZ, 2014, p.03, adaptado por Danyeverson Oliveira.

Segue o roteiro do método simplificado da INI-C, passo a passo:

a) Primeiro passo: definição do uso da tipologia;

A INI-C apresenta valores de referência para diversas tipologias como edifícios de escritórios, educacionais, de hospedagem e hospitalares. O uso adotado

para a edificação que é objeto de estudo desta pesquisa foi a de escritórios, pois a principal função das atividades é administrativa.

b) Segundo Passo: divisão da edificação em zonas térmicas;

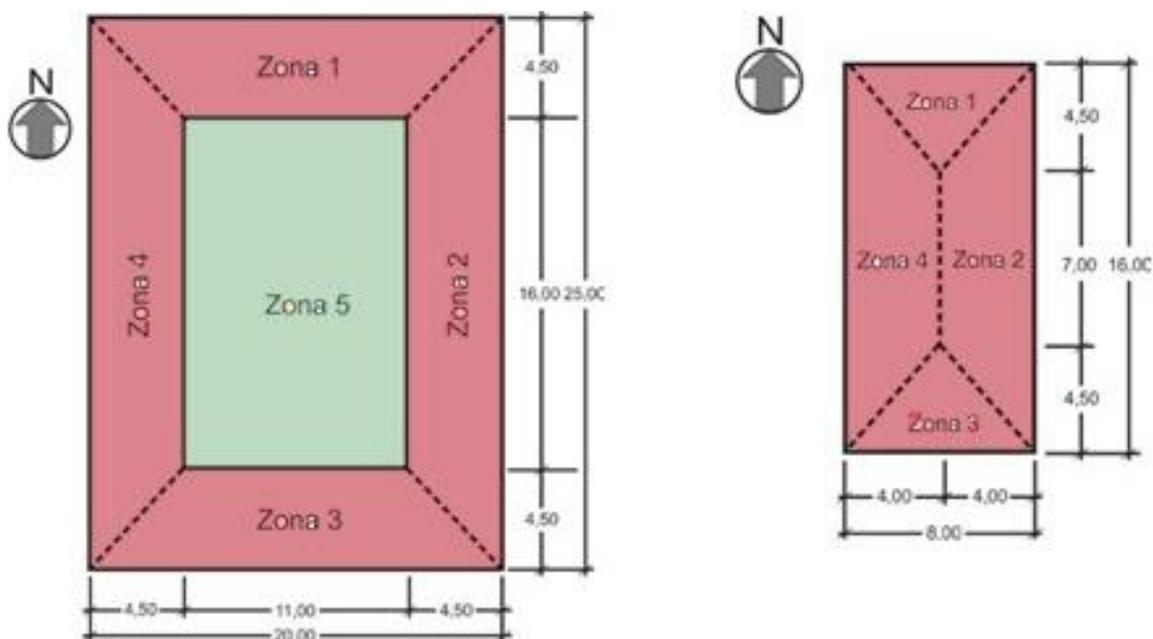
As zonas térmicas devem ser divididas de acordo com os parâmetros definidos pela INI-C, e suas áreas devem ser calculadas. Estes parâmetros estão relacionados ao tipo de uso, condicionamento de áreas e localização. As áreas não-condicionadas são geralmente classificadas como áreas de permanência transitória, e, portanto, não devem ser consideradas para a avaliação.

As zonas térmicas são separadas em:

- perimetrais, localizadas no perímetro da edificação;
- internas, no núcleo central da edificação.

Devem ser observando os limites de acordo com os parâmetros estabelecidos pela INI-C, conforme figura 41.

Figura 41 - Processo de divisão das zonas térmicas pela INI-C.



Fonte: INMETRO,2018

c) Terceiro passo: determinação dos parâmetros de entrada da edificação real e de referência por zona térmica;

Referem-se às propriedades térmicas e geométricas da envoltória, determinando a carga térmica interna de refrigeração (CgT_{REFRIG}) para a condição real e de referência da edificação nos espaços condicionados artificialmente. Os parâmetros que entram no cálculo da CgT_{REFRIG} podem ser vistos no quadro 5.

Quadro 5 – Parâmetros para o cálculo de carga térmica interna de refrigeração.

Parâmetros de entrada da edificação
Área da zona térmica (m ²)
Tipo de zona térmica (perimetral/interna)
Se existe contato com o solo (sim /não)
Se a cobertura é voltada para o exterior (sim/não)
Existência de isolamento térmico no piso (sim/não)
Orientação Solar (N/S/L/O/NE/SE/NO/SO)
Horas de ocupação por dia (horas)
Densidade de Potência de Equipamentos (kWh/m ²)
Densidade de Potência de Iluminação (kWh/m ²)
Percentual de abertura de Fachada
Fator Solar
Transmitância térmica do vidro, cobertura e paredes externas (W/m ² K)
Absortância solar da cobertura e paredes externas
Pé-direito (m)
Ângulo Horizontal de Sombreamento
Ângulo Vertical de Sombreamento
Ângulo de obstrução vertical
Capacidade térmica da cobertura e paredes externas (kJ/m ² K)

Fonte: INMETRO, 2018.

Para a avaliação da edificação em sua condição real e de referência, os parâmetros para cada zona térmica devem respeitar o estipulado nas tabelas de referência para escritórios da INI-C.

d) Quarto passo: cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração (DC_GT) e carga térmica total de refrigeração (C_GT_{REFRIG});

Após a definição dos parâmetros, estes devem ser inseridos na interface web do metamodelo, disponível na internet, com endereço de site disponível na INI-C. Esta interface calcula os valores anuais de densidade de carga térmica para refrigeração (DC_GT) para cada uma das zonas térmicas do edifício em análise. Esses valores são obtidos por meio de redes neurais artificiais.

Após a determinação da densidade de carga térmica de refrigeração (kWh/m².ano) para cada zona térmica da edificação real e de referência, os valores obtidos devem ser transformados em um valor de carga térmica anual para refrigeração proveniente de toda a edificação (kWh/ano), conforme a equação: C_GT_{REFRIG}= ΣDC_GT x Área_{ZT}, onde: C_GT_{REFRIG} é a carga térmica total para refrigeração

(kWh/ano), $DCgT$ é a densidade de carga térmica de cada uma das zonas de análise (kWh/m². ano) e $\text{Área } ZT$ é a área de cada uma das zonas térmicas de análise (m²).

e) Quinto passo: Obtenção do nível de eficiência energética da envoltória.

A carga térmica anual proveniente de todas as zonas analisadas na condição real e condição de referência devem ser comparadas. A classificação parcial do nível de eficiência energética da envoltória deve ser definida de acordo com o percentual de economia da edificação real em relação à condição de referência, de acordo com a escala de valores, através das etapas:

Etapa 1: fator de forma (FF) da edificação;

Cálculo por meio da equação $FF = A_{env} / V_{tot}$, onde FF é o fator de forma da edificação (m²/m³); A_{env} é a área da envoltória (m²) e V_{tot} é o volume total construído da edificação (m³).

Etapa 2: coeficiente de redução de carga térmica anual

Esse coeficiente é determinado em função do FF e do GCL (Grupo Climático) da edificação. Abaixo na figura 42, são mostrados os valores dos coeficientes para a tipologia de escritórios, considerando o grupo climático de Recife, GCL 17.

Figura 42 - Coeficiente de redução da carga térmica anual da classe D para a classe A (CRCgTD-A) com base no fator de forma (FF) e grupo climático correspondente.

Grupo Climático	Coeficiente de redução da carga térmica total anual da classe D para a classe A (CRCgTD-A)				
	$FF \leq 0,20$	$0,20 < FF \leq 0,30$	$0,30 < FF \leq 0,40$	$0,40 < FF \leq 0,50$	$FF > 0,50$
GCL 17	0,12	0,14	0,15	0,15	0,15

Fonte: INMETRO, 2018.

Etapa 3: Subdivisão das escalas de eficiência energética e classificação da envoltória

Definição da tabela das classes de eficiência com o cálculo do valor “i”, correspondente ao intervalo de cada uma das classes (A-E) de acordo com a equação: $i = (CEP_{REF} \times CRCEP_{D-A}) / 3$, onde: “i” é o coeficiente que representa os intervalos entre as classes; CEP_{REF} é o consumo de energia primária da edificação em sua condição de referência (kWh/ano); $CRCEP_{D-A}$ é o coeficiente de redução do consumo de energia primária da classe D para a classe A.

A tabela deve ser preenchida substituindo os valores de CEP_{REF} e de “i” e definindo os valores limites para cada classe de eficiência calculando a economia da

edificação real em relação à edificação de referência (nível D) e classificando a envoltória (Ver quadro 6).

Quadro 6 - Intervalos de cada uma das classes de eficiência energética.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	$> CEP_{REF} - 3i$	$> CEP_{REF} - 2i$	$> CEP_{REF} - i$	$> CEP_{REF}$
Limite inferior	$< CEP_{REF} - 3i$	$\leq CEP_{REF} - 2i$	$\leq CEP_{REF} - i$	$\leq CEP_{REF}$	-

Fonte: INMETRO, 2018.

3.3 INTERVENÇÕES EM EDIFÍCIOS PÚBLICOS PARA ETIQUETAGEM DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA

O intuito deste subcapítulo é mostrar a experiência de planejamento e de *retrofit* em edificações para melhoria da eficiência energética e etiquetagem, em edificações com mesmo uso público do objeto de estudo deste trabalho.

O *retrofit* abordado neste trabalho define alterações ou reformas em sistemas consumidores de energia elétrica, visando à sua conservação. Apesar de não ser objeto de análise deste trabalho, vale salientar que no âmbito da reabilitação de edificações históricas e com patrimônio legalmente protegidos, deve ser preservado o valor histórico, respeitando sua significância, integridade, autenticidade e reversibilidade das propostas de intervenção.

Segundo Munarim (2014, p.45), a preocupação com o desempenho energético dos edifícios históricos foi a primeira a aparecer sublinhada nas normas e diretrizes de preservação que trataram das questões ambientais relacionadas do patrimônio edificado. Países como Estados Unidos, Canadá e Austrália já incorporam, nas normativas de preservação, orientações para reduzir o consumo de energia de seus edifícios históricos.

A lei federal de proteção do patrimônio cultural brasileiro é uma das mais antigas em vigor no país (BRASIL, 1937). Contudo, a reabilitação urbana – que abarca necessariamente a reabilitação de edificações –, ainda é uma política incipiente enquanto estratégia de preservação de sítios históricos protegidos (BRITO, 2002). Pensar o patrimônio edificado sob a ótica ambiental, de conservação de recursos naturais e de energia, então, ainda está longe de ser uma realidade na prática patrimonial e nas políticas urbanas (MUNARIM, 2014, p. 46).

Para a execução de um *retrofit* é necessário um levantamento do estado atual da edificação e escopo bem definido das necessidades ligadas a eles, além de laudos e projetos que assegurem a qualidade e integridade da edificação, aprovado por órgãos públicos responsáveis. No caso de edifícios tombados, além do atendimento às legislações comuns, é preciso observação à legislação específica patrimonial. As comissões de criação e revisão das normas e regulamentos para a etiquetagem de eficiência energética no Brasil já discutem a inserção do tema patrimônio edificado. Um dos principais desafios das legislações é tornar as edificações eficientes, respeitando seus princípios compositivos e características originais.

Aproximadamente 70% do consumo de energia elétrica nos prédios públicos provém do uso dos sistemas de iluminação e climatização. Os projetos de eficiência energética atuam na substituição de equipamentos ineficientes e na mudança de hábitos dos usuários. O Procel tem incentivado ações não apenas para o uso de equipamentos mais eficientes, como também para o desenvolvimento de projetos e utilização de práticas visando o combate ao desperdício e o incremento da eficiência energética em edificações públicas (PROCELINFO, 2020).

As instituições governamentais devem assumir o papel de dar exemplo para o desenvolvimento de edificações eficientes, mudar procedimentos para implementar políticas de conservação de energia, estimular o consumo consciente e combater o desperdício com responsabilidade socioambiental.

Algumas edificações públicas no Brasil passaram por adaptações, visando a etiquetagem de eficiência energética, tanto na fase de concepção do projeto, quanto na fase de reforma pós construído, com aplicação de *retrofit* nos sistemas, constituindo-se de bons exemplos de intervenções. Serão apresentados a sede da Eletrosul em Florianópolis-SC, a sede da Superintendência da Caixa Econômica Federal em Londrina-PR, o edifício anexo da FAUrb, da Universidade Federal de Pelotas-UFPel, em Pelotas-RS e o Ministério do Meio Ambiente - MMA e Ministério da Cultura – MinC, em Brasília-DF. Estas edificações têm em comum o fato de terem caráter institucional/público e de terem recebido a etiqueta PBE Edifica nível A.

O objetivo não é explorar as edificações, aprofundando as análises como em um estudo de caso, mas mostrar os benefícios obtidos com a adaptação dos projetos e reformas para melhoria do nível de eficiência energética e obtenção da etiqueta PBE Edifica.

a) Sede da Eletrosul, Florianópolis-SC

Características: Edifício brutalista e concebido em concreto armado aparente, tem autoria de Luís Forte Netto e Orlando Busarello e foi inaugurado em 1978. Sendo responsável pela transmissão e geração de energia em Florianópolis e comprometida com a eficiência energética e sustentabilidade, o edifício sede da Eletrosul - uma construção da década de 1970 - precisava passar por um processo de reforma e de modernização, visando diminuir o consumo energético e obter a etiqueta PBE Edifica.

Intervenções: O sistema de climatização antigo foi modernizado. O sistema de iluminação artificial recebeu luminárias eficientes e econômicas. As luminárias com duas lâmpadas fluorescentes de 40 watts foram substituídas por um modelo T5 de 28 watts. A cobertura recebeu 4,2 mil módulos solares que produzem energia suficiente para abastecer 540 residências. A radiação solar se converte em energia elétrica e segue para uma subestação coletora para ser distribuída para a rede local. Para racionalizar água, os banheiros receberam torneiras e vasos sanitários com sensores e sistemas de descarga para resíduos sólidos e líquidos.

Resultado: Em 2013 obteve a etiqueta PBE Edifica classe A de eficiência energética e uma redução de 50% no consumo energético. A fachada da edificação pode ser vista na figura 43.

Figura 43 - Fachada do edifício da Eletrosul em Florianópolis-SC.



b) Sede da Superintendência da Caixa Econômica Federal, Londrina-PR

Características: Desde 2005, a Caixa Econômica Federal (CEF) passou a construir e a reformar agências para que elas se tornassem edificações sustentáveis. No planejamento da sede da CEF em Londrina, concluída em 2011, foi observado que o terreno possuía uma orientação geográfica na qual deveriam ser feitos estudos para conceber o melhor desempenho energético e obter a etiqueta PBE Edifica com a classificação máxima.

Intervenções: O edifício foi planejado para que o sol não incidisse diretamente nas janelas ou paredes. Com o estudo da movimentação do sol, da carga térmica anual do imóvel e da umidade anual, a edificação foi concebida para obter o melhor desempenho energético. Elementos de proteção, vidros especiais e cores claras foram inseridos na envoltória para minimizar o calor interno. O sistema de climatização recebeu automação. Na iluminação artificial foram instalados sensores de presença.

Resultado: Em 2011, a edificação recebeu a etiqueta A de eficiência energética. Foi registrado 35% de economia com energia elétrica. A fachada da edificação pode ser vista na figura 44.

Figura 44 - Fachada do edifício da Superintendência da Caixa econômica Federal em Londrina-PR.



c) Edifício anexo da FAUrb da Universidade Federal de Pelotas-UFPeL, Pelotas-RS

Características: A edificação idealizada pelo professor Ricardo Pintado e ainda não construída, foi idealizada desde a fase de projeto para ser eficiente e ser uma experiência de sucesso, pois é um dos locais habilitados no país a fornecer a etiqueta de eficiência energética PBE Edifica. Por se tratar de um prédio de uma faculdade de arquitetura e urbanismo, a ideia era fazer do projeto uma experiência acadêmica.

Intervenções: Utilizou isolamento das paredes e cobertura, proteções solares, uso da iluminação natural e sistemas de climatização e iluminação artificial eficientes (Figura 45). Todos os splits planejados são classe A de eficiência energética.

