



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

FERNANDO ANTONIO DA SILVA ALMEIDA

MODELANDO A INFORMAÇÃO DA CIDADE:

do estado da arte à construção de um conceito de *City Information Modeling* (CIM)



Recife
2018

FERNANDO ANTONIO DA SILVA ALMEIDA

MODELANDO A INFORMAÇÃO DA CIDADE:

do estado da arte à construção de um conceito de *City Information Modeling* (CIM)

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

Área de concentração: Arquitetura e Urbanismo

Orientador: Prof. Dr. Max Lira Veras Xavier de Andrade

Recife

2018

Catálogo na fonte
Bibliotecário Jonas Lucas Vieira, CRB4-1204

A447m Almeida, Fernando Antonio da Silva
Modelando a informação da cidade: do estado da arte à construção de um conceito de *City Information Modeling* (CIM) / Fernando Antonio da Silva Almeida. – Recife, 2018.
109 f.: il., fig.

Orientador: Max Lira Veras Xavier de Andrade.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação. Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Urbano, 2018.

Inclui referências e apêndice.

1. Modelagem da informação da cidade. 2. CIM. 3. TICs aplicadas às cidades. 4. Ontologias. I. Andrade, Max Lira Veras Xavier de (Orientador). II. Título.

711.4 CDD (22. ed.) UFPE (CAC 2018-185)

FERNANDO ANTONIO DA SILVA ALMEIDA

MODELANDO A INFORMAÇÃO DA CIDADE:

do estado da arte à construção de um conceito de *City Information Modeling* (CIM)

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

Aprovada em: 03/05/2018

BANCA EXAMINADORA

Prof. Max Lira Veras Xavier Andrade (Orientador)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Cristiano Felipe Borba do Nascimento (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Arivaldo Leão de Amorim (Examinador Externo)
Universidade Federal da Bahia

Prof. Daniel Ribeiro Cardoso (Examinador Externo)
Universidade Federal do Ceará

Ao meu filho, pelo perguntar.

Aos meus pais, pelo acreditar.

Aos meus amigos, pelo duvidar.

AGRADECIMENTOS

A Socorro e Helcir, mais uma vez e sempre, pelo apoio incondicional às minhas escolhas e serem meu porto na vida e na Várzea.

A Max Andrade, por ter-me apoiado já desde antes da minha candidatura ao mestrado, em minhas intenções de investigação e dali em diante nos caminhos que tomei ao longo da pesquisa, além da confiança e parceria construídas e fortalecidas desde então.

A Luiz Amorim, sempre presente como conselheiro e entusiasta em minha trajetória acadêmica, pelo estímulo constante; a Cláudia Loureiro, eternamente em memória, por ter incitado meu senso crítico desde graduando e pelo papel crucial na minha formação como pesquisador.

Aos professores Ana Rita Sá Carneiro, Luiz de la Mora, Ruskin Freitas, Virgínia Pontual, Norma Lacerda e Maria de Fátima Furtado pela valiosa contribuição na construção do caminho que conduziu à conclusão deste trabalho.

À inesquecível turma ME37+DO18, por todo o espírito inquieto, transformador, solidário e afetuoso que sempre pautou nossos encontros, em sala de aula e fora dela, e que deixará grande saudade; e à equipe do PPGDU, nos nomes de Renatinha, Carla e Vanessa, pelo constante apoio e por suavizar os percalços burocráticos da nossa vida acadêmica.

A Arivaldo Amorim, Daniel Cardoso (e equipe do LED-UFC), Regina Ruschel, Sérgio Scheer, Eduardo Toledo, Benamy Turkienicz, Umit Isikdag, Bilal Succar, Mariana Costa Lima e a todos os diretores da ABIMPE pelas conversas e planos partilhados sobre CIM nestes anos.

A Simone Jubert, que imergiu integralmente neste universo com curiosidade minuciosa e zelo amoroso, provocando, revisando, apoiando-me e ajudando-me tanto a manter o foco como a ampliar horizontes ao longo do período mais intenso da produção desta dissertação. Amo-te.

A Vanessa Maschio, pelo valioso e constante apoio; a Cristiano Borba, pelo espírito crítico, responsável e fraterno de sempre; a Márcio Erlich, Julieta Leite, Lucas Figueiredo e Letícia Mendes pelas frutíferas conversas de corredor.

A Bono, Luiz e Heitor, esses amores, por sempre perguntarem por tudo que minimamente lhes provoca, mantendo incessantemente acesa a chama da ciência ao meu redor.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (Capes), por meio da Pró-reitoria de Pesquisa da Universidade Federal de Pernambuco (Propesq-UFPE), pelo suporte financeiro para a realização desta pesquisa.

What does it matter? Why should we care about this new kind of architectural and urban design issue? It matters because the emerging civic structures and spatial arrangements of the digital era will profoundly affect our access to economic opportunities and public services, the character and content of public discourse, the forms of cultural activity, the enaction of power, and the experiences that give shape and texture to our daily routines. Massive and unstoppable changes are under way, but we are not passive subjects powerless to shape our fates. If we understand what is happening, and if we can conceive and explore alternative futures, we can find opportunities to intervene, sometimes to resist, to organize, to legislate, to plan, and to design (MITCHELL, 1996, p. 5).

RESUMO

Esta dissertação trata da modelagem da informação aplicada à cidade, entendendo o modelo de informação como uma descrição formal de tipos de ideias, fatos e processos que modelam uma porção de interesse do mundo real e fornecem um conjunto explícito de regras de interpretação de dados. A cidade, como macrossistema, gera um volume de dados massivo, diversificado e produzido de forma veloz, e os agentes envolvidos no seu planejamento e manutenção são igualmente diversos e valem-se de metodologias distintas e específicas de ação. A Modelagem da Informação da Cidade (*City Information Modeling* ou CIM) representa, assim, a intenção de ordenar e permitir maior interoperabilidade entre soluções que se utilizam de dados urbanos, aumentando coeficientes de compatibilidade, reduzindo perda de informação com melhorada capacidade de acessibilidade e permitindo tomadas de decisão melhor fundamentadas. Contudo, esta diversidade entre arranjos de dados possíveis nas cidades também se reflete na variedade de interpretações sobre CIM entre as pesquisas científicas, aspecto que, à medida que denota a riqueza que envolve o tema, demonstra a falta de convergência conceitual sobre o assunto. Com a finalidade de investigar o fio condutor entre as variadas abordagens existentes sobre CIM e, assim, conduzir à unificação de uma base de teórica, foi realizado um Mapeamento Sistemático da Literatura seguido de uma análise temática à luz da Teoria Fundamentada, da qual foi possível classificar as práticas em grupos temáticos e, por conseguinte, estabelecer categorias. A partir desta sistematização, esta dissertação propõe um conceito geral de CIM, com viés ontológico e articulado com paradigmas emergentes de TICs aplicadas às cidades. Esta abordagem conceitual sobre CIM e o reconhecimento de suas diversas aproximações vem no interesse de valorizar não apenas a aplicação, mas o desenvolvimento de TICs com o propósito de melhor tratar as problemáticas urbanas. E em razão da relevância da informação nesta senda, a ideia de trazer o urbanista para o cerne do desenvolvimento e uso de ontologias aplicadas à cidade parece ser a forma mais consistente de trazê-lo à condição de protagonista na elaboração de soluções inovadoras, colocando-o à frente do processo criativo junto aos demais profissionais das ciências da computação, engenharias e afins.

Palavras-chave: Modelagem da informação da cidade. CIM. TICs aplicadas às cidades. Ontologias.

ABSTRACT

This dissertation deals with information modeling applied to cities, taking information model as a formal description of types of ideas, facts and processes that model a portion of interest of the real world and provide an explicit set of rules of data interpretation. The city, as a macro-system, generates a massive, diversified and rapidly produced volume of data, and the agents involved in its planning and maintenance are equally diverse and rely on distinct and specific methodologies of action. City Information Modeling (CIM) thus represents the intention to sort and deliver better interoperability among solutions using urban data, increasing compatibility coefficients, reducing information loss with improved accessibility and support decision-making more efficiently. However, this diversity between possible data arrangements in cities also reflects the variety of CIM interpretations within scientific research, an aspect that, as it denotes the richness that surrounds the theme, demonstrates the lack of conceptual convergence on the subject. In order to investigate the guiding principle among the various approaches to CIM and thus step further into the convergence of a theoretical basis, a Systematic Literature Mapping was carried out followed by a thematic analysis according to the Grounded Theory, from which it was possible to classify the practices into thematic groups and, therefore, establish categories. This dissertation proposes, then, a general concept of CIM, ontology-oriented and articulated with emerging paradigms of ICTs applied to cities. This conceptual approach on CIM and the recognition of its various approaches comes in the interest of valuing not only the application but the development of ICTs in order to better tackle urban issues. Because of the relevance of data on this matter, the idea of bringing urbanists into the core of the development and use of ontologies applied to the city seems to be the most consistent way to reinforce their protagonist role in the elaboration of innovative solutions, ahead the creative process amongst other professionals in computer sciences, engineering and related fields.

Keywords: City Information Modeling. CIM. ICTs applied to cities. Ontologies.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Cidade Inteligente plena e fragmentada.....	17
Figura 2 – Estruturação para realização do MSL e análise temática.....	33
Figura 3 – Esquema conceitual em camadas da modelagem da informação do padrão IFC (simplificado)	38
Figura 4 – Esquema conceitual em camadas da modelagem da informação do padrão CityGML.....	40
Figura 5 – Arranjo modular de um modelo de informação da cidade, segundo XU et al.....	41
Figura 6 – Mapeamento de relações entre módulos CityGML e CIM, segundo XU et al.....	41
Figura 7 – Mapeamento de relações entre classes IFC e módulos CIM, segundo XU et al.	42
Figura 8 – Interseção das áreas de CityGML e IFC, segundo El-Mekawy.....	43
Figura 9 – Enquadramento metodológico utilizado por Mekawy.....	44
Figura 10 – Representação da ontologia UML	45
Figura 11 – Representação da ontologia QUASY	47
Figura 12 – Representação da ontologia da extensão GeoBIM	49
Figura 13 – Modelo conceitual básico da plataforma computacional <i>City Induction</i>	52
Figura 14 – Representação simplificada da ontologia do ambiente urbano.	53
Figura 15 – Diagrama da ontologia do estágio de <i>pre-design</i>	54
Figura 16 – Modelo conceitual de formulação.....	55
Figura 17 – Ferramenta <i>CityMaker</i> com regras implementadas no <i>Grasshopper</i> (dir.) e visualizada no <i>Rhinoceros</i> (esq.).....	56
Figura 18 – Modelo conceitual de avaliação no contexto amplo do <i>City Induction</i>	56
Figura 19 – Esquema de decomposição de traçado urbano de bordas a blocos e de blocos a grafo e matriz (sentido horário) do centro de Stortorget, segundo Stojanovski	58
Figura 20 – Representação de territórios como um conjunto de espaços delimitados por limites, entradas e saídas e suas relações, segundo Stojanovski.....	59
Figura 21 – Representação topológica do estoque imobiliário comercial em Tyne e Wear	61
Figura 22 – Modelo VNG e a realização de uma busca (<i>query</i>)	62
Figura 23 – Plataforma Flux Metro exibindo um quadro de dados de um lote selecionado	64
Figura 24 – Plataforma ViziCities exibindo em tempo real o posicionamento e movimentação dos ônibus do transporte público de Londres.....	65
Figura 25 – Visualização da plataforma <i>web</i> do 5D Smart City.....	67
Figura 26 – Modelo conceitual geral de plataformas CIM voltadas ao arranjo qualitativo de dados	68
Figura 27 – Esquema de integração entre abordagens CIM.....	83
Figura 28 – Representação esquemática de funcionamento da plataforma SOFIA2	89
Figura 29 – Representação da estruturação ontológica do SCRIBE de um departamento municipal (tráfego, no caso) dentro de uma organização mais ampla de departamentos de serviços urbanos.....	90
Figura 30 – Superclasses ou domínios da ontologia SCO.....	91

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Publicações identificadas como ‘documentos de referência’	35
Quadro 2 – Publicações identificadas como ‘documentos complementares’	35
Quadro 3 – Documentos adicionais pelo método <i>snowball</i>	36
Quadro 4 – Códigos e temas gerados a partir da análise temática.....	37
Quadro 5 – Mapeamento relacional entre classes IFC e tipos do CityGML	42
Quadro 6 – Mapeamento relacional entre classes IFC, UBM e CityGML.....	44
Quadro 7 – Mapeamento relacional entre classes IFC e classes QUASY	47
Quadro 8 – Mapeamento de classes IFC compatíveis com CityGML, segundo Berlo e Laat	48
Quadro 9 – Quadro-síntese das categorias CIM.....	75
Quadro 10 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as paravras-chave ‘city information modeling’, ‘city information modelling’ e ‘city information model’.	105
Quadro 11 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as paravras-chave ‘urban information modeling’, ‘urban information modelling’ e ‘urban information model’.	107