Resultado: O projeto se tornou tão eficiente que não precisou das bonificações exigidas pelo RTQ-C para atingir o nível A em eficiência. Foi segundo colocado no edital de chamada pública lançado pela Eletrobrás em 2020, chamado Procel Edifica-NZEB Brasil, onde recebeu R\$ 1 milhão de reais para a construção. O conceito NZEB refere-se a construções sustentáveis, que alinham eficiência energética à geração de energia renovável, para reduzir quase a zero seu balanço energético anual. No Brasil, esse tipo de edificação ainda é pouco conhecido, mas na União Europeia, edificações novas deverão obrigatoriamente ser NZEB a partir de 2021 e para edificações públicas já é obrigatório. (PROCELINFO, 2020).

Figura 45 - Fachada do edifício anexo da FAUrb UFPeL em Pelotas-RS.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2015a, p.58.

**d) Ministério do Meio Ambiente - MMA e Ministério da Cultura – MinC –
Brasília – DF**

Características: O Plano Piloto de Brasília foi tombado como patrimônio histórico federal, em 1990. Seria um desafio fazer cumprir a nova regra e implantar a etiqueta de eficiência energética de nível A, obrigatória para todo prédio público federal. Para as edificações tombadas, não pode haver intervenções na envoltória. Assim, a missão para o projeto de *retrofit* para a melhoria do desempenho energético do Bloco B da Esplanada dos Ministérios, era encontrar soluções para os outros sistemas, iluminação e condicionamento de ar (MMA, 2015b, p. 39).

O edifício, projetado por Oscar Niemeyer e construído em 1958, tem nove pavimentos, com as fachadas de maiores áreas, leste e oeste, expostas à radiação solar (Figuras 46 e 47). Entre os problemas diagnosticados, destaca-se a inadequação do sistema de iluminação artificial; elevadores sociais desatualizados tecnologicamente; condicionamento de ar do subsolo, térreo e 7º andar antigos e de baixo desempenho.

Figura 46 - Edificação do Ministério do Meio Ambiente e Cultura em 2015.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2015b, p.52.

Figura 47 - Fachada leste do Ministério do Meio Ambiente e Cultura em 2015.



Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2015b, p.15.

Intervenções: Foram propostas ações que visavam à melhoria da eficiência energética da edificação: revisão de demanda contratada adequada; otimização da configuração dos brise-soleil; dimerização de sistema de iluminação artificial; instalação de unidades VRF no térreo e subsolo; implementação de sistema fotovoltaico na cobertura; e modernização de elevadores. Demanda contratada é o valor de demanda de energia que a unidade consumidora irá utilizar dentro dos seus processos de consumo de energia elétrica. Pode-se reduzir custos extras com multas por ultrapassagem de demanda, com um contrato de demanda adequado às necessidades da edificação. Um VRF, que significa "volume de refrigerante variável", consiste em um tipo de sistema de ar-condicionado central do tipo multi-split. A série de propostas gerais, com diversas medidas de conservação de energia (MCE) implantadas para o *retrofit* do bloco B indicava que a economia com energia seria suficiente para custear o gasto com as mudanças em 24 meses (Figura 48).

Figura 48 - Análise de custos e benefícios com o retrofit do Ministério do Meio Ambiente e Cultura.

Medida de Conservação de Energia (MCE)	Economia anual		Investimento (mil R\$)	Relação Custo-Benefício (RCB)	Payback simples (anos)
	Energia (MWh/ano)	Econômico (mil R\$/ano)			
MCE 1 - Adequação de Contratação de Demanda	-	89,6	-	-	Imediato
MCE 2 - Substituição das unidades VRFs atuais por unidades mais eficientes (Nível A)	442,3	190,7	7.571,9	4,48	39,0
MCE 3 - Substituição das unidades VRFs atuais por unidades Turbocor (Sistema de água gelada)	208,4	110,9	6.511,0	5,98	58,7
MCE 4 - Otimização da configuração dos <i>brises-soilel</i> e <i>dimerização</i> de sistema de iluminação artificial (integrada a MC 01)	380,4	101,8	338,9	0,83	3,3
MCE 4 - Otimização da configuração dos <i>brises-soilel</i> e <i>dimerização</i> de sistema de iluminação artificial (não integrada a MC 01)			467,3	1,15	4,6
MCE 5 - Aumento da temperatura de <i>Setpoint</i> do sistema de condicionamento	157,9	78,4	-	-	Imediato
MCE 6 - Utilização de Ventilação Natural	-	-	-	-	Sem retorno
MCE 7 - Utilização de ventilação mecânica	-	-	-	-	Sem retorno
MCE 8 - Colocação de Filme na Fachada Leste	63,3	30,8	974,3	3,69	31,6
MCE 9 - MCE Integradas (MCE 2 + MCE 4 + MCE 8)	712,0	279,9	9.013,4	3,88	32,3
MCE 10 - Implantação de unidades VRF apenas no térreo e subsolo	97,5	41,0	782,2	2,15	19,0
MCE 11 - Implantação de sistema fotovoltaico	223,4	51,4	1.212,60	2,17	21,7
MCE 12 – Substituição das unidades condensadores	130,4	63,8	3.300,00	5,84	47,8
MCE 13 – Estabilização da Rede de Computadores	-	-	-	-	Imediato
MCE 14 – Implantação de Sistema Fotovoltaico na Cobertura do Bloco B	15,43	3,55	89,3	2,34	25,2
MCE 15 – Modernização dos Elevadores	20,00	4,8	700,00	14,86	145,9

Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2015c, p. 84-85.

Resultado: O *retrofit* do bloco B obteve a etiqueta PBE Edifica classe A de projeto, em janeiro de 2015, e o selo Procel de economia de energia para edificações. As intervenções na edificação serviram de referência para que outras edificações da esplanada dos ministérios adotassem ações de eficiência energética.

Existiam limitações relacionadas ao método prescritivo do RTQ-C, tais como (CB3E, 2017):

- a) As aberturas e proteções solares não são diferenciáveis por orientação da edificação;
- b) Os vidros de controle solar não apresentam boa resposta;
- c) Os parâmetros são ponderados para toda edificação;
- d) Os pré-requisitos penalizam a edificação (parede e cobertura);
- e) Uso da ventilação natural não é considerado no atual método prescritivo;
- f) Não considera o entorno edificado;
- g) Considera apenas um tipo de sistema de climatização: split, no método prescritivo.

Foram percebidos diversos avanços da técnica da INI-C em relação ao RTQ-C:

- a) A divisão em zonas térmicas;
- b) O uso do metamodelo que utiliza redes neurais para o cálculo da carga térmica anual de resfriamento, levando em conta as propriedades termo físicas da edificação;
- c) A mensuração do consumo energético anual de uma edificação real com uma de referência, para determinar o percentual de economia;
- d) A análise de todas as fachadas de forma individual, permitindo maior exatidão nas respostas da envoltória;
- e) A avaliação do uso racional de água;
- f) A avaliação do nível de emissões de dióxido de carbono;
- g) A classificação considerando a eficiência energética da edificação e a geração local de energia;
- h) A escala de eficiência é com base em consumo de energia primária (kwh/ano).

A comprovação destes avanços poderá ser verificada no próximo capítulo, quando as técnicas serão aplicadas na edificação objeto de estudo.

4 DESEMPENHO ENERGÉTICO DA ENVOLTÓRIA DE EDIFICAÇÃO DO EXÉRCITO BRASILEIRO

Neste capítulo será apresentado o objeto empírico de estudo, onde serão aplicadas as duas metodologias, RTQ-C e INI-C, para avaliação do desempenho energético da envoltória da edificação, classificando quanto ao seu nível de eficiência energética e aplicando a etiqueta PBE Edifica.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO EMPÍRICO DE ESTUDO

O objeto empírico de estudo localiza-se no bairro do Curado, na cidade de Recife, capital do estado de Pernambuco (Figuras 49 e 50).

Figura 49- Localização do bairro do Curado na cidade de Recife.



Fonte: RECIFE/ESIG, 2019.

Figura 50 - Perímetro do bairro do Curado.



Fonte: RECIFE/ESIG, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2019.

A cidade do Recife localiza-se no litoral do Nordeste brasileiro, entre os trópicos de Câncer e Capricórnio, com latitude de 8°03' ao sul do Equador e longitude de 34°52' a oeste de Greenwich. De acordo com o IBGE (2019), o município totaliza uma área de 218,435 km², população no último censo (2010) de 1.537.704 pessoas, sendo 1.653.461 de pessoas estimada, em julho de 2020. Limita-se com os municípios de Olinda e Paulista (ao norte), Jaboatão dos Guararapes (ao sul), São Lourenço da Mata e Camaragibe (a oeste) e com o Oceano Atlântico (a leste).

Recife tem clima tropical quente e úmido, com temperatura média anual de 25,8° C e pluviosidade média anual de 1804 mm (CLIMATE-DATA.ORG, 2020). Possui baixa latitude e tem ventos predominantes vindo da direção sudeste, seguido de leste e sul. A umidade relativa média mensal varia de 75,31% a 84,68%

(PROJETEEE, 2020). As principais estratégias e recomendações construtivas são: uso de aberturas grandes e sombreadas; uso de paredes e coberturas leves e refletoras; uso de ventilação cruzada e permanente durante todo o ano.

O bairro do Curado tem área territorial de 798 ha e população residente de 16.418 habitantes (PREFEITURA DA CIDADE DO RECIFE, 2019). É um bairro predominantemente industrial. Estão localizados cinco quartéis militares do Exército Brasileiro, entre eles o 4º Batalhão de Polícia do Exército (4ºBPE), onde localiza-se o pavilhão de comando, prédio onde se concentram as atividades administrativas do quartel e que será objeto empírico deste estudo (Figura 51).

Figura 51 - Quartel onde se localiza a edificação que será objeto de estudo.



Fonte: Google maps, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2019.

No seu entorno encontram-se o Instituto Federal de Pernambuco-IFPE, o Instituto de Tecnologia de Pernambuco-ITEP, o campus da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, o Colégio Militar do Recife-CMR e o jardim botânico do Recife. Situa-se também o Refúgio de Vida Silvestre (RVS) Mata do Curado, inserido no Sistema Estadual de Unidades de Conservação (SEUC).

O 4º BPE localiza-se no km 06, da Rodovia BR-232, no bairro do Curado em Recife. A construção do batalhão data de 1999. Recebeu a denominação histórica de "Batalhão João Fernandes Vieira", em homenagem ao herói da resistência ao jugo holandês, na primeira e na segunda Batalhas dos Guararapes, em 1648 e 1649,

liderando violenta perseguição até a derrota final dos holandeses. O batalhão integra o complexo militar do Curado e é diretamente subordinado ao Comando Militar do Nordeste (CMNE), o Quartel General do Nordeste (EXÉRCITO BRASILEIRO, 2020).

O batalhão é formado por um conjunto de edificações com funções específicas de um batalhão operacional. A edificação objeto de estudo será o Pavilhão de Comando (Figura 52), que abriga atividades administrativas.

O entorno do perímetro do quartel é limitado por grande massa vegetativa que compõe a mata do Curado e pela BR-232.

Figura 52 - Edificação que será objeto de estudo empírico.



Fonte: RECIFE/ESIG, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2019.

A edificação foi projetada pela arquiteta Ana Carolina Canuto Coelho e sua construção foi concluída no ano de 2002. Tem sistema estrutural formado por pilares, vigas e laje em concreto armado. A cobertura é formada por uma laje de concreto armado horizontal com telha de fibrocimento do tipo calhetão. A volumetria prismática tem predominância horizontal com comprimento 57,97 m, largura de 10,91m, altura de 6,30m. A edificação tem 2 pavimentos com área de lâmina de 632,45m² (Figura 53).

A edificação tem composição modular, com a presença de eixos estruturais bem definidos, ritmo na fachada e predominância da simetria. A estrutura formada

por pilares e vigas se apresentam aparentes na composição da fachada. Observa-se nas paredes da envoltória, a predominância de aberturas com tamanho médio, medindo 3,45m x 1,00m, se repetindo ao longo de vários módulos, onde os pilares estão distantes 3,60m. entre eixos.

Algumas características dimensionais da edificação estão apresentadas no Quadro 7: área total (A_{TOT}), área de projeção da cobertura (A_{PCOB}), área de projeção da edificação (A_{PE}), volume total (V_{TOT}) e área da envoltória (A_{ENV}).

Quadro 7 - Características dimensionais da edificação.

A_{TOT}	A_{PCOB}	A_{PE}	V_{TOT}	A_{ENV}
1264,90m ²	632,45m ²	632,45m ²	3984,45m ³	1500,34m ²

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Figura 53 - Pavilhão de comando do 4º BPE.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

O entorno da edificação é composto por edificações térreas onde a maior parte delas são pavilhões operacionais. A noroeste do pavilhão de comando está sendo construído um novo pavilhão. Na figura 54 podem ser vistos os pavilhões do entorno e o sentido dos ventos predominantes representados por uma seta azul, à sudeste, leste e sul respectivamente.

Figura 54 - Fachada leste do pavilhão de comando.

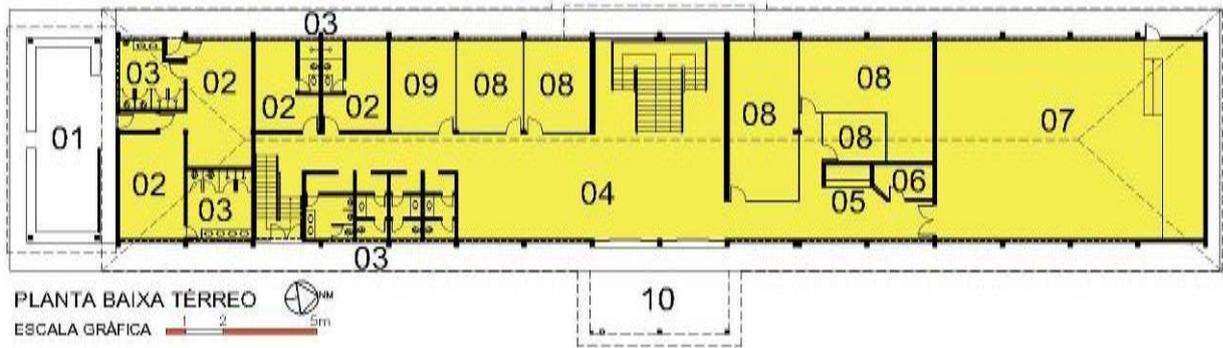


Fonte: Fonte: RECIFE/ESIG, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2019.

- 01-Pavilhão de comando (objeto de estudo)
- 02-Acesso ao pavilhão de comando
- 03-Construção de um novo pavilhão
- 04-Pavilhão operacional
- 05-Almoxarifado
- 06-Rancho
- 07-Pátio
- 08-Estacionamento

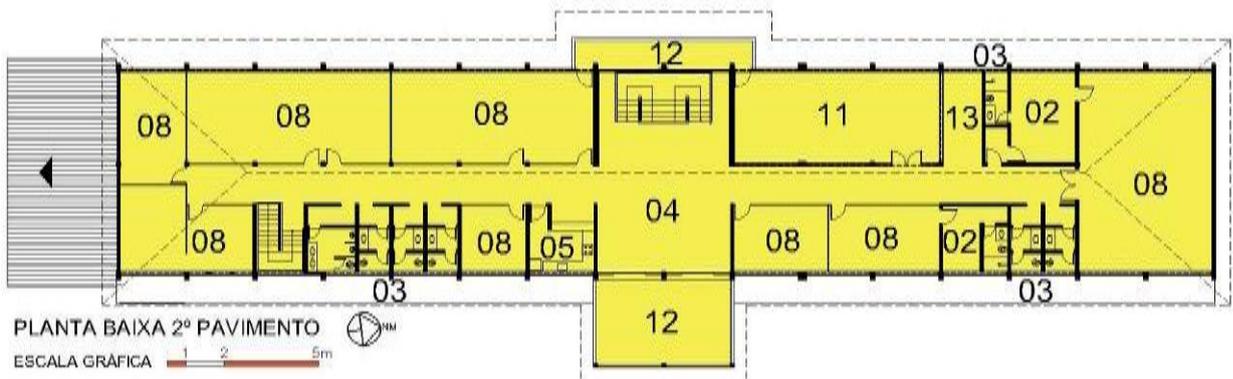
No térreo estão localizadas salas administrativas, alojamentos, auditório e banheiros. No segundo pavimento, mais salas administrativas, salão de honra e banheiros (Figuras 55, 56 e 57).

Figura 55 - Planta baixa pavimento térreo.



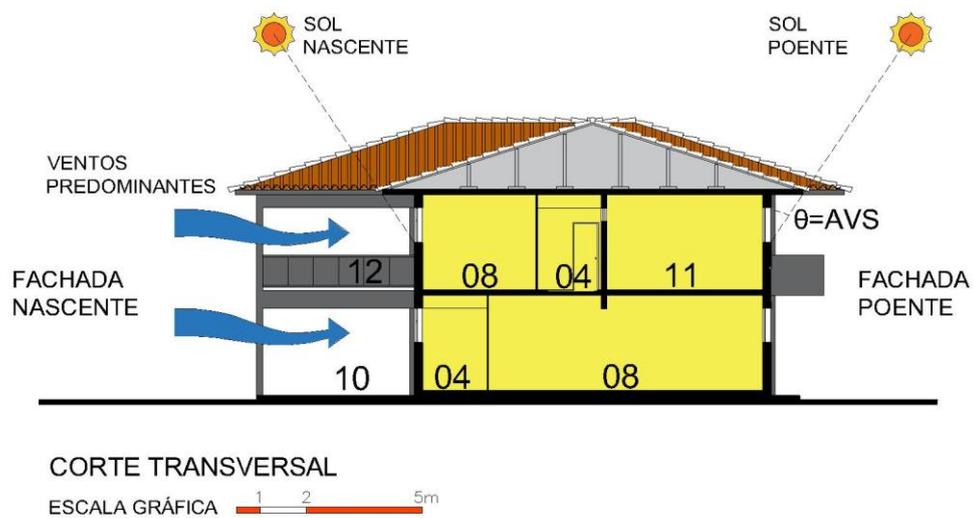
Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Figura 56 - Planta baixa segundo pavimento.



Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Figura 57 - Corte transversal



Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

01-Corpo da Guarda
02-Alojamento
03-Banheiro
04-Circulação
05-Copa
06-Sala de Som
07-Auditório

08-Sala Administrativa
09-Servidor
10-Acesso Veículos
11-Salão De Honra
12-Sacada
13-Antesala

A envoltória da edificação é composta pelas paredes externas e pela cobertura. Faremos uma descrição e análise deste sistema.

As paredes externas são formadas por tijolos cerâmicos com 8 furos e densidade de 1700 Kg/m^3 , assentados na menor dimensão. Receberam argamassa com densidade de 1900 Kg/m^3 nas superfícies interna e externa. Revestimento com placas em litocerâmica com densidade de 1700 Kg/m^3 envolve a superfície externa. Essas características atendem aos requisitos da NBR 15.220-3/2005 para valores de transmitância térmica adequados para a ZB 8 (Figura 58).

Figura 58 – Revestimento em litocerâmica na fachada leste.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

As placas em litocerâmica da fachada têm a cor avermelhada e tonalidade escura, ou seja, absorvem mais os efeitos da radiação solar devido ao alto valor da

absortância solar. Não é uma boa solução para o conforto térmico dos usuários que ocupam os ambientes perimetrais. Isso também diminui a eficiência energética da edificação, pois aumenta a carga térmica dos ambientes, fazendo com que os aparelhos de climatização artificial trabalhem com maior frequência para produzir conforto térmico para os usuários.

Os pilares e vigas que fazem parte do sistema estrutural da edificação, se apresentam aparentes nas fachadas e estão pintados na cor bege. Esquadrias de alumínio com vidro também fazem parte da composição, com janelas altas e baixas.

A figura 59 mostra parte da fachada leste onde percebem-se os revestimentos de litocerâmica de cor escura e as aberturas de tamanho médio, com esquadrias de alumínio e vidro incolor com 4mm.

Figura 59 - Fachada Leste.



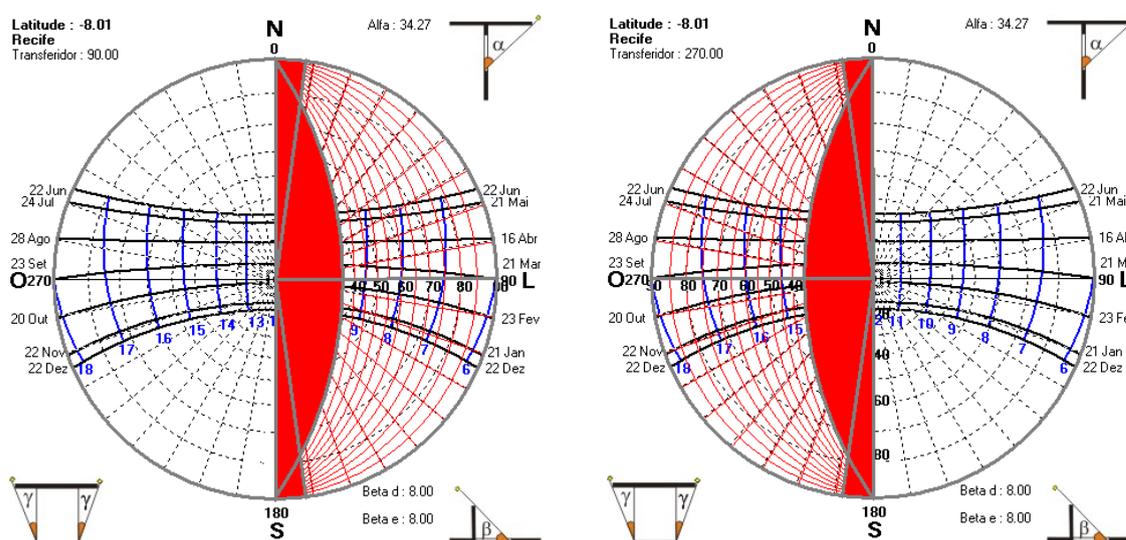
Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

O tamanho médio das esquadrias das salas administrativas está adequado para promover a entrada de ventilação e de luz natural. A ventilação natural em Recife tem predominância nas direções sudeste, sul e leste. Seu potencial é pouco explorado na fachada leste, pois a maior parte dos ambientes são climatizados e permanecem com as esquadrias fechadas.

O vidro incolor de 4mm não tem proteção térmica. O fator solar dos vidros é alto, aumentando o percentual de transmissão de radiação para o interior dos ambientes. Isso pode causar o desconforto térmico e aumentar a trabalhabilidade do sistema de condicionamento artificial.

Na fachada que está voltada para a direção oeste, estão localizadas diversas salas administrativas da edificação. O ambiente externo à fachada oeste tem configuração de pátio com revestimento de piso em paralelepípedo, impermeável, com índice de reflexão alto, que pode direcionar radiação para dentro dos ambientes da edificação. As aberturas são de tamanho médio e contêm esquadrias em alumínio e vidro simples de 4mm sem tratamento térmico, aspecto que pode aumentar o desconforto térmico dos usuários nos ambientes internos. A extensão da laje da cobertura no segundo pavimento funciona como dispositivo de proteção solar horizontal, provocando sombreamento. A figura 60 mostra as máscaras de sombra da proteção mista das fachadas leste e oeste, com ângulo $\alpha=34,27^\circ$ para a proteção horizontal e $\beta=8^\circ$ para a proteção vertical. A figura 61 mostra a fachada oeste e o pátio externo.

Figura 60 - Máscaras de sombra dos dispositivos de proteção solar existentes.



Fonte: LABEEE-UFSC/SOL-AR, 2020, elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

As paredes internas da edificação são formadas por tijolos cerâmicos com 8 furos e densidade de 1700 Kg/m^3 , assentados na menor dimensão. Receberam argamassa com densidade de 1900 Kg/m^3 nas superfícies interna e externa.

Figura 61 - Fachada Oeste.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

Existem vedações internas em divisória de aglomerado com fibras de madeira que tem densidade de 800 Kg/m^3 .

Na figura 62 vemos o salão de honra, localizado no 2º pavimento, que está voltado para a face poente, tem os revestimentos internos das paredes em reboco liso e pintura na cor branco. Neste ambiente as janelas têm vidros incolores de 4mm que não protegem contra a insolação poente. A face poente tem grande quantidade de radiação e ausência de ventos predominantes.

O tijolo cerâmico utilizado na edificação possui dimensões $9 \times 19 \times 19 \text{ cm}$. A argamassa de assentamento utilizada entre os tijolos, tem densidade de 1900 Kg/m^3 , e espessura de 10mm.

Os rebocos internos e externos têm 25mm de espessura.

No salão de honra foram projetadas janelas altas e baixas em paredes opostas e adjacentes para que o sistema de ventilação natural tivesse eficiência, mas as esquadrias permanecem fechadas porque o ambiente funciona com sistema de climatização artificial.

Figura 62 - Salão de honra.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

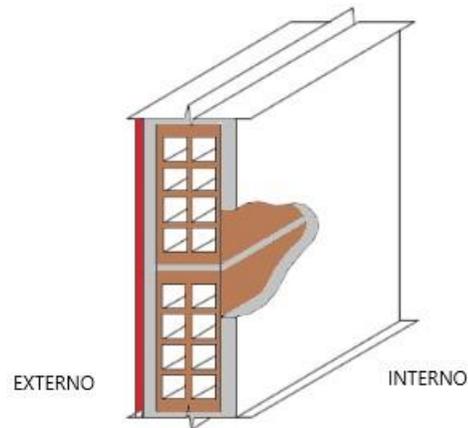
O quadro 8 especifica as espessuras dos componentes da parede da envoltória. O tijolo tem 9 cm de espessura, os rebocos têm 2,5 cm e a litocerâmica tem 1cm. Esses dados são importantes porque estarão presentes no cálculo da transmitância térmica da cobertura e paredes da edificação. Na figura 63 é mostrada a configuração geométrica da parede externa da envoltória da edificação utilizada como objeto de estudo.

Quadro 8 - Espessura dos componentes construtivos das paredes.

Componente	Espessura [mm]
Reboco externo	25,0
Tijolo cerâmico	90,0
Reboco interno	25,0
Litocerâmica	10,0

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Figura 63 - Configuração da parede da envoltória da edificação em estudo.



Fonte: Adaptado da NBR 15220-2, 2005.

A cobertura da edificação é formada por laje, telha e ático (Figura 64). A laje da cobertura é plana e horizontal, formada por uma camada com 12cm de concreto armado e densidade de 2300 Kg/m³. A telha da cobertura é de fibrocimento do tipo ondulada, na cor cinza, com densidade de 1600 Kg/m³ executada sobre madeiramento. Existe uma câmara de ar, também chamada de ático, entre a laje de cobertura e a telha, mas não existe circulação de vento. Esse recurso da circulação de ar deveria ser explorado na solução da cobertura, porque permitiria minimizar o efeito negativo da radiação solar pela cobertura.

Figura 64 - Vista superior da edificação.



Fonte: Google maps, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2019.

A cor cinza da telha de cobertura tem alto valor de absorvência térmica que será mostrado nos cálculos. Isso acaba contribuindo para o aumento da carga térmica da edificação pela cobertura, através da radiação que atinge a coberta em qualquer época do ano, durante a maior parte do dia.

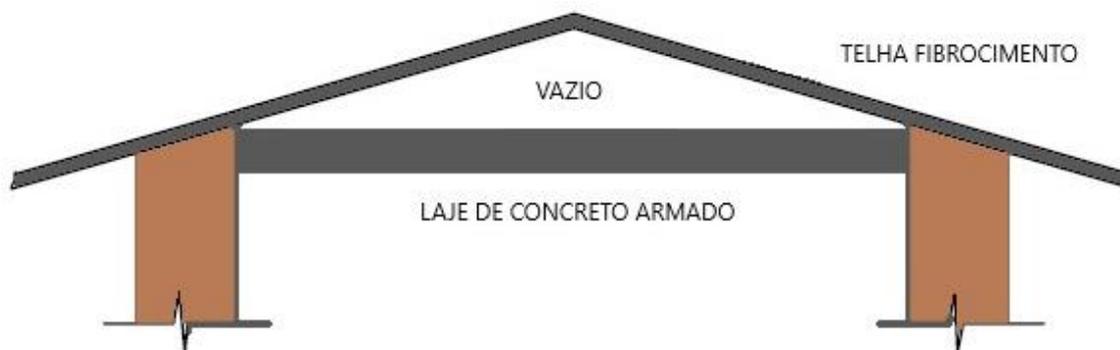
O quadro 9 especifica as espessuras dos componentes da cobertura da envoltória. Na figura 65 é mostrada a configuração geométrica da cobertura.

Quadro 9 - Espessura dos componentes construtivos da cobertura.

Composição	Espessura (mm)
Laje em concreto	12,0
Câmara de ar (Não ventilada)	variada
Telha em fibrocimento	8,0

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

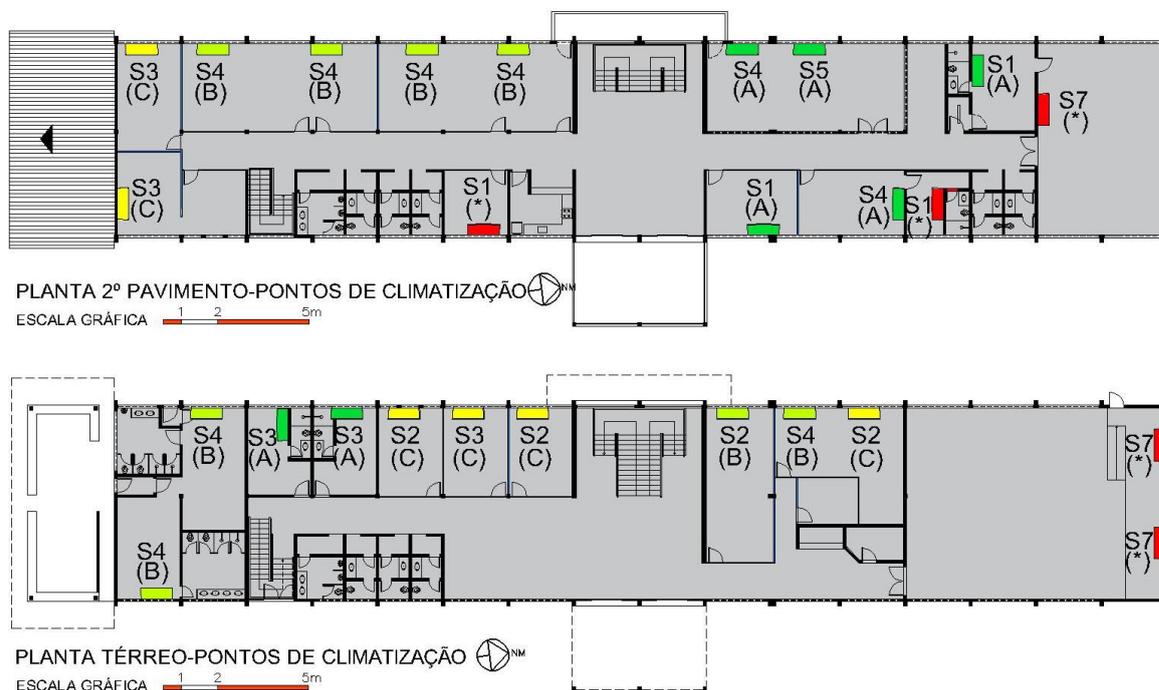
Figura 65 - Configuração da cobertura da edificação.



Fonte: Adaptado da NBR 15220-2, 2005.

O sistema de climatização é formado por aparelhos do tipo split, com unidades evaporadoras, destacadas nas cores de suas respectivas etiquetas na figura 66 e unidades condensadoras localizadas no ambiente externo. A unidade evaporadora é a parte instalada no interior do ambiente, onde sai o ar resfriado com a temperatura programada. Tem a função de absorver o calor, que se desloca até o condensador pelo compressor. A unidade condensadora é a unidade externa e é composta por compressor, trocador de calor e ventilador.

Figura 66 - Localização dos aparelhos de condicionamento artificial nos ambientes.



Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Os aparelhos de ar-condicionado, em sua maioria são antigos, com selos de eficiência energética variando entre os níveis A, B e C. A capacidade e quantidade dos aparelhos de ar-condicionado, com seus respectivos níveis de eficiência energética podem ser vistos no quadro 10:

Quadro 10 – Capacidade e quantidade de aparelhos de condicionamento artificial existentes na edificação

Legenda	Tipo	Capacidade (BTU's)	Nº de aparelhos com etiquetas nível A	Nº de aparelhos com etiquetas nível B	Nº de aparelhos com etiquetas nível C	Nº de aparelhos com etiquetas não informada
S1	Split	7000	2			2
S2	Split	9000		1	3	
S3	Split	12000	2		3	
S4	Split	18000	2	7		
S5	Split	24000	1			
S6	Split	60000				3

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

O sistema de condicionamento artificial não será objeto de análise desta pesquisa, mas estes dados foram levantados para que se obtenha o valor do

Coeficiente de Performance-COP dos aparelhos, que será exigido no cálculo do nível de eficiência energética da envoltória da edificação. Na figura 67, é possível verificar uma unidade evaporadora com a etiqueta de eficiência energética classe C que fornece os dados de eficiência do aparelho.

Figura 67 - Aparelho de ar-condicionado com baixa eficiência.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

Na fachada norte estão localizadas duas unidades evaporadoras do sistema de climatização. Esta face não possui aberturas (Figura 68).

Figura 68 - Fachada Norte.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

Na fachada sul, as únicas aberturas existentes são uma porta e uma janela no térreo que estão sombreadas por um terraço que tem estrutura de coberta em madeira com telha em fibrocimento (Figura 69).

Figura 69 - Fachada Sul.

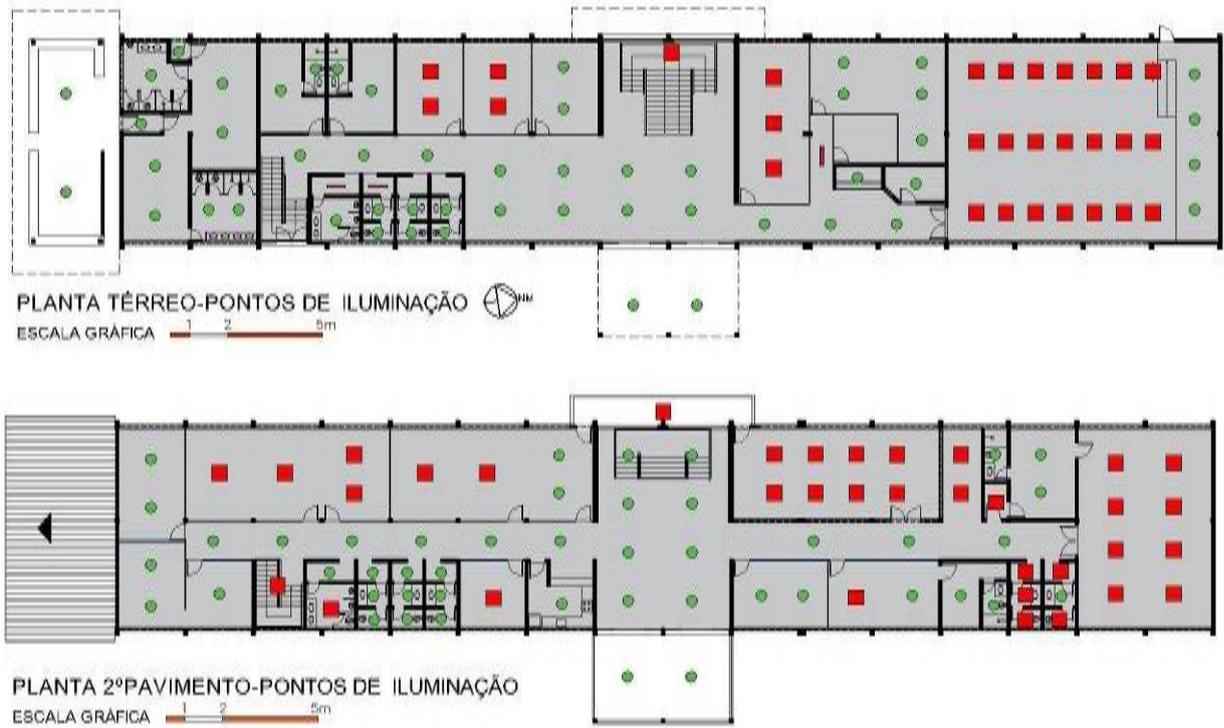


Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

Em relação à iluminação artificial, a edificação possui lâmpadas do tipo bulbo de LED com potência 9W, identificadas na cor verde, e lâmpadas tubulares fluorescentes com potência de 40W, identificadas na cor vermelho, na figura 70. O sistema de iluminação artificial não será objeto de análise desta pesquisa, mas os dados foram levantados para que se tenha o valor da Densidade de Potência Instalada-DPI, exigida no cálculo do nível de eficiência da envoltória da edificação.

O tamanho médio das esquadrias permite que se tenha contribuição da iluminação natural nos ambientes que estão voltados para as fachadas leste e oeste, pois as salas têm pouca profundidade, tomando como referência as paredes perimetrais. O potencial da iluminação natural é pouco explorado nesta edificação. Como os ambientes administrativos são climatizados, as janelas permanecem fechadas e são utilizadas persianas que dificultam a entrada de luz natural no ambiente. Estes ambientes não são eficientes energeticamente, pois os sistemas de climatização e de iluminação artificial passam a ser utilizados para manter o conforto térmico dos usuários, gerando aumento no consumo de energia (Figuras 71 e 72).

Figura 70 - Planta com a distribuição da iluminação artificial.



Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Figura 71 - Sala administrativa.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

Figura 72 - Sala administrativa.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

4.2 AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO O RTQ-C

Para a determinação da classificação do nível de eficiência da envoltória do edifício, utilizando a técnica “método prescritivo” do RTQ-C, primeiramente foram verificados os pré-requisitos gerais e específicos. Foi utilizado o roteiro de cálculo já exposto no capítulo anterior.

Como **pré-requisito geral**, atendendo ao RTQ-C, o edifício deve possuir circuito elétrico separado por uso final. A edificação possui (Ver figura 73).

Figura 73 - Quadro geral de energia da edificação.



Fonte: Danyeverson Oliveira, 2020.

Para o cálculo da **transmitância térmica da parede (U_{par})**, foram calculadas as resistências de todos os componentes da parede: a resistência superficial externa (R_{SE}), a resistência térmica total R_t (seções “a”, “b” e “c”), com fórmula já apresentada, e a resistência da superfície interna (R_{SI}).

Para as resistências superficiais R_{SE} e R_{SI} , foram adotados os valores recomendados pela NBR 15220-2/2005, com direção do fluxo de calor horizontal, conforme figura 74.

Figura 74 - Resistência térmica superficial interna e externa.

R_{si} ($m^2.K/W$)			R_{se} ($m^2.K/W$)		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
\Rightarrow	$\overleftarrow{\uparrow}$	$\overleftarrow{\downarrow}$	\Rightarrow	$\overleftarrow{\uparrow}$	$\overleftarrow{\downarrow}$
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220-2, 2005.

Foram adotadas as propriedades termo-físicas extraídas da NBR 15220-2/2005, apresentadas na figura 75, onde foram extraídos os valores da condutividade térmica e calor específico da argamassa e da cerâmica.

Figura 75 - Densidade de massa aparente (ρ), condutividade térmica (λ) e calor específico (c) de materiais.

Material	ρ (kg/m^3)	λ ($W/(m.K)$)	c ($kJ/(kg.K)$)
Argamassas			
argamassa comum	1800-2100	1,15	1,00
argamassa de gesso (ou cal e gesso)	1200	0,70	0,84
argamassa celular	600-1000	0,40	1,00
Cerâmica			
tijolos e telhas de barro	1000-1300	0,70	0,92
	1300-1600	0,90	0,92
	1600-1800	1,00	0,92
	1800-2000	1,05	0,92

Fonte: NBR 15220-2, 2005.

Para o cálculo da resistência térmica total da parede da edificação, considerando as espessuras dos componentes e propriedades termo-físicas dos materiais, temos:

a) área da seção “a” (cerâmica + reboco + argamassa + reboco): 0,0039m²

Resistência térmica da seção “a”: $0,1328\text{m}^2\text{k/w}$

b) Área da seção “b” (cerâmica + reboco + cerâmica + reboco): $0,0019\text{m}^2$

Resistência térmica da seção “b”: $0,1545\text{m}^2\text{k/w}$

c) Área da seção “c” (cerâmica + reboco + cerâmica + ar + cerâmica + ar + cerâmica + reboco): $0,0066\text{m}^2$

Resistência térmica da seção “c”: $0,4079\text{m}^2\text{k/w}$

Da equação $R_t = A_a + A_b + A_c / (A_a/R_a) + (A_b/R_b) + (A_c/R_c) \rightarrow R_t = 0,21445\text{ m}^2\text{k/w}$

Da equação $R_T = R_{SE} + R_t + R_{SI} \rightarrow R_T = 0,04 + 0,2145 + 0,13 \rightarrow R_T = 0,3845\text{ m}^2\text{k/w}$

Da equação $U_{par} = 1 / R_t \rightarrow U_{par} = 1/0,3845$ **$U_{par} = 2,60\text{ m}^2\text{k/w}$**

Este valor de U_{par} é a quantidade de calor que atravessa a superfície da parede da edificação, durante um intervalo de tempo e que será utilizado no cálculo do nível de eficiência energética da envoltória. Quanto maior o valor da transmitância, mais calor atravessa a superfície da parede.

O mesmo procedimento é utilizado para o cálculo da **transmitância da cobertura (U_{cob})**, composta por concreto, telha de fibrocimento e câmara de ar.

Sevegnani et al. (1994) comparando várias matérias de cobertura através de índices de conforto térmico, constata que a telha de cimento amianto não é recomendada por ser desconfortante.

Para o cálculo da resistência temos os seguintes dados:

a) Para a laje: $\lambda = 1,75$; $e = 0,12$. Da equação $R = e / \lambda \rightarrow R_{concr} = 0,068$.

b) Para a telha: $\lambda = 0,65$; $e = 0,008$. Da equação $R = e / \lambda \rightarrow R_{telha} = 0,012$

c) Para a câmara de ar, de acordo com a NBR 15220-2/2005, $R = 0,21$.

Para as resistências superficiais, serão adotados os valores recomendados na NBR 15220-2/2005, então $R_{SE} = 0,17$ e $R_{SI} = 0,04$.

Temos então, $R_{cob} = R_{SE} + R_{concr} + R_{cam} + R_{telha} + R_{SI} \rightarrow R_{cob} = 0,50\text{ m}^2\text{k/w}$

Da equação $U_{cob} = 1 / R_t$, temos que $U_{cob} = 1/0,50$, então **$U_{cob} = 2,00\text{ m}^2\text{k/w}$**

Este valor de U_{cob} se refere à quantidade de calor que atravessa a superfície da cobertura da edificação, durante um intervalo de tempo e que será utilizado no cálculo do nível de eficiência energética da envoltória. Quanto maior o valor da transmitância, mais calor atravessa a superfície da cobertura. Os valores recomendados pelo RTQ-C e os valores encontrados podem ser vistos no quadro 11.

Quadro 11 – Valores recomendados e encontrados para os níveis de transmitância térmica na ZB 8.

RECOMENDAÇÃO DO RTQ-C PARA TRANSMITÂNCIA PARA OBTENÇÃO DO NÍVEL “A” DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8
Transmitância da cobertura: limite de 1,00 W/m ² K (ambientes condicionados artificialmente) e 2,00 W/m ² K (ambientes não condicionados) Transmitância das paredes externas: limite são 2,5 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica máxima de 80 kJ/m ² K, e 3,7 W/m ² K, para paredes com capacidade térmica superior a 80 kJ/m ² K.
TRANSMITÂNCIA DOS MATERIAIS ENCONTRADOS NA EDIFICAÇÃO
Transmitância da cobertura: 2,00 W/m ² K (ambientes condicionados artificialmente e não condicionados) Transmitância das paredes externas: 2,60 W/m ² K (ambientes condicionados artificialmente e não condicionados)

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

As cores e valores da **absortância (α)** estão devidamente indicados no Anexo V do Requisitos de Avaliação da Conformidade para Eficiência Energética de Edificações-RAC. Para a edificação em estudo, foi considerada absortância térmica da cobertura de 0,75, valor para a cor cinza do fibrocimento natural, cor da telha da edificação, e absortância térmica da parede de 0,80, valor para a cor vermelho do revestimento em litocerâmica da parede externa da edificação objeto de estudo.

Portanto, $\alpha_{cob}=0,75$ e $\alpha_{par}=0,80$

Estes valores se referem à parcela da radiação absorvida pela coberta e paredes da envoltória e está geralmente relacionada a cor da superfície. Quanto maior o valor da absortância, mais calor a superfície absorve. Os valores recomendados pelo RTQ-C podem ser vistos no quadro 12.

Quadro 12 - Recomendações para os níveis de absortância na ZB 8

RECOMENDAÇÃO DO RTQ-C PARA ABSORTÂNCIA PARA OBTENÇÃO DO NÍVEL “A” DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8
Absortância: valor máximo de 0,50
ABSORTÂNCIA DOS MATERIAIS ENCONTRADOS NA EDIFICAÇÃO
Absortância da cobertura: 0,75 Absortância das paredes externas: 0,80

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Para o cálculo do **Fator Altura (FA)**, segundo o RTQ-C, são necessários a área de projeção da cobertura (A_{pcob}) que é $632,45\text{m}^2$ e a área total construída (A_{tot}) que é $1.264,90\text{m}^2$. Então, $FA=A_{pcob}/A_{tot} \rightarrow FA=632,45/1264,90 \rightarrow \mathbf{FA=0,5}$

Esse valor do FA é a relação existente entre a área de projeção da cobertura e a área total construída da edificação e será utilizado no cálculo do nível de eficiência energética da envoltória.

Para o cálculo do **Fator de Forma (FF)**, segundo o RTQ-C, são necessários a área da envoltória (A_{env}) que é $1.500,34\text{m}^2$ e o volume total da edificação (V_{tot}) que é $3.984,45\text{m}^3$. Então, $FF=A_{env} / V_{tot} \rightarrow FF=1.500,34 / 3.984,45 \rightarrow \mathbf{FF=0,376}$

Este valor do FF indica a razão entre a área da envoltória e o volume total da edificação. Representa as proporções da edificação. Será utilizado no cálculo do nível de eficiência energética da envoltória.

Para o cálculo do **Percentual de Abertura de Fachada (PAF)**, deve-se comparar o Percentual de Abertura de Fachada Total- PAF_T da edificação com o Percentual de Abertura da Fachada Oeste- PAF_O . Caso o PAF_O seja maior que o PAF_T em mais de 20%, deve-se utilizar o PAF_O no cálculo. Caso seja menor, utiliza-se o PAF_T normalmente.

a) Percentual de Abertura da Fachada Oeste- PAF_O

$$PAF_O = \text{Área de abertura fachada oeste} / \text{Área total da fachada oeste}$$

$$PAF_T = 92,33 / 365,21 \rightarrow PAF_T = 0,2528 \text{ (25,28\%)}$$

b) Percentual de Abertura de Fachada Total- PAF_T

$$PAF_T = \sum \text{Área de abertura total} / \sum \text{Área de fachada total}$$

$$PAF_T = 1,26+99,50+92,33 / 867,89 \rightarrow PAF_T = 0,2224 \text{ (22,24\%)}$$

O valor do Percentual de Abertura de Fachada é $\mathbf{PAF=22,24\%}$

O valor do Percentual de Abertura de Fachada (PAF), diz respeito à relação entre as áreas das aberturas e a área total de fachada. Quanto mais aberturas existem na fachada, maior essa porcentagem. O valor dessa porcentagem é necessário para quantificar a influência das aberturas no comportamento térmico da edificação. O RTQ-C não faz recomendações sobre o tamanho das aberturas adequados para as zonas bioclimáticas.

Os valores recomendados para abertura, de acordo com a NBR 15.220-3/2005 podem ser vistos no quadro 13.

Quadro 13 - Recomendações para tamanho de aberturas na ZB 8.

RECOMENDAÇÃO DA NBR 15.220-3 PARA ABERTURAS NA ZONA BIOCLIMÁTICA 8
Aberturas grandes com áreas maiores que 40% da área do piso dos ambientes, ou seja, grandes aberturas.
PERCENTUAL DE ABERTURA ENCONTRADO NA EDIFICAÇÃO
O valor do Percentual de Abertura de Fachada encontrado na edificação foi 22,24%.