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
API	<i>Application Programming Interface</i> (Interface de Programação de Aplicação)
BDS	<i>Building Description System</i> (Sistema Descritivo da Construção)
BIM	<i>Building Information Modeling</i> (Modelo ou Modelagem da Informação da Construção)
CAD	<i>Computer Aided Design</i> (Projeto Assistido por Computador)
CIM	<i>City Information Modeling</i> (Modelo ou Modelagem da Informação da Cidade)
CIM-BE	<i>CIM by Built Environment</i> (CIM por Ambiente Construído)
CIM-DL	<i>CIM by Data Layers</i> (CIM por Camadas de Dados)
CIM-SP	<i>CIM by Shape Parameters</i> (CIM por Parâmetros da Forma)
CityGML	<i>City Geography Markup Language</i> (Linguagem de Marcação para Geografia aplicada à Cidade)
GE-VCREM	Geo-Visualising Commercial Real Estate Markets (Geovisualização de Mercados Imobiliários Comerciais)
GeoJSON	Geographic JavaScript Object Notation (Notação de Objeto Geográfico JavaScript)
GIS	Geographic Information System (Sistema de Informações Geográficas, equivalente a SIG)
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
IFC	Industry Foundation Classes (Classes de Base da Indústria)
IoT	Internet of Things (Internet das Coisas)
JSON	JavaScript Object Notation (Notação de Objeto JavaScript)
LIDAR	Light Detection And Ranging (Detecção e Variação de Luz)
LOD	Level Of Detail (Nível de Detalhamento)
M2M	Machine-To-Machine (Máquina-Para-Máquina)
MEP	Mechanical, Electrical and Plumbing (sistemas Mecânicos, Elétricos e Hidráulicos)
MSL	Mapeamento Sistemático da Literatura
OGC	Open Geospatial Consortium (Consórcio Geoespacial Aberto)
QUASY	Quartierdaten-Managementsystem (Sistema de Gestão de Dados de Vizinhança)
RFID	Radio-Frequency Identification (Identificação por Radiofrequência)
SaaS	Software As A Service (Software Como Serviço)
SC	Smart City (Cidade Inteligente)
SCO	Smart City Ontology (Ontologia para Cidades Inteligentes)
SCRIBE	Smart Cities Reference Information and Behavior Exchange (Intercâmbio de Referência para Informações e Comportamentos sobre Cidades Inteligentes)
SIG	Sistema de Informações Geográficas (equivalente a GIS)
SOFIA2	Smart Objects For Intelligent Applications v. 2 (Objetos Inteligentes Para Aplicações Inteligentes Versão 2)
TIC	Tecnologias da Informação e Comunicação
UBM	Unified Building Model (Modelo Unificado de Edificação)
UIM	Urban Information Modeling (Modelo ou Modelagem da Informação Urbana)
VNG	Virtual NewcastleGateshead (NewcastleGateshead Virtuais)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1	<i>Information Modeling</i> : sobre modelagem da informação e ontologias	21
2.2	Do B ao C: a origem do CIM	26
3	CIM E SUAS APROXIMAÇÕES	32
3.1	A integração entre BIM e CIM	37
3.2	CIM e o urbanismo paramétrico	50
3.3	CIM e arranjos qualitativos de dados	60
4	ESTRUTURANDO CIM	70
4.1	Categorias de CIM	70
4.1.1.	<i>CIM por Ambiente Construído (CIM-BE)</i>	70
4.1.2.	<i>CIM por Parâmetros da Forma (CIM-SP)</i>	72
4.1.3.	<i>CIM por Camadas de Dados (CIM-DL)</i>	73
4.2	Quadro-síntese das categorias de CIM.....	74
4.3	Conceituando CIM.....	76
5	INTEGRANDO CIM	82
5.1	CIM-SP como vetor de um ideal de sustentabilidade urbana	84
5.2	CIM-DL como vetor de práticas participativas nas cidades	85
5.3	CIM-BE como vetor de implantação de marcos de competitividade nas cidades.....	86
5.4	Arranjos entre categorias de CIM como ontologias integradas	87
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	92
6.1	Objetivos alcançados.....	92
6.2	Modificações na estrutura da pesquisa, limitações e dificuldades	93
6.3	Pontos para discussão e trabalhos futuros.....	94
	REFERÊNCIAS	96
	APÊNDICE A - Resultados das buscas em repositórios	105

1 INTRODUÇÃO

À medida que as cidades têm se tornado ambientes mais complexos, as relações de troca baseadas em informação que ali se manifestam foram tornando-se mais sofisticadas e volumosas. Por sofisticadas são entendidas as relações que usam de múltiplas plataformas (físicas e virtuais), não padronizadas e simultaneamente, para obter determinados resultados em períodos temporais cada vez mais curtos. Por exemplo, é latente na atualidade, e entre usuários das mais variadas classes sociais, a difusão do uso de aplicativos para *smartphones*, entre os quais aqueles de navegação veicular, de monitoramento do transporte público, de solicitação de serviços de transporte privado, de redes sociais (nas quais também são negociados produtos e serviços), entre outros. Por volumosas compreende-se a adesão de cada vez mais pessoas aos sistemas urbanos, o que, segundo demonstram dados estatísticos que recentemente constataram que mais da metade da população mundial vive em cidades, mantém-se em uma curva ascendente.

Em paralelo e muitas vezes em razão desta diversidade de relações de troca, a cidade, como território físico no qual agem dinâmicas expansivas, responde de maneira própria e também diversamente no surgimento de novos desafios, tais como redes de mobilidade saturadas, alagamentos, crises de fornecimento de energia e água, manejo ineficiente de resíduos sólidos, decadência das redes físicas urbanas, desequilíbrios microclimáticos, catástrofes naturais, entre outros.

A dinâmica destes eventos dá-se a um passo muito mais célere e intenso que a dinâmica do ferramental da gestão pública pode acompanhar, seja este em suas leis ou em seu aparato técnico de capital humano e tecnologias, o que denota uma urgência na implementação de mecanismos que permitam, por exemplo, monitorar estes pontos críticos detalhada e sistemicamente, em tempo real e que permitam sua mitigação de forma eficiente.

Esta necessidade extrapola uma mera demanda funcional e, segundo Castells, é uma característica inerente ao que ele chama de atual paradigma da tecnologia da informação, no qual “a informação é sua matéria-prima: *são tecnologias para agir sobre a informação*, não apenas informação para agir sobre a tecnologia, como foi o caso das revoluções tecnológicas anteriores” (1999, p. 108, grifo do autor). Ascher (2010), ao elencar o que julga serem os princípios de um novo urbanismo, pondera sobre esta complexidade das cidades em rede alegando que o urbanismo pertinente a este novo paradigma tecnológico (ou ‘neourbanismo’) está diretamente vinculado a uma capacidade emergente de lidar com informações complexas. Seria um urbanismo de

resultados, capaz de produzir regras que sejam simultaneamente incentivadoras e limitantes, o que vem a requerer competências técnicas e profissionais mais sofisticadas. Segundo ele,

são necessárias não só novas capacidades para definir projetos de maneira mais essencial e estratégica, mas também conhecimento e ferramentas para integrar as lógicas dos atores, avaliar suas propostas, julgar sua adequação em relação aos objetivos e sua eficiência para a coletividade, identificando e avaliando seus possíveis efeitos. Esse urbanismo é também muito mais criativo, pois mobiliza inteligências variadas e múltiplas lógicas, particularmente aquelas dos atores que realizam operações urbanas (ASCHER, 2010, p. 85).

Os novos modelos de produtividade e gestão que integram este ‘neourbanismo’, assim como as contribuições das ciências administrativas e das tecnologias da informação e comunicação (TICs), buscam, antes de tudo, dar conta de territórios e situações complexas, de modo que a sua performance e sustentabilidade são obtidas pela variedade, flexibilidade e capacidade de reação (ASCHER, 2010).

É possível identificar várias iniciativas ao redor do mundo com o foco em soluções integradas de tecnologia com a finalidade de promover avanços socioeconômicos nas cidades, e nisto destacam-se os vários conceitos acerca do termo *Smart City* (SC ou Cidade Inteligente). Neste sentido, Hollands ilustra que

[...] debates acerca do futuro do desenvolvimento urbano em muitos países ocidentais têm sido cada vez mais influenciados por discussões envolvendo a ideia de *Smart Cities*, [...] e nos últimos anos tem-se visto numerosos exemplos de cidades que assim se designam¹ (2008, p. 1).

Embora este termo ainda não esteja perfeitamente delineado quanto a uma definição exata (e cuja etimologia é bastante suscetível a críticas), o fato é que tem sido empregado em diversos países com abordagens variáveis, mas convergentes no que se refere ao uso das TICs como base instrumental (ALBINO et al., 2015; THOMPSON, 2015; KON; SANTANA, 2016). A ONU, por exemplo, por meio do Grupo Focal da União Internacional de Telecomunicações (UIT) sobre Cidades Inteligentes e Sustentáveis, estabeleceu que

[...] uma cidade inteligente e sustentável é uma cidade inovadora que utiliza as TICs e outros meios para melhorar a qualidade de vida, a eficiência das operações e serviços e a competitividade das cidades, enquanto garante o atendimento às

¹ Tradução livre nossa: “*Debates about the future of urban development in many Western countries have been increasingly influenced by discussions of Smart Cities [...] and there have been numerous examples of cities designated as such in recent years.*”

necessidades das gerações atuais e futuras relacionadas aos seus aspectos econômicos, sociais, ambientais e culturais² (UNION, 2015).

Batty et al.(2012), por sua vez, alegam que cidades só podem ser ‘inteligentes’ se há funções de inteligência capazes de integrar e sintetizar o montante de dados urbanos com algum propósito, como modos de aperfeiçoar a eficiência, equidade, sustentabilidade e qualidade de vida nas cidades. Isto, na prática, tem levado à convergência de diversos processos de cima para baixo e de baixo para cima (*top-down* e *bottom-up*), entre os quais forças do mercado e ações de planejamento estratégico urbano das municipalidades juntam-se na construção de redes de banda larga, sistemas operacionais urbanos, sistemas embarcados e softwares, todos estes voltados à promoção de mudanças no funcionamento e na vida nas cidades (KOMNINOS et al., 2015).

Este crescente interesse de municipalidades em se estabelecerem ou declararem como SCs somado ao aumento de investimentos por órgãos financiadores e entidades federais tem permitido o crescimento de um mercado cada vez mais robusto relativo a soluções para SCs. A economia global neste tema, embora ainda difícil de se estimar com precisão, é de grandeza bilionária. Segundo a organização de pesquisa Markets and Markets (M&M), o mercado das SCs movimentou em 2015 o montante geral de cerca de US\$ 310 bilhões e prevê movimentar cerca de US\$ 760 bilhões até 2020³ (MARKETS, 2016), enquanto uma pesquisa desenvolvida pelo Departamento Britânico para Negócios, Inovação e Habilidades estima para 2020 algo em torno de US\$ 408 bilhões. O grau de imprecisão do montante financeiro envolvido varia de acordo com a área de atuação em questão. Por exemplo, a previsão para o setor de ‘transporte inteligente’ em 2020 é de um mercado de US\$ 156 bilhões segundo a M&M, enquanto a organização de pesquisa Pike Research prevê para as mesmas área e período o montante de US\$6 bilhões (ARUP, 2013). Embora imprecisas, são cifras elevadas que têm aquecido mercados nas áreas de TICs e de construção civil voltada à escala da cidade (energia, transporte, água, etc.).

Por outro lado, há que se pesar, de fato, os resultados entregues dentro deste mercado, ou seja, se as SCs têm de fato participado efetiva e positivamente da melhoria das cidades, ainda que em áreas específicas de atuação. Komninos (2015) constata que, apesar de grande investimento destinado ao desenvolvimento econômico e comércio eletrônico, governança e

² Tradução livre nossa: “[...] *a smart sustainable city is an innovative city that uses information and communication technologies (ICTs) and other means to improve quality of life, efficiency of urban operation and services, and competitiveness, while ensuring that it meets the needs of present and future generations with respect to economic, social, environmental as well as cultural aspects.*”

³ Estes valores referem-se a dados coletados das receitas aferidas e projeções dos principais fornecedores mundiais de produtos e soluções para SCs.

administração digitais, otimização de transportes e de consumo de energia, domínios estes frequentemente abordados nas soluções destinadas às SCs, a existência de documentação detalhada sobre impacto destas soluções é rara. Os estudos existentes acerca de soluções ‘inteligentes’ para sistemas de energia e transporte, por sua vez, têm demonstrado um espectro muito limitado de melhorias reais.

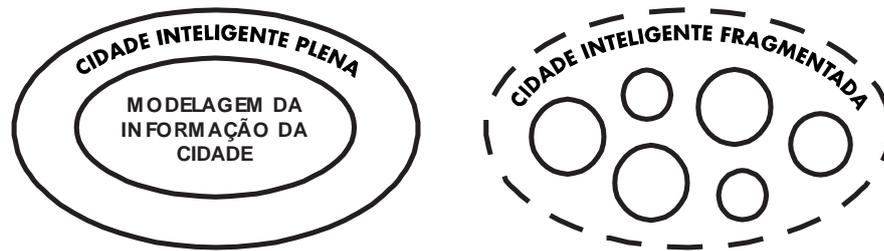
Uma das razões para a ausência de efetividade em grandes mudanças urbanas nas SCs é a ausência de um tratamento sistêmico mais amplo dos sistemas de informação envolvidos. A predominância de iniciativas de baixo para cima, que partem de indivíduos e organizações, voltadas à construção de soluções e aplicações de SCs, é realizada sem planejamento central ou sequer algum controle da municipalidade. Embora fragmentado, este aglomerado de aplicativos existentes que atendem às necessidades urbanas marca um ponto de virada fundamental na construção das cidades contemporâneas e dependem de criatividade, habilidades digitais e processos de aprendizagem que melhoram as capacidades dos cidadãos, devendo ser estimulado. Komninos et al., entretanto, destacam que

a abundância de aplicativos [voltados] para SCs, criados de uma maneira de baixo para cima e desconexa, leva à criação de SCs por aglomeração. De alguma forma, o processo de urbanização espontânea, que alimentou o crescimento das cidades pela concentração geográfica de pessoas e atividades, começou a se reproduzir. Como no caso da urbanização espontânea, as SCs criadas pela aglomeração de aplicativos não têm uma estrutura clara, e, quando a estrutura existe, ela aparece como um padrão emergente do comportamento caótico dentro de sistemas complexos⁴ (2015, p. 2, tradução nossa).

Faz-se necessária, portanto, uma abordagem sistêmica voltada ao estabelecimento de um modelo de informação da cidade, constituído com a finalidade de ordenar e permitir uma maior interoperabilidade entre estas soluções, aumentando coeficientes de compatibilidade, gerando dados mais uniformes e permitindo tomadas de decisão melhor fundamentadas. Esta visão sistêmica das redes de informação urbanas é aqui entendida como a base para a estruturação e implementação de uma SC plena, sendo nomeada como Modelagem da Informação da Cidade (CIM – *City Information Modeling*) (ver Figura 1).

⁴ Livre tradução nossa: “*The plethora of smart city applications, created in an uncoordinated bottom-up manner, leads to the creation of smart cities by agglomeration. Somehow, the spontaneous urbanization process, which nurtured the growth of cities by the geographical concentration of people and activities, has begun to replicate. As in the case of spontaneous urbanization, smart cities created by the agglomeration of applications have no clear structure, and when the structure exists, it appears as a pattern emerging from chaotic behavior within complex systems.*”

Figura 1 – Cidade Inteligente plena e fragmentada



Fonte: Elaborada pelo autor.

CIM é uma área de pesquisa ainda emergente, na qual os campos do urbanismo, geografia, cartografia, estatística, engenharias e ciências da computação e informação inter-relacionam-se em distintos arranjos. O acrônimo foi cunhado originalmente⁵ em 2005 por Khemlani em seu blog especializado AECbytes, em um artigo que trata da relação entre paradigmas tecnológicos existentes e a situação de crises urbanas, neste caso a deflagrada pelo furacão Katrina naquele ano (KHEMLANI, 2005). Como paradigma tecnológico existente ela toma a Modelagem da Informação da Construção ou BIM (acrônimo de *Building Information Modeling*) como referência não especificamente à construção, mas à validade e necessidade de um sistema que trata de um modelo coeso de informação que entrega controle e colaboração com agilidade. Desta lógica inerente a BIM, ela sugere CIM, projetando a necessidade de um modelo de informações da cidade como plataforma para suportar tomadas de decisão mais céleres e acertadas.

Pouco mais de dez anos depois observa-se que o termo CIM difundiu-se em diversas pesquisas científicas, sendo atualmente empregado na literatura em abordagens nas quais prevalecem, mas não unanimemente, os aspectos de representação tridimensional georreferenciada de edifícios e obras de arte da engenharia sobre o território urbano. Esta representação é, predominantemente, constituída pela importação de modelos BIM com maiores ou menores níveis de detalhes, com o propósito de se construir modelos virtuais de cidades para distintas finalidades (PLUME; MITCHELL, 2011). Outras abordagens sobre CIM também têm lugar na produção científica mundial, e esta dissertação discorrerá mais detidamente sobre este espectro mais à frente, inclusive no sentido de categorizar estas distintas aproximações.

A maneira que CIM pode vir a contribuir no tratamento da problemática da ineficiência de algumas das soluções aplicadas às SCs reside em seu cerne. Na vida real das cidades, o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida são definidos por uma série de rotinas que

⁵ Considera-se esta aparição como a primeira no sentido de ter sido a fonte de referência de maior visibilidade e mais antiga nas diversas literaturas sobre o assunto.

codificam as práticas diárias dos cidadãos, organizações, governos e demais partes interessadas. Embora a eficiência das SCs como ‘produto final’ seja questionável (KOMNINOS et al., 2015) (considerando-se o modo como são articuladas como negócio), as soluções de TIC que fundamentam os processos, políticas e tecnologias voltadas, e as potencialmente voltadas, às SCs tendem a modificar aquelas rotinas e introduzir novos modos de agir diante dos problemas das cidades, com foco no aumento da eficiência e na construção de uma base de conhecimento. O potencial destas soluções de CIM para atingir estes objetivos e resolver problemas, por se tratarem de distintas plataformas de modelagem da informação, revela-se preliminarmente em suas estruturas ontológicas, ante a implantação de softwares ou hardwares.

A abordagem ontológica sobre CIM é nova e carente de investigações dedicadas. A necessidade desta aproximação é justificada pelo caráter multidimensional das SCs como um ‘sistema de sistemas’, em que a informação é obtida a partir de vários sistemas e registros em operação nas cidades contemporâneas, e as ontologias são chamadas para entregar comunicação e significado neste microssistema (KOMNINOS et al., 2015).

A partir deste enquadramento, esta dissertação investiga as diversas abordagens científicas sobre CIM e suas variantes conceituais. Tem como objetivo geral, portanto, conceber um conceito geral de CIM, com o propósito de contribuir para a mitigação da fragmentação da produção científica sobre o tema. Desdobram-se como objetivos específicos:

- Estabelecer categorias de CIM à luz de suas constituições ontológicas, dada a sua variedade no meio científico;
- Demonstrar a pertinência da conceituação e categorização apresentadas sobre CIM diante dos preceitos atuais e emergentes das SCs;

O método de pesquisa adotado foi a Teoria Fundamentada (ou *Grounded Theory*), uma teoria indutiva baseada na análise sistemática dos dados. Segundo Dick (2005) o maior diferencial deste método de pesquisa entre os demais é a sua natureza explicitamente emergente, ou seja, a teoria revela-se através dos dados coletados, ao contrário de se tentar provar alguma hipótese. Neste método propõe-se encontrar a teoria pertinente à situação da pesquisa como ela se apresenta, ou seja, funda-se no entendimento da situação da pesquisa. Em suma, seu objetivo é descobrir a teoria implícita nos dados levantados (GLASER; STRAUSS, 1967).

Julgou-se este método como apropriado a partir da constatação de que, embora a adoção do termo CIM aconteça entre diferentes pesquisadores, a fundamentação teórica (e

consequentemente ontológica) é diversa e deve ser observada sem julgamentos ou preconcepções do que seria um CIM ideal. Logo, as ocorrências de CIM reveladas no estado da arte desta pesquisa constituem, na verdade, um *corpus* que circunscreve o próprio fenômeno de CIM dentro da produção científica atual, reconhecidas as limitações do alcance do universo pesquisado, documental e temporalmente.

A Teoria Fundamentada pode ser apresentada, portanto, como um conjunto de proposições codificadas ou em uma discussão teórica em execução, utilizando-se de categorias conceituais e suas propriedades. Desta forma, a teoria evolui durante a pesquisa real devido à contínua interação entre análise e coleta de dados (STRAUSS; CORBIN, 1990), de modo que ela é aquilo com que se encerra a pesquisa e não com o que se principia. Não é o que vai ser testado, mas o que se conclui após investigação e análise comparativa dos dados dela resultantes. Esta estratégia de análise comparativa para gerar uma teoria coloca uma grande ênfase na teoria como processo; isto é, a teoria como uma entidade em constante desenvolvimento, não como um produto perfeito (GLASER; STRAUSS, 1967).

Ajustados à lógica deste método, foram organizados quatro capítulos principais, conforme descrito a seguir:

O primeiro capítulo trata da fundamentação teórica geral da pesquisa e do esclarecimento de termos essenciais, como a definição de ‘modelagem da informação’ ligada à noção de ontologia, inclusive relacionada à cidade, e um breve histórico sobre CIM (no qual sua ligação e autonomia em relação ao termo BIM são esclarecidas).

No segundo capítulo são desenvolvidos o Mapeamento Sistemático da Literatura e a análise temática, a partir de onde se identificam as diversas aproximações sobre CIM dentro da produção científica recente (2005-2017), constituindo-se simultaneamente como um estado da arte extenso e atualizado, e o *corpus* da coleção de dados de referência da metodologia adotada.

No terceiro capítulo é apresentada uma lista de categorias de abordagens de CIM (atendendo ao primeiro objetivo específico) desenvolvida a partir da compilação da coleção de dados do capítulo anterior, além de um levantamento dos diversos conceitos difundidos sobre CIM. A partir da análise das abordagens e conceitos levantados, o capítulo é concluído com a apresentação de uma conceituação própria, atendendo ao objetivo geral da pesquisa.

O quarto capítulo apresenta uma articulação entre o conceito e as categorias de CIM com três dos principais pilares identificados entre as conceituações de SCs (atendendo ao segundo objetivo específico), com o propósito de se demonstrar uma relação direta e de pertinência entre as diversas maneiras de se fazer CIM e de se atingir objetivos de um espectro mais ampliado, que é o pressuposto das SCs.

No capítulo conclusivo são apresentadas as considerações finais e discutidos os objetivos alcançados, as modificações que a pesquisa sofreu ao longo de seu desenvolvimento, e algumas hipóteses levantadas ao longo da pesquisa com potencial de continuidade.

* * *

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 *Information Modeling*: sobre modelagem da informação e ontologias

Antes de discorrer sobre o conceito de CIM, convém tratar de sua fundamentação terminológica, especificamente sobre o que se entende como modelagem da informação. Isto porque, antes de tudo, reconhece-se aqui que as TICs desempenham um papel central nas dinâmicas que envolvem a sociedade moderna, entre as quais as dinâmicas urbanas. Segundo Ascher,

[...] essas tecnologias estão longe de terem esgotado suas potencialidades. Elas ocupam progressivamente [...] uma posição genérica, penetrando em todos os setores econômicos e todas as esferas da vida social. Já não existe nenhuma indústria, ciência ou tecnologia que não dependa do uso das TICs [...] (2010, p. 54). [...] O neourbanismo e os serviços públicos urbanos devem, hoje em dia, considerar o processo de individualização que marca a evolução de nossa sociedade. A diversificação das situações e das necessidades tornam assim necessárias uma maior variedade e personalização das soluções. [...] Essa personalização dos serviços necessita de redes e de sistemas técnicos mais complexos que recorram de modo determinante às novas tecnologias da informação e comunicação (idem, p. 87).

O termo ‘modelagem da informação’ advém das ciências da computação, tanto no que se refere a análise de sistemas como programação. Nestas áreas, é tratado como uma abordagem disciplinada de análise a qual usa conceitos de programação para produzir uma clara especificação de como uma atividade opera, ou seja, como ele gerencia a informação. A modelagem da informação propõe um enquadramento de referência que destaca de forma explícita, antes de tudo, associações entre coisas (KILOV; ROSS, 1994). Posto de uma maneira mais ilustrativa, a modelagem da informação ocupa-se da construção de estruturas de símbolos baseados em computação (*computer-based*) os quais capturam o significado da informação e lhe organiza de modo a torná-lo compreensível e útil às pessoas. Tais estruturas de símbolos, também consideradas como modelos conceituais, são representações de entidades e suas relações, e estas são mais precisamente enquadradas e apreendidas por meio de ontologias (MYLOPOULOS, 1998).