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Os **Ângulos de Sombreamento** utilizados no cálculo da envoltória determinam a obstrução à radiação solar direta por dispositivo de proteção solar nas aberturas. O ângulo que será utilizado no cálculo da envoltória será dado pela média ponderada do ângulo do sombreamento gerado pelos dispositivos, em função da área das respectivas aberturas, utilizando a fórmula:

$$AS = (A_{jan1} \times \theta_{jan1}) + (A_{jan2} \times \theta_{jan2}) + \dots + (A_{janN} \times \theta_{janN}) / A_{jan1} + A_{jan2} + \dots + A_{janN}$$

a) Ângulo Vertical de Sombreamento (AVS): $(41,14^\circ \times 99,50) + (26,70^\circ \times 92,33) + (45^\circ \times 1,26) / 99,50 + 92,33 + 1,26 \rightarrow$ **AVS= 34,27°**

b) Ângulo Horizontal de Sombreamento (AHS): Nas fachadas norte e sul não existem dispositivos de proteção. Nas fachadas leste e oeste todas as proteções são iguais e possuem ângulo de 8°. Então, **AHS= 8°**

Após determinar os pré-requisitos e calcular todos os valores mostrados nas etapas anteriores, a **classificação do nível de eficiência da envoltória** foi realizada utilizando-se a ferramenta online webprescritivo (LabEEE, 2017).

O webprescritivo é um serviço web on line e gratuito para a avaliação de eficiência energética que simula a ENCE pela técnica “método prescritivo” do RTQ-C, para edificações comerciais, de serviços e públicos. A ferramenta foi usada para simular a obtenção da etiqueta de eficiência energética da envoltória. A ferramenta permite a avaliação dos pré-requisitos gerais e específicos do RTQ-C.

Os valores encontrados foram lançados na plataforma do webprescritivo, marcando-se a localização de Recife (Figura 76).

A classe de eficiência energética da envoltória encontrada foi C.

O nível de eficiência alcançado para a envoltória foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados, ou seja, a cobertura é composta por materiais que tem alto índice de transmissão de calor. A valor alto da

absortância também contribuiu para o resultado, pois esse índice é maior que 50%. Outro fato que deve ser considerado para a classificação encontrada é que a cobertura recebe uma grande quantidade de radiação solar durante o dia e na maior parte do ano. A edificação tem dois pavimentos e grande área de cobertura.

Figura 76 - Cálculo do nível de eficiência da envoltória no webprescritivo, pelo RTQ-C.

Pré-requisitos gerais

Circuitos elétricos

A edificação possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final

A edificação não possui circuito elétrico com possibilidade de medição centralizada por uso final ou não se aplica

Aquecimento de água

Atende pré-requisito para A Este

Atende pré-requisito para B Não

Atende pré-requisito para C

A edificação possui isolamento de tubulações

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 8 Cidade Recife PE

Dados Dimensionais da Edificação

A_{TOT} 1264.9 m² ? FA: 0.50 ?

A_{PCOB} 632.45 m² ?

A_{PE} 632.45 m² ?

V_{TOT} 3984.45 m³ ? FF: 0.38 ?

A_{ENV} 1500.34 m² ?

Características das Aberturas

FS 0.85

PAF_T 22.24

PAF_O 25.28

AVS 34.27

AHS 8

Pré-requisitos

U_{COB-AC} 2 W/(m²K) ? Q_{COB} 75 % ?

$U_{COB-ANC}$ 2 W/(m²K) ? CT_{PAR} 178.24 kJ/(m²K) ?

U_{PAR} 2.6 W/(m²K) ? Q_{PAR} 80 % ?

PAZ 0 % ? FS 0 ?

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados.

Calcular Eficiência Limpar

C

Fonte: Labeee/Webprescritivo, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

4.3 AVALIAÇÃO DA ENVOLTÓRIA SEGUNDO A INI-C

A técnica “método simplificado” da INI-C é aplicável para edificações que apresentam parâmetros construtivos com valores compreendidos entre determinados intervalos, utilizados na sua proposição, segundo a INI-C e explicitado no capítulo 3.

De posse dos dados dos pré-requisitos da edificação real, já calculados anteriormente na avaliação segundo o RTQ-C, foi verificado se os mesmos dados se encontram no intervalo de aplicação do “método simplificado” da INI-C, para saber se seria possível utilizar esta técnica. Foi verificado que sim.

Os parâmetros encontrados na edificação real foram inseridos no quadro 14.

Quadro 14 – Parâmetros da edificação real.

Parâmetro	Intervalo de aplicação	Dados da Edificação Real	Método Simplificado é aplicável?
Densidade de Potência - equipamentos (DPE)	4 - 40 W/m ²	9,7 W/m ²	Sim
Densidade de Potência - iluminação (DPI)	4 - 40 W/m ²	5,8 W/m ²	Sim
Fator solar do vidro (FS)	0,21 - 0,87	0,85	Sim
Transmitância térmica do vidro (Uvid)	1,9 - 5,7 W/m ²	4,77 W/m ²	Sim
Absortância da cobertura(α)	0,2 - 0,8	0,75	Sim
Absortância da parede (α)	0,2 - 0,8	0,8	Sim
Pé-direito (Pd)	2,6 - 6,6 m	3,15 m	Sim
Percentual de abertura da fachada (PAF)	0 - 80%	22,24%	Sim
Ângulo horizontal de sombreamento (AHS)	0 - 80°	8°	Sim
Ângulo vertical de sombreamento (AVS)	0 - 90°	34,27°	Sim
Ângulo de obstrução vizinha (AOV)	0 - 80°	0°	Sim
Contato com o solo	Sem e Com	Sem e Com	Sim
Transmitância da cobertura (Ucob)	0,51-5,07 W/m ² K	2,00 W/m ² K	Sim
Transmitância da parede (Upar)	0,50-4,40 W/m ² K	2,60 W/m ² K	Sim
Capacidade Térmica da cobertura (CTcob)	0,22-450 kJ/m ² K	302,78 kJ/m ² K	Sim
Capacidade Térmica da parede (CTpar)	0,22-450 kJ/m ² K	178,24 kJ/m ² K	Sim

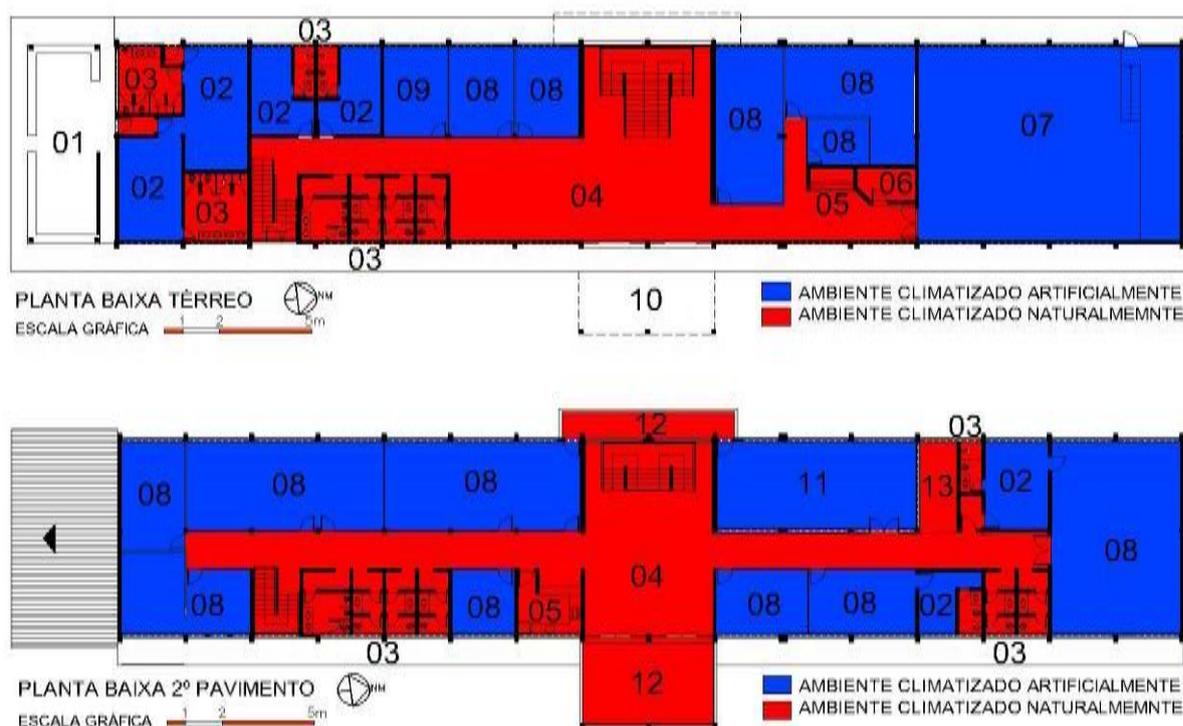
Fonte: INMETRO, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2018.

Para a aplicação do “método simplificado” e determinação do nível de eficiência energética da envoltória da edificação, seguimos os passos mencionados no capítulo anterior, de acordo com a INI-C:

a) Primeiro passo: Definição do uso dos espaços

A edificação tem uso administrativo. Considerou-se como uso de escritório, cujos parâmetros para esta tipologia são estabelecidos pela INI-C. Foram separadas as áreas condicionadas das áreas não condicionadas artificialmente (Figura 77).

Figura 77 - Ambientes condicionados e não condicionados artificialmente.



Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

01-Corpo da Guarda
02-Alojamento
03-Banheiro
04-Circulação
05-Copa
06-Sala de Som
07-Auditório

08-Sala Administrativa
09-Servidor
10-Acesso Veículos
11-Salão De Honra
12-Sacada
13-Antesala

b) Segundo Passo: Divisão das zonas térmicas

As zonas térmicas dos pavimentos foram divididas conforme os dados apresentados no quadro 15, onde foram inseridas as áreas e as orientações das zonas térmicas, conforme diretrizes da INI-C (Figura 78). As cores foram utilizadas para diferenciar as zonas perimetrais e internas. O primeiro pavimento está em contato com o solo. O 2º pavimento, que está sob a cobertura, possui contato com o exterior. Esses dados relativos ao térreo, contato com o solo, e pavimento em contato com o exterior, são exigências da técnica e devem ser informados na inserção dos parâmetros na interface web, para o cálculo do nível de eficiência energética da envoltória.

Figura 78 - Divisão das zonas térmicas, segundo a INI-C.



Fonte: Acervo técnico do Exército Brasileiro, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Quadro 15 – Dados das zonas térmicas da edificação.

Pavimento	Zona Térmica	Orientação	Tipo de Zona	Área (m ²)
Térreo	1	O	Perimetral	97,65
	2	O	Perimetral	106,87
	3	N	Perimetral	45,29
	4	L	Perimetral	38,66
	5	L	Perimetral	6,09
	6	S	Perimetral	14,49
	7	x	Interna	6,45
	8	x	Interna	13,50
	9	x	Interna	22,85
2º pavimento	1	O	Perimetral	113,42
	2	O	Perimetral	52,72
	3	O	Perimetral	34,96
	4	N	Perimetral	44,37
	5	L	Perimetral	12,80
	6	L	Perimetral	47,70
	7	L	Perimetral	12,33
	8	L	Perimetral	18,97
	9	S	Perimetral	22,34

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

c) Terceiro passo: determinação dos parâmetros de entrada da edificação real por tipo de zona térmica

Serão simuladas as cargas térmicas para resfriamento utilizando os parâmetros de entrada da edificação, tanto na condição real (parâmetros com base nos valores extraídos no projeto de arquitetura e colhidos no local) quanto na condição de referência, conforme tipologia de escritório e mostrados na figura 79:

Figura 79 - Parâmetros fixos para escritórios, na condição de referência.

Uso típico	Edificações de escritórios	
	Condição real	Condição de referência
Geometria		
Forma	Condição real	
Orientação solar (°)	Condição real	
Pé-direito (piso a teto) (m)	Condição real	
Aberturas		
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	Condição real	50
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	Condição real	0
Componentes construtivos		
<i>Parede</i>	Condição real	Argamassa interna (2,5 cm), bloco cerâmico furado (9 cm), argamassa externa (2,5 cm)
Upar - Transmitância da parede externa (W/m²K)	Condição real	2,39
α PAR - Absortância da parede (adimensional)	Condição real	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede (kJ/m²K)	Condição real	150
<i>Cobertura</i>	Condição real	Telha de fibrocimento, câmara de ar (>5 cm) e laje maciça de concreto (10 cm)
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m²K)	Condição real	2,06
α COB - Absortância da cobertura (adimensional)	Condição real	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m²K)	Condição real	233
<i>Vidro</i>	Condição real	Vidro simples incolor 6mm
FS - Fator solar do vidro (adimensional)	Condição real	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/m²K)	Condição real	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	Condição real	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	Condição real	0
AOV - Ângulo de obstrução vertical (°) *	Condição real	Condição real
Iluminação e ganhos		
DPI - Densidade de potência de iluminação (W/m²) **	Condição real	14,1***
Ocupação (m²/pessoa)	10,0	10,0
DPE - Densidade de potência de equipamentos (W/m²)	9,7	9,7
Horas de ocupação (horas)	10	
Dias de ocupação (N_{occ})****	260	
Condição do piso	Condição real	
Condição da cobertura	Condição real	
Isolamento do piso	Condição real	Sem isolamento
Condicionamento de ar (refrigeração)		
COP - Coeficiente de performance (W/W)	Condição real	2,60
Temperatura setpoint (°C)	24,0	
Aquecimento de água*****	-	

Fonte: INMETRO, 2018.

De acordo com as características provenientes da edificação e com as instruções da INI-C, os parâmetros da condição real e de referência para a inserção na interface, estão no quadro 16, onde os valores da condição real, já calculados e demonstrados, podem ser visualizados na cor verde e os valores da condição de referência considerando a tipologia de escritórios, extraídos da INI-C e preenchidos conforme figura 80, podem ser visualizados na cor amarela.

Quadro 16 - Limites dos parâmetros da edificação pelo método simplificado.

Parâmetros	Condição Real	Condição de Referência
Forma	Retangular	
Orientação solar (°)	0	
PD - Pé-direito (piso a teto) (m)	3,15	
PAF - Percentual de abertura da fachada (%)	22,24	50
PAZ - Percentual de abertura zenital (%)	0	0
Upar - Transmitância da parede externa (W/m ² K)	2,6	2,39
αPAR - Absortância da parede (adimensional)	0,8	0,5
CTpar - Capacidade térmica da parede (kJ/m ² K)	178,24	150
Ucob - Transmitância da cobertura (W/m ² K)	2	2,06
αCOB - Absortância da cobertura (adimensional)	0,75	0,8
CTcob - Capacidade térmica da cobertura (kJ/m ² K)	302,78	233
FS – Fator solar do vidro (adimensional)	0,85	0,82
Uvid - Transmitância do vidro (W/m ² K)	4,77	5,7
AHS - Ângulo horizontal de sombreamento (°)	8	0
AVS - Ângulo vertical de sombreamento (°)	34,27	0
AOV - Ângulo de obstrução vertical (°) *	0	
DPI - Densidade de Potência de Iluminação (W/m ²)	14,1	14,1
Densidade de ocupação (m ² /pessoa)	10	10
DPE - Densidade de Potência de Equipamentos (W/m ²)	9,7	9,7
Horas de ocupação (horas)	10	
Dias de ocupação	260	
Situação do piso	Contato com o solo: pav. térreo	
Situação da cobertura	Cobertura exposta: pav. cobertura	
Isolamento do piso	Sem isolamento	Sem isolamento
COP - Coeficiente de performance (W/W)	2,98	2,6
Temperatura Setpoint (°C)	24	

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

d) Quarto passo: cálculo da densidade de carga térmica para refrigeração (DCT)

Os dados dos parâmetros de entrada, foram inseridos na interface web que executou o cálculo da densidade de carga térmica para resfriamento, tanto para a condição real quanto para a condição de referência.

A interface web executa o metamodelo com base nas redes neurais artificiais das zonas térmicas definidas.

Após a inserção dos parâmetros na interface web, são calculados e extraídos os dados da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT (kWh/m².ano) e valores da carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, da condição real e da condição de referência da edificação, como podem ser vistos nas figuras 80 e 81.