O termo ‘modelagem’, tomado isoladamente, abre caminho para diversas interpretações. No caso dos campos da arquitetura e engenharia, em razão do avanço das tecnologias de representação, o termo tem tido uma grande adesão como redução da noção de ‘modelagem tridimensional digital’. Esta associação, pautada pelo uso cada vez mais comum de ferramentas de prototipagem virtual tridimensional (principalmente por estudantes e jovens profissionais das áreas de projeto), tem fortalecido o vício do vínculo entre modelo tridimensional digital e representação

gráfica realista, ou seja, entre um protótipo virtual e sua ‘renderização’ (ou produto final da representação). Este fato, de natureza cultural, tende a ocultar a complexidade que envolve a ideia ampla de modelagem e distanciar os profissionais e estudantes da compreensão e crítica acerca do universo da modelagem da informação em um paradigma de produção cada vez mais pautado pelas TICs.

No que se refere a esta referida amplitude da modelagem da informação, Schenck e Wilson (1994) consideram que

um modelo de informação é uma descrição formal de tipos de ideias, fatos e processos os quais, juntos, formam um modelo de uma porção de interesse do mundo real e os quais fornecem um conjunto explícito de regras de interpretação de dados. [...] Idealmente, um modelo de informações é uma representação completa, precisa e inequívoca⁶ (p. 10, tradução nossa).

Como consequência, tem-se que o compartilhamento de um modelo de informações no qual cada elemento componente tem atributos individuais específicos e relações explícitas com outros elementos, e que pode ser qualificado distintamente por múltiplas fontes a qualquer momento, conduz a uma nova cultura de uso e geração de informação, cada vez mais complexa, rica e em tempo real. Esta realidade não afeta apenas o universo das Ciências da Informação e Computação, mas toda e qualquer atividade humana na contemporaneidade que se baseie em tecnologias⁷. Conforme observa Castells,

o registro histórico das revoluções tecnológicas [...] mostra que todas são caracterizadas por sua *penetrabilidade*, ou seja, por sua penetração em todos os domínios da atividade humana, não como fonte exógena de impacto, mas como o tecido em que essa atividade é exercida. Em outras palavras, são voltadas para o processo, além de induzir novos produtos. Por outro lado, diferentemente de qualquer outra revolução, o *cerne* da transformação que estamos vivendo na revolução atual refere-se às *tecnologias da informação, processamento e comunicação* (1999, p. 68, grifos do autor).

Desta revolução resulta um paradigma tecnológico da informação, do qual advém um modelo de sociedade (a qual Castells chama de ‘sociedade da informação’) com características próprias que a distinguem de arranjos sociais pré-revolucionários. Uma delas é a ubiquidade da lógica de redes em qualquer sistema ou conjunto de relações que use estas novas tecnologias de

⁶ Livre tradução nossa: “An information model is a formal description of types of ideas, facts and processes which together form a model of a portion of interest of the real world and which provides an explicit set of interpretation rules. (...) Ideally, an information model is a complete, precise and unambiguous representation.”

⁷ Como tecnologia, adota-se aqui a acepção de Harvey Brooks e Daniel Bell: “o uso de conhecimentos científicos para especificar as vias de se fazerem as coisas de maneira *reproduzível*.” (BELL, 1976 apud CASTELLS, 1999, p. 70, grifo do autor)

informação. “A morfologia da rede parece estar bem adaptada à crescente complexidade de interação e aos modelos imprevisíveis do desenvolvimento derivado do poder criativo dessa interação” (CASTELLS, 1999, p. 108).

Alinhado com esta percepção, Ascher argumenta que “a sociedade se estrutura e funciona como uma série de redes interconectadas, que asseguram uma mobilidade crescente de pessoas, bens e informações” (2010, p. 45). Ele observa que esta organização em rede funda um novo sistema de interdependência entre as pessoas, por ele chamado de “solidariedade comutativa” (a qual relaciona pessoas e organizações pertencentes a uma multiplicidade de redes interconectadas).

Relacionando o papel destas relações sociais e as TICs nas cidades, Komninos argumenta que

[...] o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida são determinados por uma série de rotinas que codificam a prática diária dos cidadãos, das partes interessadas, das organizações e dos governos. As aplicações de SCs mudam essas rotinas e introduzem formas novas e mais eficazes de se fazer as coisas. No entanto, é a ontologia de uma aplicação que define o seu potencial de resolução de problemas.⁸ (2015, p. 3)

Oriundo do campo da Filosofia, o conceito de ontologia é compreendido na Ciências da Computação como uma “especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada” (BORST, 1997, p. 12). Nessa definição, ‘especificação formal’ significa legível para computadores; ‘especificação explícita’ diz respeito a conceitos, propriedades, relações, funções, restrições, axiomas, explicitamente definidos; ‘compartilhado’ significa ser de conhecimento consensual; e ‘conceitualização’ diz respeito a um modelo abstrato de algum fenômeno do mundo real (ALMEIDA; BAX, 2003).

As ontologias têm a capacidade de operar como interfaces para a difusão e reuso do conhecimento. Em síntese ao que as aproximações conceituais do que é uma ontologia pretendem englobar, pode-se depreender que por meio delas pretende-se dar suporte ao projeto de sistemas de informação ao se especificar o conhecimento que um sistema de informação deve contemplar para realizar suas tarefas (BORST, 1997). Morais e Ambrósio resumem que

⁸ Livre tradução nossa: “*In the real life of cities, economic development and quality of life are determined by a series of routines that codify the daily practice of citizens, stakeholders, organizations, and governments. Smart city applications have to change these routines and introduce novel and more effective ways of doing things. However, it is the ontology of an application that defines its problem-solving potential.*”

[...] na prática, uma ontologia define uma “linguagem”, conjunto de termos, que será utilizada para formular consultas. A ontologia define as regras de combinação entre os termos e seus relacionamentos, estes relacionamentos são criados por especialistas, e os usuários formulam consultas usando os conceitos especificados. (MORAIS; AMBRÓSIO, 2007, p. 3)

Embora isto exemplifique o funcionamento de uma ontologia de uma forma objetiva e aparentemente simples, a construção de uma ontologia pode ser uma tarefa de elevada complexidade, mais artesanal que científica (JONES et al., 1998). Isto deve-se ao fato de que não há uma definição ou padronização de um ciclo de vida, metodologias e técnicas que conduzam ao desenvolvimento de ontologias. A respeito disto, Gómez-Pérez et al. consideram que

[...] a ausência de diretrizes e métodos articulados dificulta o desenvolvimento de ontologias concordadas e não-concordadas dentro e entre equipes, a extensão de uma determinada ontologia por parte de outros e sua reutilização em outras ontologias e aplicações finais. Nós afirmamos que a fonte dos problemas mencionados é a ausência de um modelo conceitual explícito e totalmente documentado sobre o qual a ontologia é construída⁹ (GÓMEZ-PÉREZ et al., 1996, p. 1).

Aqui é reforçada a relevância de se estabelecer prioritariamente uma conceitualização (ou conjunto destas) que venha a atender de maneira equivalente a diferentes atividades ou incursões dentro de um mesmo domínio. Logo, se uma conceitualização está diretamente relacionada ao vocabulário formal que lhe compõe, haverá ontologias mais ou menos precisas de acordo com a caracterização das conceitualizações com as quais estão comprometidas. Ou seja, o mais próximo que uma ontologia pode explicitar integralmente de uma conceitualização dependerá do quão ricas são as relações conceituais ou o quão rico é o domínio (GUARINO, 1998).

O emprego de ontologias na modelagem da informação não é apenas comum, mas necessário. Se tomarmos o caso de BIM, por exemplo, por ser um caso bastante difundido da modelagem da informação no âmbito da construção, percebe-se a importância da compatibilidade ontológica entre todos os elementos que compõem o seu universo, o que conduz ao estabelecimento de uma ontologia própria. Isto, segundo Succar, é um direcionamento apropriado para reduzir complexidades, permitir uma aquisição de conhecimento mais eficiente e validar enquadramentos teóricos e técnicos sobre BIM (2009).

⁹ Livre tradução nossa: “*The absence of articulated guidelines and methods make difficult the development of consensuated and non-consensuated ontologies inside and between teams, the extension of a given ontology by others, and its reuse in other ontologies and final applications. We claim that the source of the mentioned problems is the absence of an explicit and totally documented conceptual model upon which the ontology is built.*”

No domínio do desenvolvimento urbano, o emprego de ontologias é de grande relevância e pertinência, tanto em sua propriedade de permitir o compartilhamento e reuso de conhecimento como no seu propósito de viabilizar a integração de dados e a interoperabilidade entre sistemas (TELLER, 2007). Ao observarmos a cidade como um macromodelo de informação manifestado como um sistema composto por vários subsistemas, é possível identificar oportunidades para a concepção de várias ontologias distintas, desde aquelas relacionadas à gestão urbana de infraestruturas (ontologias que articulam elementos físicos no território urbano, como sensores, vias, árvores, mobiliário etc.) e de instituições (ontologias que articulam relacionamentos de e entre secretarias públicas, empresas, associações etc.) como aquelas relacionadas a desenho urbano (ontologias que estabelecem relações paramétricas entre entidades presentes em projetos digitais). Em simultâneo, interoperam sistemas que lidam com distintos domínios urbanos (cadastramento, população, planejamento, meio ambiente etc.), escalas (região metropolitana, município, região político-administrativa, bairro, unidade censitária etc.) e qualidade de dados (dados 2D/2.5D/3D, topologias corretas e incorretas, diferentes níveis de precisão etc.).

Por exemplo, o cadastramento das árvores de uma cidade em uma única base digital de acesso público pode vir a ser visualizado e atualizado tanto por cidadãos leigos (por meio de um *website* no qual eles podem notificar e consultar a existência de pragas, obstrução de fiação, da via pública etc.), como por biólogos e engenheiros ambientais (por meio de aplicativos que podem alimentar e consultar as bases de dados com as espécies e suas geolocalizações, padrões crescimento de raiz e copa, toxicidade de folhas, fases de flora etc.) e por técnicos da municipalidade responsáveis por podas (por meio de sistemas de chamadas telefônicas ou mensagens instantâneas que podem responder às demandas e registrar relatórios de visita), simultaneamente. Ou tome-se um outro exemplo no qual se opere a identificação de áreas críticas de alagamento, as quais podem ser alertadas por cidadãos (por meio de aplicativos móveis com geolocalização e outros atributos) ou autonomamente por dispositivos de IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas, os quais atuam como sensores de nível, pressão e vazão instalados em bueiros ou postes, por exemplo), os quais enviariam informações a sistemas de monitoramento do governo, interfaces *web* abertas aos cidadãos, aplicativos de navegação por satélite e demais mídias de comunicação. Em ambos os casos, não se trata apenas da operação de entradas e saídas de um banco de dados compartilhado, mas da existência preliminar de uma ontologia que estabelece os elementos, suas definições e suas relações em um modelo de informação, sendo este conjunto aquilo que agrega maiores recursos de interoperabilidade ao sistema e que confere sustentabilidade e amplitude à sua utilidade.

Não apenas pelos exemplos acima, mas pela diversidade de casos práticos na atualidade, observa-se que o domínio da modelagem da informação tem se tornado uma questão de grande interesse não apenas nas áreas tradicionais de Tecnologia da Informação e Comunicação. Na construção civil tem sido adotada como caminho para superar vários obstáculos e fragmentações nos processos de trocas de informações, em razão da variedade de organizações envolvidas nas indústrias de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação (AECO), de suas regras próprias de operação de dados, da diversidade de ferramentas utilizadas (ISIKDAG et al., 2004). De maneira idêntica, os agentes envolvidos no planejamento e manutenção das cidades também são diversos e empregam metodologias específicas de ação, além do que as informações relacionadas ao funcionamento das cidades são massivas, diversificadas e produzidas em grande velocidade. Daí haver a necessidade de uma ou mais plataformas por meio das quais seja possível modelar a informação da cidade com um rico conteúdo de dados para que se possa planejar, projetar e analisar diversos aspectos urbanos, o que vem a ser caracterizado como CIM (KHEMLANI, 2016).

O uso do acrônimo CIM como focal nesta dissertação, em detrimento de termos afins e mais difundidos como ‘cidades inteligentes’, ‘cidades digitais’, *smart cities*, sistemas operacionais urbanos, entre outros, dá-se por sua etimologia ser mais elucidativa quanto às questões que se colocam neste estudo, as quais tratam mais da variedade de modelagens da informação referentes às cidades e seus sistemas do que do estoque tecnológico destes sistemas nas cidades e seu desempenho.

2.2 Do B ao C: a origem do CIM

O termo CIM foi concebido em referência direta a BIM, fazendo-se um câmbio entre *building* (construção/edifício) e *city/urban* (cidade ou urbano) (KHEMLANI, 2005). Daí faz-se necessário discorrer brevemente sobre o histórico de BIM, posto que este ainda hoje é um dos maiores símbolos de mudança global de paradigmas nas indústrias de AECO, e isto deve-se aos efeitos próprios da efetividade do emprego bem-sucedido da modelagem da informação.

Há diversas descrições acerca do que é BIM, de modo que até o presente momento nenhuma foi dada como definitiva. Por outro lado, o somatório das várias abordagens permite ter uma ampla noção do que o envolve. Eastman et al., em um artigo de 2004 chamado *Functional modeling in parametric CAD systems*, descrevem *Building Information Modeling* como algo que

[...] envolve uma mudança revolucionária na maneira em que os projetos são concebidos, como a informação de uma edificação é representada e como esta informação será utilizada mais adiante nas operações de construção¹⁰ (2004, p.1, tradução nossa),

englobando, assim, todo o ciclo de vida da edificação, ou seja, dos estudos de viabilidade à reforma/demolição. Com o intuito de estabelecer um referencial com maiores especificidades, Eastman et al. escreveram em 2008 o *BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors*, um extenso compêndio voltado ao esclarecimento do que seriam os mitos e verdades acerca da práxis de BIM, apontando as melhores práticas de sua implementação na indústria da construção. Neste livro, optam por não definir explicitamente um conceito, mas seis características essenciais ao que chamam de uma “simulação inteligente de arquitetura”, as quais seriam:

- ser digital,
- ser espacial (3D),
- ser mensurável (quantificável, dimensionável e pesquisável),
- ser abrangente (incorporando e comunicando a intenção do projeto, a performance do edifício, a construtibilidade, e incluindo aspectos sequenciais e financeiros dos meios e métodos envolvidos),
- ser acessível (a toda a equipe de AECO¹¹ e dos proprietários por meio de uma interface interoperável e intuitiva), e
- ser durável (utilizável ao longo de todo o ciclo de vida da edificação)¹² (EASTMAN et al., 2008, p. 15, tradução nossa).

Succar, observando esta potencial amplitude, e baseado no que colocou Pentilä em 2006, buscou construir uma conceituação sucinta, a qual tem sido cada vez mais difundida nos últimos anos, na qual BIM

é um conjunto de políticas, processos e tecnologias que interagem, gerando uma "metodologia para gerenciar o projeto essencial da construção e os dados do projeto em formato digital ao longo do ciclo de vida do edifício"¹³ (2009, p. 1, grifo do autor).

¹⁰ Livre tradução nossa: “It involves a revolutionary change in how designs are generated, how the information about a building is represented and how that information is later used in building operations.”

¹¹ Termo corrente empregado para abreviar a referência às indústrias de Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação.

¹² Livre tradução nossa: “It must be digital, spatial (3D), measurable (quantifiable, dimensionable, and queryable), comprehensive (encapsulating and communicating design intent, building performance, constructability, and include sequential and financial aspects of means and methods), accessible (to the entire AEC/ owner team through an interoperable and intuitive interface), and durable (usable through all phases of a facility’s life).”

¹³ Livre tradução nossa: “BIM is a set of interacting policies, processes and technologies generating a “methodology to manage the essential building design and project data in digital format throughout the building’s life-cycle”.

Andrade, após ampla pesquisa sobre projeto digital na qual investigou diversas conceituações sobre *Building Information Modeling*, detalha que

[...] um enfoque mais coerente é considerar BIM como um processo de projeto ou atividade humana, ou conjunto de sistemas, ou metodologia, fundamentado em um gerenciamento das informações do edifício por meio de um modelo digital, visando à colaboração, coordenação, integração, simulação e otimização do projeto, construção e operação do edifício, durante seu ciclo de vida. (ANDRADE, 2012, p. 102).

Neste alinhamento, e incrementando a sua conceituação anterior, Succar procura posicionar BIM de uma maneira mais ampla e paradigmática, argumentando que

BIM é a expressão corrente da inovação técnica e processual dentro da indústria da construção. É uma metodologia que gera, permuta e gerencia os dados de uma edificação ao longo do seu ciclo de vida. Enquanto BIM é fortemente enraizado nos avanços tecnológicos, parcialmente transferidos de outras indústrias, também estende-se até a realidade das trocas sociais entre os atores organizacionais.¹⁴ (SUCCAR, 2013, p. 10, tradução nossa, grifo do autor).

As caracterizações de BIM até então apresentadas foram articuladas com o propósito de demonstrar uma gradativa abrangência de seu escopo ao passar dos anos, partindo de uma visão instrumental e alcançando um patamar paradigmático mais amplo e complexo. Isto não significa, entretanto, que se tenha deixado de perseverar a visão instrumental de BIM, mesmo porque a sua plataforma desejada de interoperabilidade está necessariamente dependente de uma articulação eficiente entre várias ferramentas (RUSCHEL et al., 2013). Ainda assim, diante desta diversidade de noções acerca de BIM, há a percepção de uma convergência que lhe atribui um papel proeminente na reforma das indústrias de AECO, diante das quais é reconhecido como um catalisador de mudanças (BERNSTEIN, 2005) capaz de reduzir a fragmentação de seus modos de produção (CWIC, 2004 apud SUCCAR, 2013), melhorar sua eficiência e eficácia, e reduzir os elevados custos das falhas de interoperações (GALLAHER et al., 2004). Segundo Succar,

estas assertivas, ainda que bastante resumidas, incorporam diversos constructos mentais derivados de estudos organizacionais, de sistemas de informação e de matérias regulatórias. Tais divergências e amplitude destacam a necessidade de constructos conceituais claros – taxonomias, ontologias, modelos e enquadramentos – de modo a se organizar o conhecimento deste domínio, facilitar o aprendizado de BIM dentro do mercado e da academia, e permitir o

¹⁴ Livre tradução nossa: “*Building Information Modelling (BIM) is the current expression of technical and procedural innovation within the construction industry. It is a methodology that generates, exchanges and manages a constructed facility’s data throughout its life cycle. While BIM is solidly rooted in technological advances, partially transferred from other industries, it extends into the realm of social exchanges between organizational actors.*”

desenvolvimento de ferramentas viáveis de melhoria de desempenho¹⁵ (SUCCAR, 2013, p. 2, tradução nossa).

Succar destaca, assim, a importância da estruturação de um pensamento multidisciplinar acerca de BIM, o qual deve extrapolar o campo pragmático da construção civil, com o propósito de se alcançarem os ideais de coordenação, colaboração e interoperabilidade em AECO (ANDRADE, 2012). É relevante notar que a tese de doutorado de Succar trata, como um dos objetivos principais, das estruturas de conhecimento que estão dentro do domínio de BIM, no que a concepção de uma ontologia própria e detalhada é de fundamental importância (SUCCAR, 2013).

A origem do termo BIM está diretamente relacionada a esta necessidade de aproximação mais holística sobre a construção, tendo sido concebido quando era notório que a semântica que envolve o termo *Computer Aided Design* (CAD ou projeto assistido por computador, em português) já não parecia ser suficientemente descritiva, e tampouco pertinente, para tratar de toda a profundidade que os novos processos de projeção representavam. Laiserin, em seu artigo *Comparing Pomes and Naranjas*, faz uma reflexão acerca dos fundamentos da elaboração de uma nomenclatura coerente para esta nova demanda metodológica:

Combinados, “modelagem da informação” implica, ao meu ver, em um forte senso do que se trata o projeto, a construção e a operação de edifícios. Afasta-se do jargão técnico sem deixar de preservar a ideia de procedimentos técnicos envolvidos. “Modelagem”, embora uma palavra quase-jargão, conota uma descrição digital ou matemática de objetos ou sistemas – temos os modelos econométricos, modelos meteorológicos, assim como modelos físicos de objetos 3D. “Modelagem” também implica em um processo de descrição e representação que define as bases para a simulação de desempenho de um edifício (modelagem de comportamento futuro) e a gestão da informação da construção (modelos de informação que servem como enquadramentos nos quais a informação é gerida)¹⁶ (LAISERIN, 2002, p. 2, tradução nossa).

Sua convicção é de que a indústria da construção não poderia avançar com o emprego desta metodologia (e, por conseguinte, suas ferramentas) caso não houvesse um termo

¹⁵ Livre tradução nossa: “These assertions – abridged as they may be - include several mental constructs derived from organizational studies, information systems and regulatory fields. Such divergence and breadth highlight the need for clear conceptual constructs – taxonomies, ontologies, models and frameworks - to organize domain knowledge, facilitate BIM learning within industry and academia, and enable the development of practicable performance improvement tools.”

¹⁶ Livre tradução nossa: “Combined, “building information” implies, to my ear, a strong sense of what the design, construction and operation of buildings is about. It avoids techno-jargon, yet remains evocative of technical goings-on. “Modeling,” although a near-jargon word, does connote the mathematical or digital description of objects or systems—we have econometric models and weather models as well as physical models of 3D objects. “Modeling” also implies a process of description or representation that provides the foundation for building performance simulation (essentially, modeling future behavior) and for the management of building information (information models serving as the frameworks in which information is managed).”

convergente e comum que representasse este paradigma pós-CAD (LAISERIN, 2002). Desta forma, acredita Laiserin, o termo BIM consegue aproximar-se do termo CAD no sentido de se consolidar um termo específico o suficiente para evocar significados comuns e razoavelmente claros e ainda amplo o suficiente para abranger uma diversidade de abordagens tecnológicas, metodológicas e, até mesmo, comerciais. Difunde-se, a partir de então, e cerca de 30 anos após o esboço de seu conceito, o termo *Building Information Modeling*, traduzido normativamente no Brasil como Modelagem da Informação da Construção (ABNT, 2011).

Os reconhecidos efeitos positivos da adoção de BIM como novo paradigma metodológico da construção (BRYDE et al., 2012) têm ocasionado na sua reverberação em outras áreas de pesquisa ligadas a tecnologias da informação (KAMARDEEN, 2010; UTIOME et al., 2014; ISIKDAG, 2015; SUNIL et al., 2015). Esta aproximação dá-se fundamentalmente em razão da rica quantidade de dados atrelados ao modelo BIM, e como estes podem ser vinculados a outros processos, recursivos ou não, de análise, síntese e avaliação (ANDRADE; RUSCHEL, 2011).

Vislumbrando esta capacidade não apenas do modelo BIM, mas de sua lógica de modelagem da informação como método, Khemlani, em seu artigo "*Hurricanes and their aftermath: how can technology help?*" (2005), toma o contexto da crise urbana deflagrada em Nova Orleans após a passagem do furacão Katrina em contraponto à franca difusão de BIM nos Estados Unidos, especulando como a lógica de um avançado conjunto integrado de sistemas e processos aplicados à informação da construção de edificações pode vir a se estender à escala da cidade, com o particular propósito de lidar com situações de catástrofe de maneira mais efetiva e, principalmente, preditiva. Neste texto, surge a primeira ocorrência do termo CIM, e, ainda que exposto como uma vaga provocação, possui consistência suficiente para se tornar referência. Khemlani, então, argumenta que

[...] da mesma forma que [...] [BIM] contribui para uma melhor integração entre distintos aspectos de um edifício (tais como espacialidade, sistemas estruturais e assim por diante), CIM poderia eventualmente melhor integrar as diferentes infraestruturas e serviços de uma cidade, permitindo-a operar de uma maneira mais holística e lidar com desastres de forma mais efetiva¹⁷ (2005, p. 5, tradução nossa).

¹⁷ Livre tradução nossa: "*Just as BIM technology can help to better integrate different aspects of a building such as space, structure, mechanical systems, and so on, CIM technology could eventually help to better integrate the different structures and services within a city, allowing it to operate in a more holistic manner and deal with a disaster more effectively.*"

Cerca de uma década após a sua aparição observa-se que o termo CIM¹⁸ ganhou amplitude em pesquisas científicas (ISIKDAG; ZLATANOVA, 2009; PRZYBYLA, 2010a; AMORIM, 2015), sendo atualmente empregado na literatura em diversas abordagens, e em alguns casos com variações do acrônimo mas em forte consonância ao proposto por Khemlani. Nestas abordagens ora prevalecem aspectos de representação tridimensional georreferenciada de edifícios e obras de arte da engenharia sobre o território urbano (KOLBE et al., 2005; BORRMANN, 2010; EL-MEKAWY, 2010; BERLO; LAAT, 2011; XU et al., 2014); ora mais voltadas à manipulação de parâmetros geoespaciais das massas que compõem o tecido urbano (DUARTE et al., 2011; STOJANOVSKI, 2013; THOMPSON et al., 2016); ora voltadas aos atributos de múltiplas fontes de dados como eventos sobre o território das cidades (JANSEN, 2013; CHARLTON et al., 2015; FLUX, 2015).

O próximo capítulo tratará de maneira mais aprofundada sobre esta diversidade de casos, a partir do qual se poderá ter uma compreensão mais ampla da atual abrangência do CIM pelo mundo.