Figura 80 - Inserção dos parâmetros de entrada e cálculo da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT (kWh/m². ano) e carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, na interface web, para a edificação real.

Edificação	Percentual de abertura da fachada	0,25	<input type="checkbox"/>	0,25	0,00	0,27	0,27	0,02
Estado	Ângulo horizontal de sombreamento	8,00	<input type="checkbox"/>	8,00	0,00	8,00	8,00	0,00
Cidade	Ângulo vertical de sombreamento	22,00	<input type="checkbox"/>	22,00	0,00	26,86	26,86	45,00
Número de pavimentos	Ângulo de obstrução vizinha	0,00	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zonas térmicas iguais nos pavimentos intermediários?	Horas de ocupação	10,00	<input checked="" type="checkbox"/>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Escolha o pavimento	Transmitância térmica da cobertura		<input type="checkbox"/>					
Dados da Tipologia	Transmitância térmica da parede	2,60	<input checked="" type="checkbox"/>	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
Número de zonas térmicas	Capacidade Térmica da cobertura		<input type="checkbox"/>					
CTt: 140730.87 kWh	Capacidade Térmica da parede	178,24	<input checked="" type="checkbox"/>	178,24	178,24	178,24	178,24	178,24
Calcular	Resfriamento:	178.18		178.18	160.87	177.92	177.92	153.59
	CTt:	17398.81		19041.58	7285.95	6878.31	1083.52	2225.46

Fonte: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#, modificado pelo autor, 2018.

Figura 81 - Inserção dos parâmetros de entrada e cálculo da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT (kWh/m². ano) e carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, na interface web, para a edificação de referência.

Edificação		Percentual de abertura da fachada	0,50	<input checked="" type="checkbox"/>	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Estado	PE	Ângulo horizontal de sombreamento (*)	0,00	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cidade	Recife	Ângulo vertical de sombreamento (*)	0,00	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Número de pavimentos	2	Ângulo de obstrução vizinha (*)	0,00	<input checked="" type="checkbox"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zonas térmicas iguais nos pavimentos intermediários?	Não	Horas de ocupação (h)	10,00	<input checked="" type="checkbox"/>	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Escolha o pavimento	Térreo	Transmitância térmica da cobertura (W/m ² K)		<input type="checkbox"/>					
Dados da Tipologia		Transmitância térmica da parede (W/m ² K)	2,39	<input checked="" type="checkbox"/>	2,39	2,39	2,39	2,39	2,39
Número de zonas térmicas	9	Capacidade Térmica da cobertura (kJ/m ² K)		<input type="checkbox"/>					
CT: 169785.08 kWh		Capacidade Térmica da parede (kJ/m ² K)	150,00	<input checked="" type="checkbox"/>	150,00	150,00	150,00	150,00	150,00
<input type="button" value="Calcular"/>		Resfriamento: (kWh/m ²)	207,68		207,68	207,37	206,05	206,05	193,11
		CTR: (kWh)	20279,66		22194,44	9391,76	7965,96	1254,85	2798,17

Fonte: http://pbeedifica.com.br/redes/comercial/index_with_angular.html#, modificado pelo autor, 2018.

O quadro 17 sintetiza os valores da densidade de carga térmica ao ano para resfriamento DCgT Resfriamento (kWh/m². ano) da condição real, na cor verde e da condição de referência da edificação, na cor amarelo, para cada uma das zonas térmicas extraídos da interface web.

Quadro 17 - Valores DCgT (kWh/m². ano) para a condição real e de referência para os pavimentos térreo e cobertura.

Pavimento	Zona	Condição Real	Condição de Referência
		DCgT Resfriamento (kWh/m ² .ano)	DCgT Resfriamento (kWh/m ² .ano)
Térreo	1	171,53	207,68
	2	171,53	207,68
	3	173,90	207,37
	4	173,00	206,05

	5	173,00	206,05
	6	161,70	193,11
	7	122,38	122,38
	8	122,38	122,38
	9	122,38	122,38
Cobertura	1	222,68	289,77
	2	222,68	289,77
	3	222,68	289,77
	4	224,19	288,49
	5	223,08	286,36
	6	223,08	286,36
	7	223,08	286,36
	8	223,08	286,36
	9	210,93	271,54

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

e) Quinto passo: cálculo da carga térmica total por ano na condição real e condição de referência

O quadro 18 sintetiza os valores da carga térmica de resfriamento (kWh/ano) por zona, da condição real, na cor verde, e da condição de referência da edificação na cor amarelo, extraídos da interface web. Esses valores resultam do produto da densidade de carga térmica, mostrados no quadro 17, pelas respectivas áreas das zonas térmicas, apresentadas na coluna de cor laranja. O valor total encontrado para a carga térmica de resfriamento foi de 140.730,87 KWh/ano para a condição real e 169.785,08 KWh/ano para a condição de referência.

Quadro 18 - Valores de carga térmica de resfriamento por zona da condição real e de referência.

Pavimento	Zona	Área (m ²)	Condição Real	Condição de Referência
			Carga Térmica de Resfriamento (kWh/ano)	Carga Térmica de Resfriamento (kWh/ano)
Térreo	1	97,65	16.749,59	20.279,66
	2	106,87	18.331,07	22.194,44
	3	45,29	7.875,96	9.391,76
	4	38,66	6.688,33	7.965,96
	5	6,09	1.053,59	1.254,85
	6	14,49	2.343,11	2.798,17

	7	6,45	789,33	789,33
	8	13,50	1.652,08	1.652,08
	9	22,85	2.796,30	2.796,30
Cobertura	1	113,42	25.255,91	32.866,04
	2	52,72	11.739,48	15.276,83
	3	34,96	7.784,75	10.130,46
	4	44,37	9.947,40	12.800,43
	5	12,80	2.855,39	3.665,36
	6	47,70	10.640,80	13.659,18
	7	12,33	2.750,55	3.530,77
	8	18,97	4.231,78	5.432,17
	9	22,34	4.712,17	6.066,21
Total			140.730,87	169.785,08

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

f) Sexto passo: obtenção do nível de eficiência energética da envoltória

As cargas térmicas totais anuais da condição real e da condição de referência devem ser comparadas para obtermos a classificação do nível de eficiência energética da envoltória de acordo com o percentual de economia da condição real em relação à condição de referência, segundo a escala de valores.

O Coeficiente de Redução de Carga Térmica Anual ($CRCg_{T_{A-D}}$) é encontrado tomando como parâmetro o fator de forma (FF) e o grupo climático (GCL) da edificação, como já demonstrado. O valor do coeficiente foi retirado da tabela mostrada no capítulo anterior e que está contida na INI-C, para o uso de escritórios. O GLC da cidade de Recife é 17 e o fator de forma, já calculado, é 0,376. Portanto o coeficiente é 0,15.

Para a subdivisão das escalas de eficiência energética, calculou-se o valor “i”, correspondente ao intervalo das classes A até E. Foi preenchido o quadro 19, extraído da INI-C que estabelece os limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação.

$$i = 169.785,08 \times 0,15 / 3 \rightarrow i = 8.489,25$$

Sendo a carga térmica de resfriamento total ($Cg_{T_{REF}}$) para a classe D na condição de referência, igual a 169.785,08 kWh/ano e $i=8.489,25$, e substituindo os valores, encontramos os limites dos intervalos das classes de eficiência energética para a envoltória, obtendo-se os valores mostrados conforme quadro 19.

Quadro 19 - Limites dos intervalos das classes de eficiência energética da envoltória da edificação.

Classe de eficiência	A	B	C	D	E
Limite superior	-	> 144.317,33	> 152.806,58	> 161.295,83	> 169.785,08
Limite inferior	< 144.317,33	≤ 152.806,58	≤ 161.295,83	≤ 169.785,08	-

Fonte: INMETRO, 2018.

A carga térmica total real (CgT_{TREAL}) do pavilhão do 4º BPE é **140.730,87 kWh/ano**. Este valor é menor que o valor de referência calculado para a classe A, como pode ser visto no quadro 19. Isso indica que envoltórias com cargas térmicas menores que 144.317,33 kWh/ano recebem a classe A de eficiência energética.

A envoltória se enquadra na **Classe A** de eficiência energética e o percentual de economia em relação ao nível D é de 17,11%.

A INI-C calcula a carga térmica anual de resfriamento, apresentando um dado físico que permite mensurar a economia de energia gerada. O RTQ-C não mensura este dado físico.

4.4 RETROFIT, DISCUSSÕES E RESULTADOS

A edificação em estudo foi analisada segundo o **método prescritivo do RTQ-C**, através da ferramenta webprescritivo. Cumpriu-se o requisito geral obrigatório para que fosse possível chegar aos níveis A e B de eficiência, ou seja, a edificação deveria possuir circuito elétrico e com possibilidade de medição centralizada por uso final.

No RTQ-C, quando a envoltória foi avaliada, o nível de eficiência foi limitado pela transmitância térmica da cobertura dos ambientes condicionados. Como pré-requisito específico, a transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) de ambientes condicionados artificialmente não deve ultrapassar os seguintes limites na zona bioclimática 8: 1,00 W/m²K, para atingir o nível A e 1,50 W/m²K, para atingir o nível B. O valor da transmitância térmica da cobertura (U_{cob}) da edificação foi 2,00 W/m²K, enquadrando a envoltória na classe C, como pode ser visto na figura 82. A

cobertura da edificação é formada por laje de 12cm, ático sem ventilação e telha de fibrocimento. Essa solução elevou o valor da transmitância da cobertura.

O Fator Solar (FS) não entra como pré-requisito. Galafassi e Pereira (2013, p. 09-10) reforçam que as variáveis de transmitância térmica e absorvância solar, tratadas como pré-requisitos para a envoltória e relacionadas entre si através do fator solar de elementos opacos (FS_o), não estão correlacionadas no RTQ-C.

Pelo RTQ-C, conforme visto no subcapítulo 4.2, a envoltória se enquadra na **classe C** de eficiência energética.

Figura 82 – Classificação da envoltória segundo o RTQ-C.

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 8 Cidade Recife PE

Pré-requisitos

U_{COB-AC}	2	W/(m ² K)	α_{COB}	75	%
$U_{COB-ANC}$	2	W/(m ² K)	CT_{PAR}	178.24	kJ/(m ² K)
U_{PAR}	2.6	W/(m ² K)	α_{PAR}	80	%
PAZ	0	%	FS	0	

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura

Calcular Eficiência Limpar

Barra de eficiência: [Verde] [Amarelo] [C] [Laranja] [Vermelho]

Fonte: Labeeee/Webprescritivo, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Conclui-se que se o pré-requisito específico da transmitância térmica da cobertura, não for atendido, ou seja, se não atingir no máximo o valor de 1,00 W/m²K, a avaliação da envoltória não resulta em classe A. Boas soluções de cobertura são essenciais em edificações no nosso clima, principalmente em edificações que têm uma predominância horizontal na sua volumetria. A cobertura recebe muita insolação a maior parte do dia, durante o ano inteiro. Para Corbella e Corner (2011, p. 56), em construções com poucos pavimentos, onde o partido é geralmente horizontal, com predominância do comprimento em relação à altura, a cobertura é o principal responsável pelo aumento da carga térmica decorrente da energia solar.

Em relação ao **método simplificado da INI-C**, a classificação é feita a partir da comparação entre o consumo de energia primária da edificação real e da edificação na condição de referência, analisando-se o percentual de economia gerado de uma condição para a outra.

A avaliação da envoltória se dá com base na avaliação da carga térmica gerada por ela. Isso permite avaliar e calcular a diferença do desempenho das envoltórias na condição real e de referência. Essa informação é importante para quem está planejando a edificação e para o consumidor final, pois permite entender o índice de economia, mensurando o desempenho do sistema.

A carga térmica total real da edificação ($Cg_{T_{REAL}}$) foi 140.730,87 kWh/ano. Este valor é menor que o valor de referência calculado para a classe A, que é 144.317,33 kWh/ano, ou seja, qualquer valor abaixo deste, tem classificação A.

A envoltória se enquadra na **classe A** de eficiência energética e o percentual de economia em relação ao nível D é de 17,11%, pela INI-C.

A modelagem da edificação na condição real pode ser vista na figura 83.

Figura 83 - Modelagem da edificação na condição real



Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Visando desenvolver avaliação comparativa entre o RTQ-C e a INI-C, serão feitas quatro sugestões de *retrofit* na envoltória da edificação, com o intuito de verificar a influência no comportamento do desempenho da envoltória e na obtenção do nível de eficiência energética com a etiqueta PBE Edifica.

Os *retrofits* foram aplicados com o auxílio das ferramentas webprescritivo do RTQ-C e interface web da INI-C.

a) *Retrofit* número 1

Optou-se por fazer intervenção apenas na absorvância da envoltória completa, contemplando cobertura e paredes da fachada, sem trocar nenhum revestimento nestes fechamentos. A absorvância da cobertura é 75% e foi alterado para 37% e a absorvância das paredes é 80% e foi alterado para 37%. Não houve alteração no restante dos parâmetros. O valor da absorvância proposto corresponde à cor branco gelo, ou seja, a intervenção consiste na pintura das fachadas e nas telhas da cobertura com cor branco gelo. Segundo Roriz e Dornelles (2005, p.1649) o fator que exerce maior influência sobre os ganhos de calor solar da envoltória é a absorvância solar.

A modelagem da edificação após o *retrofit* 1 pode ser vista na figura 84.

Figura 84 - Modelagem da edificação após o *retrofit* 1



Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Nesta simulação a ideia é analisar o comportamento da eficiência da envoltória realizando intervenção de baixo custo.

Após estas intervenções, o nível de eficiência da envoltória da envoltória, manteve-se na **classe C** (Figura 85), pelo RTQ-C.

Figura 85 - Classificação após o retrofit 1, pelo RTQ-C.

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 8 Cidade Recife PE

Pré-requisitos

U_{COB-AC} 2 W/(m²K) σ_{COB} 37 %

$U_{COB-ANC}$ 2 W/(m²K) CT_{PAR} 178.24 kJ/(m²K)

U_{PAR} 2.6 W/(m²K) σ_{PAR} 37 %

PAZ 0 % FS 0

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura c

Calcular Eficiência Limpar

■ ■ **C** ■ ■

Fonte: Labeee/Webprescritivo, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Com essas intervenções percebemos, na análise pelo RTQ-C, que não foi eficaz realizar pintura com cor clara, sem realizar intervenção na parte mais frágil da envoltória, nesse caso no material na coberta, pois o nível de eficiência da envoltória continuou limitado pela transmitância térmica da cobertura (U_{cob}). A forma mais horizontalizada da edificação pode ter contribuído para que o ganho térmico pela coberta influenciasse no desempenho da envoltória.

Pela INI-C, após o *retrofit* 1, a carga térmica CgT_{TREAL} passa de 140.730,87 kWh/ano para 115.212,96 kWh/ano.

O nível de eficiência energética da envoltória continua **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para **32,14%**, pela INI-C.

Um resumo das intervenções feitas pela INI-C pode ser visto no quadro 20.

Esse *retrofit* na envoltória, realizando pintura na cor clara, gerou mais economia de carga térmica. Esse tipo de análise de economia de carga térmica gerada é uma das grandes vantagens da INI-C em comparação ao RTQ-C.

Quadro 20 - Resultado do *retrofit* 1 pela INI-C.

Parâmetros alterados	Valor Condição Real	Valor no Retrofit 1	Classe Condição Real	Classe Após o Retrofit 1	Economia Condição Real	Economia Após o Retrofit 1
α_{cob}	0,75	0,37	A	A	17,11%	32,14%
α_{par}	0,80	0,37				

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

b) *Retrofit* número 2

Optou-se por fazer intervenção na absorvância da envoltória completa, contemplando cobertura e paredes da fachada e nos vidros das esquadrias. A absorvância da cobertura é 75% e foi alterado para 37% e a absorvância das paredes é 80% e foi alterado para 37%. O valor da absorvância proposto corresponde à cor branco gelo, ou seja, a intervenção consiste na pintura das fachadas e nas telhas da cobertura com cor branco gelo. Foi proposto também trocar os vidros das esquadrias, alterando o fator solar, de 0,85 para 0,27. Isso significa utilizar vidros com maior proteção solar para as janelas. Não houve intervenção na transmitância térmica de paredes e cobertura, bem como no restante dos parâmetros.