* * *

¹⁸ Deve-se aqui mencionar a terminologia correlata UIM (Urban Information Modeling – Modelagem da Informação Urbana), a qual igualmente advém da construção terminológica do BIM, embora apareça em um número significativamente menor entre as produções científicas. Entre seus adeptos estão Mignard e Nicolle, os quais empregam o termo para tratar da relação entre BIM e GIS igualmente por meio da relação entre os formatos abertos padrão dos dois campos (IFC e CityGML)(2014). Hamilton et al. usam o termo para caracterizar uma abordagem fundamentada no aspecto nD (n dimensões) de BIM com aplicação ao contexto urbano (2005). Posto que CIM e UIM são equivalentes, a presente pesquisa adotará como padrão o termo CIM em razão de sua maior difusão.

3 CIM E SUAS APROXIMAÇÕES

Como colocado anteriormente, para que se possam desenvolver ferramentas, teorias e políticas comuns, e que alinhem discursos e práticas entre pesquisadores (academia), desenvolvedores (mercado), usuários (sociedade) e reguladores/contratantes (governo), faz-se necessária uma convergência conceitual sobre uma teoria ou domínio de conhecimento, a exemplo da experiência envolvendo BIM, conforme considerado por Laiserin (2002) e Succar (2013). Por outro lado, a diversidade de interpretações sobre CIM¹⁹ entre as publicações científicas é um aspecto que, embora demonstre uma não convergência conceitual sobre o assunto, enriquece o debate sobre o tema e provoca uma investigação aprofundada para identificar a variedade das problemáticas motivadoras e caminhos tomados em busca de soluções.

Neste capítulo são apresentadas as principais pesquisas conduzidas em diversos países que orbitam o termo CIM. Para a construção deste *corpus* foi realizado um Mapeamento Sistemático da Literatura (MSL), por meio do qual foi possível circunscrever o estado da literatura acerca do tema e identificar as suas principais referências. Deve-se destacar, entretanto, que o propósito desta pesquisa é contribuir na construção de uma teoria de CIM a partir da observação do fenômeno e categorização das suas múltiplas abordagens existentes e do esboço de uma conceituação geral. Conforme pontuam Strauss e Corbin (1990), “sem conceitos não é possível haver proposições, logo, conhecimento científico acumulativo algum (sistematicamente teórico) baseado nestas plausíveis, mas testáveis, proposições”²⁰. Assim, o MSL é aqui adotado como um processo de suporte à Teoria Fundamentada para coleta de documentos por meio do uso de palavras-chave em mecanismos de busca on-line. O *corpus* resultante foi submetido a uma análise temática com o propósito de se identificarem códigos e conseqüentemente temas, considerando-se as diversas perspectivas e interpretações sistemáticas adotadas pelos pesquisadores identificados como parte necessária de uma teoria inclusiva de CIM (ver Figura 2).

¹⁹ A referência ao termo CIM incorpora o termo UIM.

²⁰ Livre tradução nossa: “*Without concepts, there can be no propositions, and thus no cumulative scientific (systematically theoretical) knowledge based on these plausible but testable propositions*”.

Figura 2 – Estruturação para realização do MSL e análise temática

Fases	Objetivos	Métodos	Ferramentas
1) Formulação da questão	Formular as perguntas da pesquisa que conduzirão a busca		
2) Localização dos estudos	Localizar, selecionar e avaliar a literatura relevante	Definição e uso de repositórios	Periódicos CAPES, SciELO e ScienceDirect; EmeraldInsight, Springer, CumInCAD, Wiley e Taylor & Francis; ACM-DL e IEEE; Google Acadêmico, ResearchGate.net.
		Definição do período da busca	2005-2017
3) Seleção e avaliação de estudos	Localizar, selecionar e avaliar a literatura relevante	Definição e uso de argumentos de busca (strings)	Busca booleana (e/ou similar) dos termos: City Information Modeling; City Information Modelling; City information Model; Urban Information Modeling; Urban Information Modelling; Urban Information Model.
		Definição e uso de critérios de inclusão e exclusão	Inclusão: Livros, capítulos de livros, artigos em periódicos e em anais de eventos, todos revisados por pares; teses e dissertações aprovadas. Estes foram classificados em 'documentos de referência' e 'documentos complementares', em função dos graus de aprofundamento e originalidade sobre o assunto. Foram incluídos, em seguida, documentos secundários citados nos 'documentos de referência' (método <i>snowball</i>). Foi incluído conteúdo de websites confiáveis com autoria validada (pesquisadores notáveis, editoras, empresas de destaque internacional, periódicos reconhecidos). Exclusão: Documentos que empregam os termos de forma avulsa, para ilustrar uma ideia que não é desenvolvida, ou que aparecem nos títulos das referências bibliográficas sem ter tido relevância no teor do texto; conteúdos de websites de autores não validados;
4) Análise e síntese	Sintetizar e analisar os documentos selecionados	Seleção do método de síntese e análise da pesquisa qualitativa	Análise temática (aplicada à Teoria Fundamentada)
		Codificação e extração de dados	Softwares: EndNote, Excel
5) Relatar e utilizar os resultados	Relatar os resultados encontrados		

Fonte: Garza-Reyes, 2015 (adaptação e tradução nossa).

O primeiro passo consistiu em formular as principais questões da pesquisa: o que se entende como CIM e quais caminhos adotados na sua produção científica desde o lançamento deste termo?

O segundo passo foi delimitar os repositórios digitais e, a partir do uso das palavras-chave nos campos de busca, localizar nestes todos os artigos revisados por pares encontrados em periódicos científicos, livros e demais fontes da dita 'literatura cinzenta'²¹, tais como teses, dissertações anais de conferências nacionais e internacionais, e websites de referência. Os repositórios selecionados foram o Portal de Periódicos CAPES, SciELO e ScienceDirect; bibliotecas digitais ACM-DL e IEEE; repositórios das editoras Emerald, Springer, CumInCAD,

²¹ Entende-se 'literatura cinzenta' como a produção literária realizada por todos os níveis de governo, academia, mercado e demais organizações em formato impresso e eletrônico a qual não é controlada por editoras comerciais, ou seja, por entidades cuja principal atividade é a publicação (SCHÖPFEL, 2010).

Wiley e Taylor & Francis; Google Acadêmico e ResearchGate.net para validação (para salvar-se de vieses editoriais) e acesso a conteúdo integral.

As palavras-chave adotadas foram ‘City Information Modeling’, ‘City Information Model’, ‘City Information Modelling’, ‘Urban Information Modeling’, ‘Urban Information Modelling’ e ‘Urban Information Model’. O termo ‘ontologia’ não foi utilizado como palavra-chave por se reconhecer sua presença intrínseca às abordagens de CIM, posto que toda modelagem da informação possui invariavelmente uma estruturação ontológica. Assim, seu efeito como palavra-chave acarretaria em uma redução significativa no número de resultados de busca, pois retornaria apenas os documentos nos quais o termo ‘ontologia’ estivesse explicitamente referenciado. O período selecionado para a investigação tem início em 2005 (quando do lançamento do termo CIM por Khemlani) e foi limitado a 2017, ano de elaboração desta dissertação. As técnicas de busca por palavras-chave foram refinadas por meio de operadores booleanos e similares (tais como AND, OR e NOT, aspas, asteriscos, sinais de adição e subtração). Os acrônimos ‘CIM’ e ‘UIM’ não foram utilizados como palavras-chave em razão de ocasionarem múltiplos significados, predominantemente divergentes aos tratados nesta pesquisa. Reconhecendo o fato de que em textos científicos as abreviações devem ser referidas por extenso em sua primeira ocorrência, considerou-se plausível utilizar apenas os termos literais para que as buscas fossem otimizadas.

A etapa seguinte consistiu no estabelecimento de critérios de inclusão e exclusão de documentos. Em um primeiro momento foram incluídos documentos revisados por pares e da literatura cinzenta advindos da primeira busca e que apresentaram um relevante aprofundamento sobre o tema das palavras-chave, seja na descrição de processos, políticas e/ou tecnologias ligadas à modelagem da informação da cidade, os quais foram classificados como ‘documentos de referência’. Documentos com uma abordagem menos aprofundada, mas que desenvolvem parcialmente a ideia de CIM (na maior parte dos casos são publicações que citam os ‘documentos de referência’ e que discorrem sobre o tema de forma menos aprofundada, eventualmente apresentando casos de aplicação) foram incluídos sob a classificação de ‘documentos complementares’. Foram consideradas excludíveis as publicações nas quais a presença das palavras-chave fosse pouco relevante dentro do teor do documento, como em ocorrências avulsas sem desenvolvimento e falsos-positivos (quando o mecanismo de busca de um repositório eventualmente retorna documentos que não contêm a palavra-chave, mas pedaços dela, mesmo utilizados operadores booleanos e similares). Foi identificado um total bruto de 283 ocorrências das palavras-chaves selecionadas no universo de repositórios estabelecido (ver Quadros 10 e 11 no Apêndice A). Desconsideradas as ocorrências repetidas (mesma publicação em repositórios

distintos), foram totalizadas 187 únicas²². Destas, 26 publicações foram consideradas como ‘documentos de referência’ (ver Quadro 1), 56 como ‘documentos complementares’ (ver Quadro 2) e 105 foram excluídas.

Quadro 1 – Publicações identificadas como ‘documentos de referência’

Almeida; Andrade, 2016	Gil et al., 2010	Mignard; Nicolle, 2014
Amorim, 2015	Gil et al., 2011	Montenegro, 2012
Atzori et al., 2010	Guney, 2016	Montenegro; Duarte, 2010
Beirão et al., 2011	Hamilton et al., 2005	Plume; Mitchell, 2011
Beirão et al., 2012	Hamilton; Wang, 2005	Schiefelbein et al., 2015
Beirão et al., 2015a	Harrison; Donnelly, 2011	Stojanovski, 2013
Deng et al., 2016	Hernández-Muñoz et al., 2011	Thompson et al., 2016
Duarte et al., 2012	Kolbe, 2009	Xu et al., 2014
Falquet et al., 2009	Kolbe, 2012	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Quadro 2 – Publicações identificadas como ‘documentos complementares’

Alsami, 2015	Coccolo et al., 2015a	Kolbe, 2007	Reitz; Schubiger-Banz, 2014
Amirebrahimi et al., 2016	Coccolo et al., 2015b	Krüger; Kolbe, 2012	Schnabel et al., 2017
Amorim, 2016	Correa; Santos, 2015	Kurwi et al., 2017	Sengupt, 2011
Bai, 2016	Egusquiza et al., 2013	Lima; Freitas, 2016	Song et al., 2007
Beirão, 2014	Fistola, 2011	López-Fernandez et al., 2015	Stavric et al., 2012
Beirão et al., 2009	Fosu et al., 2015	Mignard; Nicolle, 2011	Stouffs, 2014
Beirão et al., 2015b	Gil, 2017	Mignard; Nicolle, 2015	Thompson et al., 2011
Beirão; Arrobas, 2013	Hamza, 2016	Muldoon-Smith; Greenhalgh, 2016	Thompson, 2016
Beirão; De Klerk, 2017	Hijazi, 2017	Müller et al., 2016	Thompson; Horne, 2009
Beirão; Koltsova, 2015	Horne et al., 2014	Nicolle; Clement, 2011	Tsiliakou; Labropoulos, 2013
Billen et al., 2014	Hou, 2015	Panagiotopoulou; Stratigea, 2017	Uribe-Pérez; Nous, 2017
CAICT, 2016	Jusuf et al., 2017	Pinheiro et al., 2016	Wang et al., 2007
Charlton et al., 2015	Kagan et al., 2013	Podevyn et al., 2008	
Chaszar; Beirão, 2013	Kang, 2017	Poslončec-Petrić et al., 2016	
Chaturvedi et al., 2015	Kim et al., 2012	Protic et al., 2014	

Fonte: Elaborado pelo autor.

A partir da leitura dos 26 ‘documentos de referência’ foram identificadas citações em comum de outras publicações que não empregam expressamente as palavras-chave, mas que possuem conteúdo relevante e pertinente ao tema. São geralmente publicações pioneiras e mais específicas sobre assuntos úteis à modelagem da informação da cidade. A seleção destas referências, não advindas da busca por palavras-chave, foi conduzida segundo o método *snowball* (WOHLIN, 2014) (ver Quadro 3), funcionando de forma complementar ao MSL no propósito de se encerrar um *corpus* satisfatório para o encaminhamento da pesquisa. Foram, portanto, agregadas publicações

²² A busca no repositório do Google Acadêmico retornou totais de cerca de 80 ocorrências não-únicas para os termos ‘city information model’ e ‘urban information model’. Foram consultados apenas os 30 primeiros resultados destas buscas, pois a partir deste número era constante a condição de exclusão dentro dos critérios adotados.

revisadas por pares e literatura cinzenta, inclusive conteúdo de websites confiáveis com autoria validada (pesquisadores notáveis, editoras, empresas de destaque internacional, periódicos reconhecidos).

Quadro 3 – Documentos adicionais pelo método *snowball*

Benner et al., 2005	Flux, 2015	ISO, 2013
Berlo; Laat, 2011	Hawkes, 2015	Jansen, 2013
El-Mekawy, 2010	Isikdag et al., 2004	Kolbe et al., 2005
El-Mekawy; Östman, 2010	Isikdag; Zlatanova, 2009	Przybyla, 2010b

Fonte: Elaborado pelo autor.

O passo seguinte consistiu na análise temática dos documentos levantados. Segundo Bernard e Ryan (2000), o processo de coleta e análise de dados qualitativos, à luz da Teoria Fundamentada, consiste em quatro etapas: (1) leitura dos documentos, (2) identificação de possíveis temas, (3) comparação e contraste entre os temas identificados, e (4) a construção de um modelo teórico. O método da análise temática, detém-se nas três primeiras etapas e em parte da quarta (GUEST et al., 2011), pois não necessariamente se pretende construir um modelo teórico. No caso desta pesquisa, o presente capítulo identifica temas dentre as abordagens de CIM observadas e, como etapa conclusiva do MSL, relata os resultados de forma discursiva. Nos terceiro e quarto capítulos serão desenvolvidas categorias a partir da análise dos temas aqui apresentados (por comparação e contraste entre os temas identificados), e será elaborada uma proposta conceitual ampla para CIM e avaliada sua capacidade de integração a fundamentos das SCs (como partes integrantes de um modelo teórico).

Nesta etapa de análise temática, o conteúdo das publicações lidas é organizado por meio de uma série de códigos (ver Quadro 4), os quais consistem em termos curtos que capturam o significado de um conteúdo mais amplo do texto, podendo ser usadas para indexar os dados e agrupar frases com ideias ou significados semelhantes (BOYATZIS, 1998). São selecionados, assim, conjuntos de construções que são relativamente amplas e empiricamente mais evidentes, de modo a não serem excessivamente determinantes, o que dá suporte para que se trabalhe a partir dos dados, em oposição a se partir de uma teoria pré-existente (CHAPMAN et al., 2015). A construção dos temas, por conseguinte, dá-se pelo grau de emergência entre os códigos identificados e pela similaridade como eles se manifestam comparativamente entre fontes distintas.

Quadro 4 – Códigos e temas gerados a partir da análise temática

Códigos	Temas
Interoperabilidade entre BIM e GIS	<i>Integração entre BIM e CIM</i>
Integração entre IFC e CityGML	
Construção de modelos de cidades em 3D por meio de modelos de edificações em 3D	
Computação de descrições de padrões urbanos	<i>CIM e o urbanismo paramétrico</i>
Projeto urbano generativo	
Mosaico da morfologia urbana	
Sintaxe espacial, linguagem de padrões e gramática da forma	
Interação de múltiplos dados nas cidades	<i>CIM e arranjos qualitativos de dados</i>
Big-data e open-data	
Informação em tempo real sobre a cidade	
Ferramenta de visualização de dados urbanos	

Fonte: Elaborado pelo autor.

Realizada a análise temática, as ocorrências foram sistematizadas dentro do aplicativo EndNote, o qual permite armazenar e controlar as referências bibliográficas de forma estruturada e precisa, além de atuar como repositório dos documentos digitais selecionados. Isto permitiu efetuar buscas booleanas mais específicas dentro do *corpus* já construído, não apenas no conteúdo de referência bibliográfica mas no teor dos arquivos em formato PDF. Os Quadros 10 e 11, presentes no Apêndice A, foram realizados por meio da exportação dos dados a partir do EndNote e consequente tabulação e filtragem em planilhas do Excel.

Como conclusão do MSL, serão relatados a seguir os resultados da pesquisa, organizados a partir dos temas identificados pela análise temática, e desenvolvidos à luz da Teoria Fundamentada.

3.1 A integração entre BIM e CIM

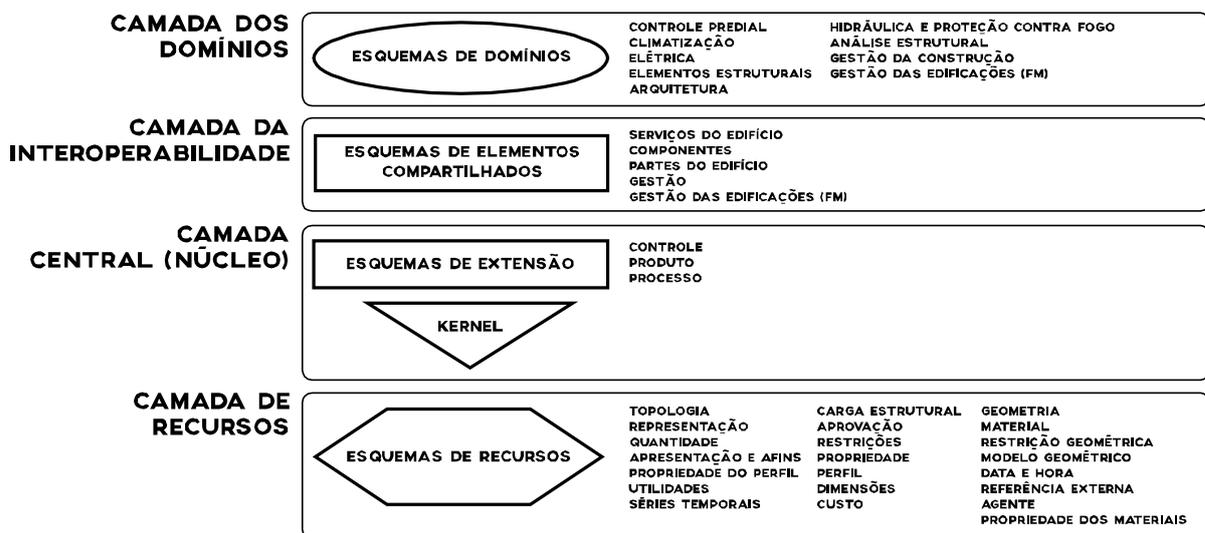
Provavelmente a abordagem mais comum, esta envereda pelo desenvolvimento de modelos tridimensionais de representação da cidade a partir da articulação entre elementos construídos dos modelos de informação da construção (BIM) e um sistema de informação geográfica comum (GIS). Na prática, esta interação tem sido mais explorada entre modelos IFC e o CityGML (ISIKDAG; ZLATANOVA, 2009; EL-MEKAWY, 2010; BERLO; LAAT, 2011; CORRÊA; SANTOS, 2015), havendo, também, pesquisas voltadas ao domínio da gestão de facilidades (*facility management*) (PRZYBYLA, 2010b; MIGNARD; NICOLLE, 2014).

Em constante atualização desde a sua origem, em 1995, o modelo IFC (*Industry Foundation Classes*) é uma iniciativa voltada à consolidação de um modelo de informação aberto voltado à construção, comercialmente isento, que venha a garantir a interoperabilidade entre

distintos softwares. Em suma, o IFC consiste em um conjunto de camadas de informação que tratam de domínios (camada de alto nível que contém as definições de entidades referentes a conceitos específicos de determinados domínios, como arquitetura, instalações, estruturas, gestão de edificações etc.), interoperabilidade (camada que contém categorias de entidades comumente utilizadas e compartilhadas por múltiplas aplicações de projeto, construção e gestão de edificações), funcionamento central [camada que trata de conceitos centrais da modelagem, como processos, controle (tarefas, procedimentos, validações, cronogramas) e do produto em si (espaço, sítio, edifício, anotação)]; participa desta camada o esquema do *kernel*²³, que define conceitos nucleares como agentes, grupos, relações etc.] e recursos (camada que contém propriedades básicas como geometria, material, quantitativo, custo etc.) (ver Figura 3) (ISO, 2013).

Os objetos definidos por meio do IFC permitem que profissionais de AECO compartilhem um mesmo modelo de projeto, de modo que cada especialidade tenha a liberdade de visualizar os objetos deste modelo de acordo com as próprias necessidades e com suas ferramentas específicas (ISIKDAG et al., 2004). Seu desenvolvimento está em constante revisão, sendo a sua versão atual a IFC4 Add2 e a versão IFC5 já em fase de testes (BUILDINGSMART, 2017).

Figura 3 – Esquema conceitual em camadas da modelagem da informação do padrão IFC (simplificado)



Fonte: ISO, 2013 (adaptação e tradução nossa).

Menos de uma década, em 2002, após a criação do IFC, o Special Interest Group 3D (SIG 3D) desenvolvia na Alemanha um modelo de informação de cidade concebido com a

²³ Programa computacional que atua como componente central de um sistema operacional.

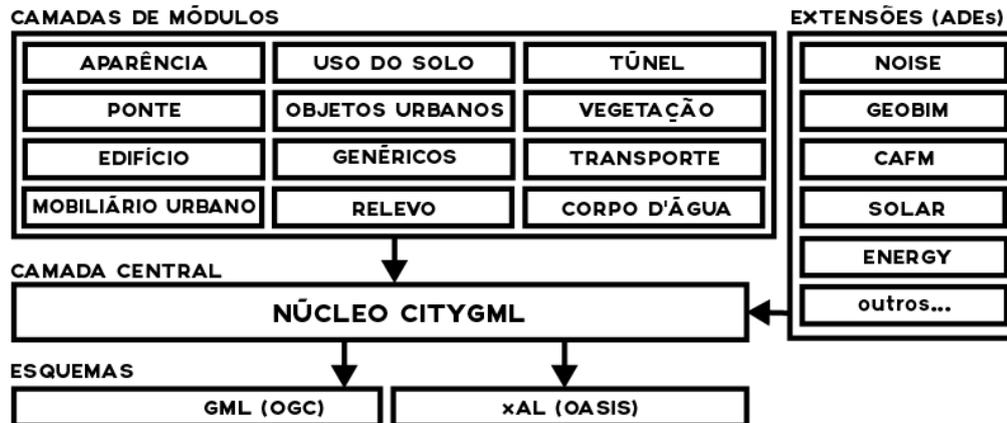
finalidade de atender demandas mais sofisticadas de tomada de decisão em casos de desastre, o CityGML²⁴ (OGC, 2012). Até então as ferramentas de GIS apresentavam bons resultados no que se refere à integração de dados, mas aspectos mais complexos, tais quais a representação tridimensional e atualizada da cidade, exigiram a criação de uma outra plataforma. O modelo IFC incorporava classes de objetos como pisos, cobertas, paredes, escadas etc., mas não outros objetos espaciais, como arruamentos ou corpos d'água. Os formatos LandXML/LandGML, padrões para a gestão do solo, cadastro e afins, entregavam um modelo semântico que incorporava lotes, uso do solo, redes de transporte e tubulações. Entretanto, apesar de suportarem coordenadas tridimensionais, não operavam com geometrias volumétricas (KOLBE et al., 2005; KOLBE, 2009). O CityGML surge como uma modelagem capaz de representar tridimensionalmente modelos de informação de cidades, estabelecendo um vínculo funcional entre aspectos sintáticos (presentes no GIS) e semânticos (na definição comum de objetos, atributos e suas inter-relações em um dado domínio) (ver Figura 4). É atualmente, e desde 2008, o modelo de dados aberto padrão do *Open Geospatial Consortium* (OGC). Segundo Kolbe,

[...] CityGML é um modelo de informação comum e uma codificação baseada em linguagem XML destinada à representação, armazenamento e troca de modelos de cidades e paisagens virtuais em 3D. O CityGML fornece um mecanismo e modelo padrões para descrever objetos tridimensionais em relação a suas geometrias, topologias, semânticas e aparências, e define cinco diferentes níveis de detalhes. Estão incluídas nele hierarquias generalistas entre classes temáticas, agregações, relações entre objetos e propriedades espaciais. CityGML é altamente escalável e seus conjuntos de dados podem incluir distintas entidades urbanas que dão suporte à tendência geral de se modelar não apenas os edifícios individualmente, mas seus sítios de entorno integralmente, bairros, cidades, regiões e países²⁵ (2012, p. 1).

²⁴ *City Geographic Markup Language* (Linguagem de Marcação Geográfica da Cidade, em livre tradução nossa)

²⁵ Livre tradução nossa: “*CityGML is a common information model and XML-based encoding for the representation, storage, and exchange of virtual 3D city and landscape models. CityGML provides a standard model and mechanism for describing 3D objects with respect to their geometry, topology, semantics and appearance, and defines five different levels of detail. Included are also generalization hierarchies between thematic classes, aggregations, relations between objects, and spatial properties. CityGML is highly scalable and datasets can include different urban entities supporting the general trend toward modeling not only individual buildings but also whole sites, districts, cities, regions, and countries.*”

Figura 4 – Esquema conceitual em camadas da modelagem da informação do padrão CityGML



Fonte: OGC, 2012 (adaptação e tradução nossa).