A modelagem da edificação após o *retrofit 2* pode ser vista na figura 86.

Figura 86 - Modelagem da edificação após o *retrofit 2*.



Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Após estas intervenções, o nível de eficiência da envoltória da envoltória, manteve-se na **classe C** (Figura 87), pelo RTQ-C.

Figura 87 - Classificação após o *retrofit 2*, pelo RTQ-C.

Fonte: Labeee/Webprescritivo, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Com essas intervenções percebemos, na análise pelo RTQ-C, que não adianta intervir nas esquadrias da envoltória, com a troca de vidros simples por vidros com maior proteção solar que apresentam alto custo e propor pintura com cores claras, sem realizar intervenção na parte mais frágil da envoltória, nesse caso no material da cobertura, pois o nível de eficiência da envoltória continuou limitado pela transmitância térmica da cobertura (U_{cob}). Segundo Lamberts, Dutra e Pereira (2014, p. 215), a transmitância térmica é a variável mais importante para avaliação do desempenho de fechamentos opacos.

Pela INI-C, após o *retrofit 2*, a carga térmica CgT_{TREAL} passa de 140.730,87 kWh/ano para 104.294,15 kWh/ano.

O nível de eficiência energética da envoltória continua sendo **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para **38,57%**, pela INI-C.

Um resumo das intervenções feitas pela INI-C pode ser visto no quadro 21.

Na INI-C, deve-se informar a transmitância (U_{vid}) e o fator solar (FS) do vidro. No RTQ-C não é exigido a U_{vid} . Esse *retrofit* promoveu maior economia de carga térmica.

Quadro 21 - Resultado do *retrofit 2* pela INI-C.

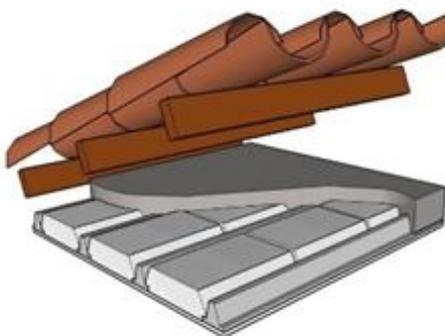
Parâmetros alterados	Valor Condição Real	Valor no Retrofit 2	Classe Condição Real	Classe Após o Retrofit 2	Economia Condição Real	Economia Após o Retrofit 2
α_{cob}	0,75	0,37	A	A	17,11%	38,57%
α_{par}	0,80	0,37				
U_{vid}	4,77	4,41				
FS	0,85	0,27				

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

c) *Retrofit* número 3

Neste *retrofit* as intervenções foram apenas na cobertura, já que ela continua sendo um limitante para aumentar o nível de classificação da envoltória na análise pelo RTQ-C. Foi diminuído tanto o valor da absorvância da cobertura, de 75% para 37%, considerando telhas na cor branco, como também da transmitância térmica da cobertura, 2,00 W/m²K para 1,26 W/m²K, considerando a troca da telha atual por telha cerâmica, mais adequada ao nosso clima (Figura 88).

Figura 88 - Coberta proposta com telha cerâmica



Fonte: PROJETEEEE, 2020.

A modelagem da edificação após o *retrofit* 3 pode ser vista na figura 89.

Figura 89 - Modelagem da edificação após *retrofit* 3



Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Após as intervenções, a envoltória obteve a **classe B**, mas não atingiu o nível máximo exigido pela norma para prédios públicos federais (figura 90), pelo RTQ-C.

Figura 90 - Classificação após o retrofit 3, pelo RTQ-C.

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 8 Cidade Recife PE

Pré-requisitos

U_{COB-AC}	1.26	W/(m ² K)	α_{COB}	37	%
$U_{COB-ANC}$	1.26	W/(m ² K)	CT_{PAR}	178.24	kJ/(m ² K)
U_{PAR}	2.6	W/(m ² K)	α_{PAR}	80	%
PAZ	0	%	FS	0	

* O nível de eficiência alcançado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura d

Calcular Eficiência Limpar

B

Fonte: Labeee/Webprescritivo, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Mesmo intervindo totalmente na coberta, alterando a transmitância (U) e absorptância (α), não foi possível atingir a classificação A para a envoltória. O desempenho continuou limitado pela transmitância térmica (U) da cobertura. Só com valor de transmitância máximo de 1,0 W/m²K, segundo o RTQ-C, seria possível obter o nível A.

Pela INI-C, após o *retrofit* 3, a carga térmica CgT_{TREAL} passa de 140.730,87 kWh/ano para 124.253,82 kWh/ano.

O nível de eficiência energética da envoltória continua sendo **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para **26,82%**, pela INI-C.

Um resumo das intervenções feitas pela INI-C pode ser visto no quadro 22.

Na análise pela INI-C, deve-se informar a carga térmica (CT) da coberta e parede. No RTQ-C é exigido apenas a carga térmica da parede. O acréscimo da CT da coberta gerou pouco alteração no resultado da carga térmica quando esta não é considerada na análise. Essa intervenção promoveu maior economia de carga térmica em relação à edificação real, mas menor economia em relação aos *retrofits* 1 e 2, anteriormente analisados, apesar de alcançar classe B pelo RTQ-C. O resultado poderia comprovar melhor desempenho com presença de maiores proteções solares nas aberturas. Carlo e Lamberts (2010, p.23) citam que as proteções solares não são diferenciadas por fachadas nas equações no RTQ-C, assim como a orientação do edifício.

Quadro 22 - Resultado do *retrofit* 3 pela INI-C.

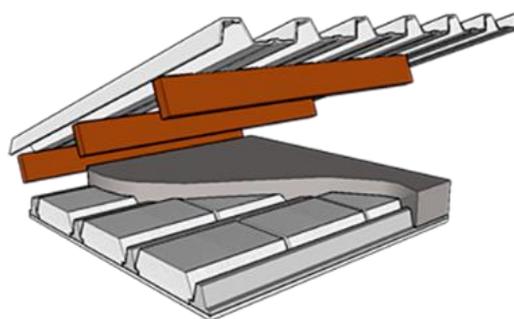
Parâmetros alterados	Valor Condição Real	Valor no Retrofit 3	Classe Condição Real	Classe Após o Retrofit 3	Economia Condição Real	Economia Após o Retrofit 3
α_{cob}	0,75	0,37	A	A	17,11%	26,82%
U _{cob}	2,00	1,26				

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

d) *Retrofit* número 4

Foram feitas intervenções em toda a envoltória. A absorvância da cobertura é 75% e foi alterado para 37% e a absorvância das paredes é 80% e foi alterado para 37%. O valor da absorvância proposto corresponde a uma pintura na cor branco gelo. Foi alterada a transmitância térmica da cobertura de 2,00 W/m²K para 0,6 W/m²K, utilizando telhas com proteção térmica de poliestireno com 6cm (Figura 91). A maior intervenção sugerida foi na cobertura, com a troca das telhas. As paredes da envoltória permanecem com a litocerâmica, mas receberam pintura na cor branco gelo. Foi proposto a troca dos vidros das esquadrias por um vidro com maior proteção solar para as janelas, alterando o fator solar, de 0,85 para 0,27. Não houve intervenção na transmitância térmica de paredes. Foi proposta a extensão da proteção solar horizontal existente, onde a angulação resultante foi 45°, ou seja, a máxima permitida pelo regulamento. Essa intervenção não está perceptível na modelagem do retrofit 4, mas promove mais sombra nas aberturas das fachadas leste e oeste a partir de determinados horários, e pode ser realizada construtivamente, complementando a laje de cobertura existente ou criando um elemento de proteção que se adeque à solução existente, sem alterar as características principais da fachada. Não houve alteração no restante dos parâmetros (Figura 92).

Figura 91 - Cobertura proposta com telha de poliestireno



Fonte: PROJETEEE, 2020.

A modelagem da edificação após o *retrofit* 4 pode ser vista na figura 93.

Figura 92 - Modelagem da edificação após *retrofit* 4.



Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Após essas intervenções a envoltória obteve o maior nível de eficiência energética entre os *retrofits*, obtendo a **classe A**, pelo RTQ-C (Figura 93).

Figura 93 - Classificação após o *retrofit* 4, pelo RTQ-C.

Envoltória

Localização

Zona Bioclimática ZB 8 Cidade Recife PE

Pré-requisitos

U_{COB-AC}	0.6 W/(m ² K)	g_{COB}	37 %
$U_{COB-ANC}$	0.6 W/(m ² K)	CT_{PAR}	178.24 kJ/(m ² K)
U_{PAR}	2.6 W/(m ² K)	g_{PAR}	37 %
PAZ	0 %	FS	0

Calcular Eficiência Limpar

A

Fonte: Labeee/Webprescritivo, adaptado por Danyeverson Oliveira, 2020.

Pela INI-C, após o *retrofit* 4, a carga térmica CgT_{TREAL} passa de 140.730,87 kWh/ano para 102.847,62 kWh/ano.

O nível de eficiência energética da envoltória continua sendo **classe A**, mas a economia de carga térmica aumenta de 17,11% para **39,42%**, pela INI-C.

Um resumo das intervenções feitas pela INI-C pode ser visto no quadro 23.

Pela INI-C, deve-se informar a carga térmica da cobertura (CT) e transmitância do vidro (Uvid). No RTQ-C esses parâmetros não são exigidos.

Foi o *retrofit* que obteve maior índice de redução no consumo. A ideia foi propor alterações que tivessem baixo impacto financeiro e menor intervenção possível na envoltória, por isso não houve intervenção no material das paredes.

Quadro 23 - Resultado do *retrofit* 4 pela INI-C.

Parâmetros alterados	Valor Condição Real	Valor no Retrofit 4	Classe Condição Real	Classe Após o Retrofit 4	Economia Condição Real	Economia Após o Retrofit 4
αcob	0,75	0,37	A	A	17,11%	39,42%
αpar	0,80	0,37				
Uvid	4,77	4,41				
FS	0,85	0,27				
Ucob	2,00	0,6				
CTcob	178,24	191,60				

Fonte: Elaborado por Danyeverson Oliveira, 2020.

O melhor resultado entre os *retrofit* realizados, utilizando a INI-C foi o de número 4. A envoltória se manteve na melhor classificação de eficiência energética, gerando uma economia de carga térmica de 39,42%, que se reflete em economia de consumo de energia elétrica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo avaliou, diagnosticou e classificou a eficiência energética da envoltória de uma edificação pública federal militar existente, localizada no 4º Batalhão de Polícia do Exército, em Recife-PE, aplicando as técnicas “método prescritivo” do RTQ-C e “método simplificado” da INI-C.

Pelo RTQ-C, a envoltória foi avaliada e obteve nível de classificação C. O resultado foi limitado pela transmitância térmica da cobertura. A cobertura da edificação é formada por laje de 12cm, ático sem ventilação e telha de fibrocimento. A absorvância das paredes e da cobertura também teve papel importante na baixa classificação. Através de estudos de *retrofit*, foi constatado que a envoltória recebe a classificação A quando melhorias são realizadas na cobertura, com a troca da telha de fibrocimento por telha com proteção térmica na cor branca, e nas paredes com a pintura na cor branca, alterando transmitância e absorvância desses elementos.

Pela INI-C, a envoltória foi avaliada e obteve nível de classificação A, gerando uma economia de 17,11% de carga térmica em relação à edificação na condição de referência. Através de estudos de *retrofit*, foi constatado que o maior percentual de economia foi alcançado com intervenções nas paredes, na telha e nos vidros das esquadrias da envoltória, onde foram sugeridas melhorias: nas paredes com uma pintura em cor clara; na cobertura uma telha com proteção térmica na cor branca; e nas janelas, um vidro de 6mm com proteção solar. Foram geradas alterações nos valores da transmitância da cobertura, absorvância da cobertura e parede, assim como na transmitância e fator solar do vidro. Após essas intervenções, o nível de eficiência energética da envoltória continuaria sendo classe A, mas aumentaria a porcentagem de economia de carga térmica em relação ao nível D de 17,11% para 39,42%.

A análise da envoltória utilizando o RTQ-C não leva em consideração a orientação da edificação. Já na INI-C, os parâmetros podem ser preenchidos considerando as diferentes zonas térmicas e as orientações das fachadas. As zonas térmicas podem ter dados diferentes. Os resultados podem ser mais bem discriminados e analisados. A utilização de um metamodelo de redes neurais artificiais na INI-C ajuda a mensurar a carga térmica anual, considerando as características termo físicas dos componentes da envoltória.

Outra vantagem da INI-C é a inserção de um parâmetro que o RTQ-C não contempla, a Densidade de Potência de Equipamento-DPE, considerando o consumo energético dos equipamentos elétricos utilizados na edificação.

No RTQ-C é utilizado o zoneamento bioclimático da NBR 15220-3/2005 que divide o Brasil em oito zonas bioclimáticas. Na INI-C considera-se o zoneamento proposto por Roriz que divide o Brasil em vinte e quatro grupos climáticos. Isso pode representar com mais exatidão as características climáticas de uma localidade, mas ainda faltam estudos que comprovem a eficácia deste zoneamento.

A definição pela INI-C, de uma tipologia de edificação com parâmetros pré-estabelecidos é um fator positivo na análise, pois as características tipológicas podem influenciar nos resultados da carga térmica, como densidade de ocupação, dias de ocupação e horas de ocupação.

A avaliação pelo método do RTQ-C permite mudança de sua classe de eficiência energética conforme o cumprimento ou não de pré-requisitos e/ou bonificações, mas não refletem o impacto real com relação ao consumo energético da edificação.

Na avaliação pela INI-C a informação relativa à redução do consumo de energia na edificação fica visível, principalmente para o consumidor final, além de ser uma informação relevante para os projetistas, ainda na fase de concepção do projeto.

A INI-C mostrou-se uma ferramenta mais eficiente para avaliar o desempenho energético e auxiliar o projetista, se comparada ao RTQ-C.

Esse estudo confirma a importância de pensar na eficiência energética e nas estratégias para aumentá-la, na fase de concepção do projeto de arquitetura, escolhendo a melhor orientação para a edificação, estratégias bioclimáticas mais indicadas, materiais construtivos mais adequados e diretrizes construtivas de acordo com o local e com o uso.

Apesar do RTQ-C possuir fragilidades na análise do desempenho energético e da INI-C se apresentar como um regulamento recente a ponto de não ser possível analisa-lo de forma comparativa com outros estudos, as técnicas compõem um ferramental importante para a arquitetura de edificações, sob a luz da eficiência energética. O atendimento dos parâmetros dos regulamentos significa uma nova maneira de pensar os projetos de arquitetura e de se pensar na redução do consumo ainda na fase de planejamento. Os desenhos da envoltória podem ser

alterados pelo arquiteto em função do nível da etiqueta no momento da concepção, caso apresente baixo desempenho.

O papel das estratégias bioclimáticas para a meio ambiente urbano e para o planejamento das edificações se torna fator preponderante para melhorar o desempenho das edificações, pois a ventilação natural, o sombreamento, o uso correto de materiais e elementos construtivos podem aumentar o desempenho energético das edificações, diminuindo o impacto do alto consumo para o meio ambiente.

Alguns parâmetros de projeto deveriam ser pensados na fase de concepção do projeto de arquitetura, como: transmitância térmica, fator solar e percentual de aberturas das fachadas, pois poderia representar em maior percentual de economia de energia. Os projetistas deveriam ter domínio dos parâmetros abordados na NBR 15.220-3/2005 e nos regulamentos estudados nesta pesquisa. As escolas de arquitetura deveriam realizar ações para que as disciplinas de conforto ambiental, que tratam destas questões, sejam mais valorizadas no contexto acadêmico.

Para trabalhos futuros, sugerem-se as seguintes ações para complementar esta pesquisa:

- a) Verificar custos dos *retrofits* sugeridos para a envoltória, para que possam ser realizados planejamentos baseados em valores;
- b) Analisar a eficiência da edificação como um todo, considerando também todos os sistemas que não foram analisados neste trabalho e classificando a edificação; e
- c) Realizar avaliação do usuário para analisar o conforto térmico na edificação.

As hipóteses desta pesquisa foram validadas e seus objetivos foram cumpridos, deixando uma contribuição ao conhecimento, às pesquisas em eficiência energética em edificações e ao desenvolvimento urbano.

REFERÊNCIAS

- ALVARES, Clayton Alcarde; STAPE, José Luiz; SENTELHAS, Paulo Cesar; GONÇALVES, José Leonardo de Moraes; SPAROVEK, Gerd. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, Stuttgart, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2013. Disponível em: <http://www.ingentaconnect.com/content/schweiz/mz/2013/00000022/00000006/art00008?token=004f1a11bab2a729bc7e41225f40382d2c2b4652767446624550576b34272c5f7b3d6d3f4e4b34a>. Acesso em: 06 out. 2020.
- ANDRADE, Suely Ferraz de. **Estudos de estratégias bioclimáticas no clima de Florianópolis**. 1996. 129f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.
- ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55-2013**: Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, EUA 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações: parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações: parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.
- BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídios para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.
- BARBOSA, Ariela Natasha Parrilha. **Urbanismo bioclimático**: efeitos do desenho urbano na sensação térmica. 2017. Tese (Doutorado em Arquitetura, Urbanismo e Tecnologia) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/102/102131/tde-16042018-152343/publico/CorrigidaArielaBarbosa.pdf>. Acesso em: 24 mar. 2021.
- BITTENCOURT, L; CÂNDIDO, C. **Introdução à ventilação natural**. Maceió: EDUFAL, 2006.
- BITTENCOURT, L.S. **Uso das cartas solares**: diretrizes para arquitetos. 4. ed. Maceió: EDUFAL, 2004.
- BOECK, Aloha. Densidade urbana pode ser fator chave para a economia de energia até 2050. **Desenvolvimento Urbano**. The City Fix Brasil, WRI Brasil Cidades Sustentáveis, Porto Alegre, fev. 2017. Disponível em: <http://thecityfixbrasil.com/2017/02/09/densidade-urbana-pode-ser-fator-chave-para-a-economia-de-energia-ate-2050/>. Acesso em: 12 jun. 2018.

BOGO, Amilcar José; PIETROBON, Claudio E., BARBOSA, Miriam Jerônimo; GOULART, Solange; PITTA, Telma; LAMBERTS, Roberto. **Bioclimatologia Aplicada ao Projeto de Edificações Visando o Conforto Térmico**. Relatório Interno do Núcleo de Pesquisa em Construção da UFSC. Florianópolis: NPC – UFSC, 1994.

BOGO, Amilcar José. **Limitações quanto aos parâmetros de desempenho térmico e estratégias bioclimáticas recomendadas pela norma brasileira de desempenho térmico de habitações de interesse social**. Anais do NUTAU 2008 – 7º Seminário Internacional: Espaço Sustentável, São Paulo, SP. São Paulo: NUTAU-USP, 2008.

BOGO, Amilcar José. **Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 e NBR 15575**. HOLOS, [S.l.], v. 7, p. 290-298, nov. 2016.

BRASIL. [Constituição (1988)]. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Brasília, DF: Presidência da República, [2016]. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 23 mar. 2020.

BRASIL. **Instrução Normativa n. 02 de 04 de junho de 2014**. Dispõe sobre regras para a aquisição ou locação de máquinas e aparelhos consumidores pela APF Direta, Autárquica e Fundacional, e uso da Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) nos projetos e respectivas edificações públicas federais novas ou que recebam retrofit. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n.106, p.102-103, 05 jun. 2014.

BRASIL. **Lei Federal Nº 10.295, de 17 de outubro de 2001**. Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/leis_2001/l10295.htm. Acesso em: 20 mai. 2020.

BRASIL. **Plano Anual de Aplicação de Recursos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL**. GCCE, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **III Conferência Nacional do Meio Ambiente: Mudanças climáticas**. Texto-base consolidado, 2008. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/participacao/images/pdfs/conferencias/Meio_ambiente_III/texto_base_3_conferencia_meio_ambiente.pdf. Acesso em: 06 out. 2019.

BRITTO CORREA, Celina. **Arquitetura bioclimática: Adequação do projeto de arquitetura ao meio ambiente natural**. Drops, São Paulo, n. 004.07, abr. 2002. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/revistas/read/drops/02.004/1590>. Acesso em: 12 dez. 2018.

CALDEIRA, Norma do Nascimento Batista. **A concepção arquitetônica para a eficiência energética de edificações – O caso da etiquetagem no Brasil**. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro,

Rio de Janeiro, 2011. Disponível em:
http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/NormaDoNascimentoBatistaCaldeira.pdf.
Acesso em: 31 jan. 2019.

CARLO, Joyce Correna; LAMBERTS, Roberto. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento de etiquetagem da eficiência energética de edifícios—parte 1: método prescritivo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n.2, p.7-26, abr./jun. 2010.

CORBELLA, Oscar; YANNAS, Simos. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos: conforto ambiental**. 2.ed. Rio de Janeiro: Revan, 2009.

CORBELLA, Oscar; CORNER, Viviane. **Manual de arquitetura bioclimática tropical para redução de consumo energético**. Rio de Janeiro: Revan, 2011.

CB3E [CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA]. Disponível em:
<http://cb3e.ufsc.br/>. Acesso em: 20 fev. 2020.

CB3E [CENTRO BRASILEIRO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA]. **Proposta de método para a avaliação da eficiência ecornernergética com base em energia primária de edificações comerciais, de serviços e públicas**. Versão 03. Florianópolis: Eletrobrás/UFSC, 2017. 151 p.

CBCS [Conselho Brasileiro de Construção Sustentável]. Disponível em:
<http://www.cbcs.org.br/website/>. Acesso em: 05 jan. 2019.

CLIMATE-DATA.ORG. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: 20 out. 2020.

ELETROBRÁS; INMETRO. **Manual para etiquetagem de edificações públicas: gestor público**. 2014. Disponível em:
<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica/manuais>. Acesso em: 22 set. 2018.

ELETROBRÁS; INMETRO. **Manual para a aplicação do RTQ-C: requisitos técnicos da qualidade para o nível de eficiência energética de edifícios comerciais, de serviços e públicos**. Versão 4, 2015. Disponível em:
<http://www.pbeedifica.com.br/etiquetagem/publica/manuais>. Acesso em: 22 set. 2018.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2019**: Ano base 2018. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 20 nov. 2018.

EPE [Empresa de Pesquisa Energética]. **Balanco Energético Nacional (BEN) 2020**: Ano base 2019. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-ben>. Acesso em: 06 out. 2020.

EXÉRCITO BRASILEIRO. **Histórico do 4ºBPE**. Disponível em:
<http://www.4bpe.eb.mil.br/index.php/menu-historico>. Acesso em: 06 ago. 2020.

FARR, Douglas. **Urbanismo sustentável: desenho urbano com a natureza**. Tradução: Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2013.

FERREIRA, Dilson Batista. **Por uma arquitetura bioclimática brasileira**. Maceió, 2015. Disponível em: https://www.aecweb.com.br/cont/a/por-uma-arquitetura-bioclimatica-brasileira_10869. Acesso em: 20 jan. 2019.

FREITAS, Ruskin Marinho de. **Entre mitos e limites: as possibilidades do adensamento construtivo face à qualidade de vida no ambiente urbano**. 2005. 271f. Tese (Doutorado em Arquitetura). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GALAFASSI, Marcelo. **Impacto do método prescritivo do RTQ-C no processo de projeto arquitetônico de edificações: a visão de arquitetos em Florianópolis-SC**. 2012. 102f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

GALAFASSI, M.; PEREIRA, F. O. R. **Análise crítico-reflexiva do método prescritivo do RTQ-C sob a óptica do projeto arquitetônico**. In: XII Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído – ENCAC – VIII Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído – ELACAC 2013. Brasília – DF. Anais... Brasília, Distrito Federal, 2013.

GHISI, Enedir. **Desenvolvimento de uma metodologia para retrofit em sistemas de iluminação**. 1997. 246f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1997.

GIVONI, B. **Passive and low energy cooling of buildings**. New York: Van Nostrand Reinhold publishing company, 1994.

HEYWOOD, H. **101 Regras básicas para uma arquitetura de baixo consumo energético**. São Paulo: Gustavo Gili, 2015.

HOLANDA, Armando de. **Roteiro para construir no Nordeste**. 2. ed. Recife: Instituto de Arquitetos do Brasil-PE; Universidade Federal de Pernambuco; Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento Urbano, 2010.

IEA [International Energy Agency]. **Melhorias globais na intensidade de energia primária, 2000-2018**. Disponível em: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-improvements-in-primary-energy-intensity-2000-2018>. Acesso em: 06 out.2020.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9662-censo-demografico-2010.html?edicao=9673&t=destaques>. Acesso em: 06 out. 2020.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **RTQ-C**: Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Eletrobrás. Brasília, 2014.

INMETRO - INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, QUALIDADE E TECNOLOGIA. **INI-C**: Instrução Normativa Inmetro para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Proposta de Aperfeiçoamento do Regulamento Técnico da Qualidade para a Classe de Eficiência Energética de Edificações Comerciais, de Serviços e Públicas. Eletrobrás. Brasília, 2018.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Analysis Sol-ar. Versão 6.2. 2009b. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/software/analysisSOLAR.htm>. Acesso em: 25 out. 2020.

LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE EDIFICAÇÕES, LABEEE. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. WebPrescritivo. Disponível em: <https://labeee.ufsc.br/sites/default/files/webprescritivo/index.html>. Acesso em: 25 out. 2020.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, Fernando O. R. **Eficiência energética na arquitetura**. Rio de Janeiro: Eletrobrás/Procel, 2014.

LEITE, Carlos. **Cidades sustentáveis, cidades inteligentes**: desenvolvimento sustentável num planeta urbano. Porto Alegre: Bookman, 2012.

LEITE, Ellen Flávia Weis; HACKENBERG, Ana Mirthes. **Eficiência energética de envoltória**: comparação dos métodos de avaliação RTQ-C e INI-C através de estudo de caso. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, Santa Catarina, v. 9, p. 532-552, fev. 2020. Disponível em: http://www.portaldeperiodicos.unisul.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/8716. Acesso em: 22 nov. 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MARQUES, M.C.S. **Eficiência energética**: teoria & prática. Itajubá: FUPAI, 2007.

MASCARÓ, Lucia; MASCARÓ, Juan Luis. **Ambiência Urbana**. 3. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2009.

MASCARÓ, Lucia; MASCARÓ, Juan Luis. **Incidência das variáveis projetivas e de construção no consumo energético dos edifícios**. 2 ed. Porto Alegre: Sagra - D.C. Luzzatto, 1992.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Cidades sustentáveis**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis.html>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Eficiência energética**: guia para etiquetagem de edifícios: volume 1. Brasília: MMA, 2015a. 70 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Etiquetagem do nível de eficiência energética do edifício sede do ministério do meio ambiente e ministério da cultura**: bloco B / esplanada dos ministérios - parte 1 - levantamento: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2015b. 76 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Etiquetagem do nível de eficiência energética do edifício sede do ministério do meio ambiente e ministério da cultura**: bloco B / esplanada dos ministérios - parte 2 - memorial de simulação e relatório das propriedades térmicas: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2015c. 76 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Guia prático de eficiência energética**: reunindo a experiência prática do projeto de etiquetagem: Ministério do Meio Ambiente e Ministério da Cultura. Brasília: MMA, 2014. 93 p.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Urbanismo sustentável**. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/urbanismo-sustentavel/item/8059.html>. Acesso em: 10 fev. 2019.

MONTANARI, Ketlin Bruna. **Envoltórias verdes em edificações**: proposta de uma estrutura de análise da sustentabilidade. Dissertação (Mestrado em Arquitetura, Tecnologia e Cidade) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, 2018. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/331686/1/Montanari_KetlinBruna_M.pdf. Acesso em: 30 jan. 2020.

MUNARIM, Ulisses. **Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado**: análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção. Tese. 2014. 290 f. (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

NAÇÕES UNIDAS BRASIL. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 06.out. 2020.

OLGYAY, V. **Design With Climate**. Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism. Princeton University Press, 4th ed. Princeton, New Jersey, 1963.

OBSERVATÓRIO DO CLIMA. **Emissões totais**. SEEG (Sistema de Estimativa de Emissões de Gases de Efeito Estufa) do Observatório do Clima. Disponível em: http://plataforma.seeg.eco.br/total_emission#. Acesso em: 06 out. 2020.

PBE EDIFICA. Edificações Etiquetadas, 2018. Disponível em: <http://www.pbeedifica.com.br>. Acesso em: 20 fev. 2021.

PROCELINFO [CENTRO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA]. Disponível em: <http://www.procelinfo.com.br/main.asp>. Acesso em: 29 set. 2020.

PROCEL [PROGRAMA NACIONAL DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA]. **Manual para Aplicação do RTQ-C**. Versão 4. Rio de Janeiro: Procel/Eletronbras, 2016. Disponível em: http://www.pbeedifica.com.br/sites/default/files/projetos/etiquetagem/comercial/downloads/manual_rtqc2016.pdf. Acesso em: 10 set. 2018.

PROJETEEE [Projetando Edificações Energeticamente Eficientes]. Disponível em: <http://projeteee.mma.gov.br/>. Acesso em: 05 fev. 2019.

RECIFE, Prefeitura do. **Planejamento urbano**. Disponível em <http://www2.recife.pe.gov.br/servico/curado?op=NTI4Mg==>. Acesso em 16 out. 2019.

RECIFE, Prefeitura do. ESIG-Informações geográficas do Recife. Disponível em: <https://esigportal.recife.pe.gov.br/arcgis/apps/webappviewer/index.html?id=679e74b46c7b44caaad64abd5f751b4b>. Acesso em 25 out. 2020.

RIPPEL R.; RIPPEL V.C.L.; LIMA J.F. Apontamentos sobre a população, o consumo de energia e a conservação dos recursos naturais. Dossiê: relações campo-cidade: Temas Livres. **Temas e Matizes**, Paraná, n. 16, p.155-171, 2009.

ROMERO, Marcelo A. O peso das decisões arquitetônicas no consumo de energia elétrica em edifícios de escritórios. In: NÚCLEO DE PESQUISA EM TECNOLOGIA DA ARQUITETURA E URBANISMO, 2., 1998, São Paulo. **Anais [...]** São Paulo: FAUUSP, 1998. p.52.

ROMERO, M. A. B. **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2015.

ROMÉRO, Marcelo de A; REIS, Lineu B. dos. **Eficiência energética em edifícios**. São Paulo: Manole, 2012.

ROMERO, Marta Adriana Bustos et al. Mudanças climáticas e ilhas de calor **urbanas**. Brasília: ETB, 2019.

ROMERO, Marta Adriana Bustos. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. Brasília: Editora UnB, 2013.

RORIZ, M. **Classificação de climas do Brasil – Versão 3.0**. ANTAC – Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – Grupo de trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações. São Carlos, SP: 2014.

RORIZ, M.; DORNELLES, K. A. **Identificação da absortância solar de superfícies opacas a partir de imagens digitalizadas**. In: VIII ENCONTRO NACIONAL SOBRE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, Anais... Maceió, 2005.

SEVEGNANI, K.B.; GHELFI FILHO, H.; SILVA, I.J.O. da. **Comparação de vários materiais de cobertura através de índices de conforto térmico**. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 1-7, abr. 1994. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90161994000100001&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 25 abr. 2021.

SCALCO, V.; FONSECA, R.; BECK, E.; PALLADINI, G.; MAIA, T.; ELI, L.; LAMBERTS, R. **Análise do potencial de economia baseado em edificações comerciais etiquetadas**. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído – ENTAC. Anais... Maceió, AL, 2014.

SERAFIN, Raquel May. **Avaliação da redução do consumo de energia elétrica em função do retrofit no edifício sede da eletrosul**. Florianópolis: UFSC, 2010.

VERSAGE, Rogério de Souza. **Metamodelo para estimar a carga térmica de edificações condicionadas artificialmente**. 2015. 191 pg. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

WASSOUF, Micheel. **Da casa passiva à norma Passivhaus: a arquitetura passiva em climas quentes**. Barcelona: Gustavo Gili, 2014.

WWF. **O que é desenvolvimento sustentável?** Disponível em: https://www.wwf.org.br/natureza_brasileira/questoes_ambientais/desenvolvimento_sustentavel/#:~:text=A%20defini%C3%A7%C3%A3o%20mais%20aceita%20para,os%20recursos%20para%20o%20futuro. Acesso em: 06 out. 2020.