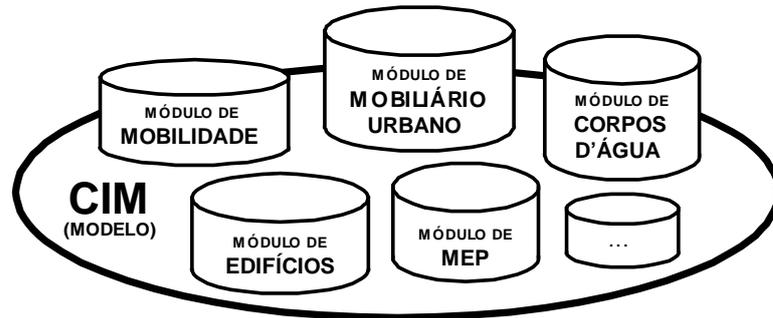
Xu et al. desenvolvem em 2014 uma pesquisa baseada na constatação de que a crescente adesão a técnicas de representação tridimensional virtual de cidades carece de padrões de compartilhamento de informações, pois consideram essencial um alinhamento oficial e científico na concepção deste instrumental para a tomada de decisões no planejamento urbano (XU et al., 2014).

Propõem, portanto, a construção de um modelo tridimensional semanticamente rico, recorrendo aos modelos de BIM (em formato IFC) para a importação de modelos das edificações (semanticamente enriquecidos já em suas concepções) e a modelos tridimensionais obtidos por escaneamento a laser (LIDAR – *Light Detection And Ranging*) para a modelagem de demais elementos físicos da cidade, cujos dados semânticos seriam extraídos de bancos de dados GIS (em formato CityGML).

Especificamente, decompõem o sistema urbano em vários módulos (ver Figura 5), similares a alguns dos módulos componentes do modelo CityGML, entre os quais elencam ao menos cinco principais: edifícios (constituído por dados de edifícios em CAD, BIM e LIDAR incremental), mobilidade (constituído por traçado viário, também incrementado por LIDAR), MEP²⁶ (constituídos por redes de serviços em CAD, BIM e GIS), corpos d'água (os autores não informam como estes dados seriam extraídos, mas deduz-se que seriam identificados por técnicas de restituição da nuvem de pontos do LIDAR) e mobiliário urbano (apesar do nome, também contempla espaços e equipamentos públicos, embora os autores também não especifiquem como estes dados seriam extraídos)(Ibid., 2014).

²⁶ *Mechanical, Electrical and Plumbing* (Sistemas Mecânicos, Elétricos e Hidráulicos).

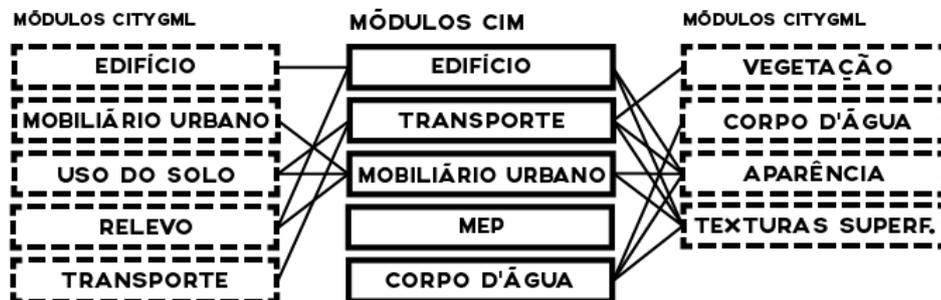
Figura 5 – Arranjo modular de um modelo de informação da cidade, segundo XU et al.



Fonte: Xu et al., 2014 (tradução nossa).

Embora a pesquisa de XU et al. tenha dado maior atenção à relação entre as modelagens IFC e CityGML, ou seja, priorizando a representação dos edifícios em detrimento dos demais módulos urbanos, reconhece-se sua contribuição no sentido de buscar convergir tanto a estruturação do CityGML como a do IFC em direção a uma estruturação de CIM. Na Figura 6 observa-se uma associação preliminar entre os módulos do CityGML e o que os autores propõem como módulos de CIM, revelando-se inclusive nomenclaturas modulares coincidentes.

Figura 6 – Mapeamento de relações entre módulos CityGML e CIM, segundo XU et al.



Fonte: Xu et al., 2014 (tradução nossa).

No caso do IFC, a associação é menos direta, além do que os autores recorrem à exemplificação de classes IFC ainda não existentes (IFCTrafficLights, IFCRiver, IFCLake, IFCRoad...) (ver Figura 7).

Figura 7 – Mapeamento de relações entre classes IFC e módulos CIM, segundo XU et al.



Fonte: Xu et al., 2014 (tradução nossa).

Esta tentativa de sugerir a criação de novas classes IFC advém da constatação de que, das cerca de 900 classes nativas do IFC, apenas 15 possuem representação semântica similar entre os elementos pertinentes aos módulos do CityGML (ver Quadro 5) (embora na altura da publicação do artigo de Xu et al. já estivesse vigente o IFC4, o qual contém cerca de 1200 classes, a sua pesquisa fundamentou-se no IFC 2X3, em razão de sua maior difusão).

Quadro 5 – Mapeamento relacional entre classes IFC e tipos do CityGML

Classe IFC	Elemento CityGML	Classe IFC	Elemento CityGML
IfcBuilding	Building	BuildingAddress	Address
IfcWall	WallSurface	IfcDoor	Door
IfcSlab	FloorSurface	IfcColumn	Column
IfcRoof	RoofSurface	IfcFurnishingElement	BuildingFurniture
IfcFlowTerminal	FlowTerminal	IfcSpace	Room
IfcRailing	Railing	IfcAnnotation	Annotation
IfcBeam	Beam	IfcStair	Stair
IfcWindow	Window		

Fonte: Xu et al., 2014.

Xu et al. tomaram o campus da Universidade de Huazhong como caso de aplicação deste modelo de CIM, com o propósito de testá-lo como instrumento para tomada de decisão em um caso de emergência de incêndio. Como conclusão, alegam que há um grande potencial na relação entre IFC e CityGML, apesar do fato de que o estado da arte que trata desta relação apresentar predominantemente apenas casos onde a relação é unidirecional, ou seja, apenas voltada à importação de dados do modelo IFC para uma base CityGML, sem referências a uma relação contrária (XU et al., 2014). Além disso, a vinculação semântica direta entre IFC e CityGML deixa grandes lacunas de informação, as quais têm sido parcialmente tratadas no modelo de dados IFC4 e que se pretende atender em sua plenitude em um ainda não elaborado, mas conjecturado IFC5 (BUILDINGSMART, 2017).

Embora Xu et al. tenham associado a relação entre IFC e CityGML como CIM, outros autores já haviam realizado experimentações similares sem fazer, entretanto, referência àquele acrônimo. É o caso de Isikdag e Zlatanova, que, em 2009, procuraram estabelecer um enquadramento formal para uma conversão formal, tanto semântica como geométrica, entre modelos IFC e CityGML (2009). Foi dada uma maior atenção aos diversos níveis de detalhes de representação (ou LoDs – *Levels of Detail*) possíveis de serem incorporados no modelo CityGML a partir de modelos IFC, caracterizando, assim, uma abordagem ainda unidirecional. Como conclusão, constatam que os modelos IFC possuem todas as condições necessárias de representação nos mais variados LoDs de CityGML, e que é possível conceber regras que convertam informação geométrica de um modelo para o outro e que facilitem a compatibilização semântica entre ambos.

El-Mekawy avança nesta direção e desenvolve o UBM²⁷, uma modelagem unificada destinada a servir de plataforma de integração entre CityGML e IFC, e na qual são operados métodos de conversão bidirecional entre ambos os padrões (ver Figura 8). Trata-se da proposição de uma ontologia de suporte à interoperabilidade entre os dois domínios, na qual é concebido um modelo intermediário (UBM) que recebe as classes e atributos de um dos modelos-padrão, ajusta-o e exporta-o para um outro modelo-padrão (EL-MEKAWY, 2010). Seu propósito é o de garantir uma maior fidelidade na transição do elemento construído ‘edifício’ entre um modelo IFC e a base CityGML (no qual o edifício é mais um elemento entre tantos outros que compõem o modelo), com um mínimo de lacunas semânticas, problemática esta apontada por Xu et al.

Figura 8 – Interseção das áreas de CityGML e IFC, segundo El-Mekawy.



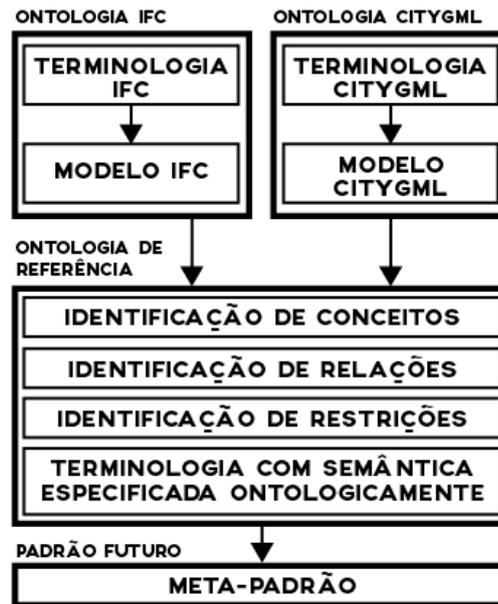
Fonte: El-Mekawy, 2010 (tradução nossa).

A similaridade entre IFC e CityGML, no que se refere à representação de informações geométricas e topológicas, oculta a complexa heterogeneidade semântica entre ambos. El-Mekawy busca superar esta dificuldade por meio da constituição de uma ontologia de referência,

²⁷ *Unified Building Model*, ou Modelo Unificado de Edificação.

a qual evita a tarefa de se vincularem diretamente classes e objetos advindos do IFC e CityGML (tarefa que foi conduzida por XU et al. com resultados pouco expressivos) para se implantar uma modelagem intermediária, a qual poderá no futuro, eventualmente, ocasionar na consolidação de um meta-padrão (ver Figura 9) (EL-MEKAWY; ÖSTMAN, 2010).

Figura 9 – Enquadramento metodológico utilizado por Mekawy.



Fonte: El-Mekawy; Östman, 2010 (tradução nossa).

Tal como Xu et al., El-Mekawy e Östman elaboraram um quadro relacional entre classes dos modelos padrão, com a diferença destes estarem agora mediados por um conjunto de classes do modelo UBM (ver Quadro 6). Enquanto há alguns conceitos mais próximos entre IFC e UBM, há outros de similar proximidade entre UBM e CityGML. A identificação preliminar do LoD desejado para a modelagem foi considerada como critério prioritário para a seleção e extração de classes dos padrões.

Quadro 6 – Mapeamento relacional entre classes IFC, UBM e CityGML

IFC	UBM	CITYGML
IfcBuilding	UBMBuilding	AbstractBuilding
IfcBuildingStorey	UBMStorey	BoundarySurface RoofSurface WallSurface GroundSurface Outros elementos do edifício
IfcSpace	UBMSpace UBMOpenedSpace UBMClosedSpace	Room
IfcSlab Ground Slab Floor Slab Ceiling Slab	UBMLevel UBMGround UBMFloor UBMCovering UBMCeiling	GroundSurface FloorSurface CeilingSurface

Na Figura 10 observa-se que no LoD-0 o modelo representa apenas a geometria 2,5D na qual o ambiente construído é exibido como blocos (UBMGeometry); no LoD-1 há o objeto (classe) UBMBuilding, que representa a edificação em sua aparência mais básica; nos LoDs 2, 3 e 4 são incorporadas cumulativamente novas classes semânticas e geométricas que agregam mais complexidade ao edifício.

Apesar do autor alegar a insuficiência de testes para uma melhor validação do modelo unificado, El-Mekawy considera plausível que UBM venha a ser aperfeiçoado futuramente e servir como base de um meta-padrão que funcione como plataforma de conversão de formatos para modelos de cidades tridimensionais virtuais.

Uma abordagem mais antiga sobre a relação entre BIM e GIS foi apresentada por Benner, Geiger e Leinemann, em 2005, no I Workshop Internacional sobre Modelos de Cidades 3D da Próxima Geração, em Bonn, na qual se propunha um novo modelo semântico tridimensional de edificações dedicado ao planejamento urbano.

A problemática apresentada por Benner et al., assim como a de tantos outros pesquisadores das relações entre BIM e GIS, era a de que os modelos tridimensionais de cidades apresentavam pouco ou nenhum conteúdo semântico (ou o conteúdo semântico era apenas representado na forma de atributos) (BENNER et al., 2005; ALMEIDA; ANDRADE, 2015). A solução proposta, ao contrário do estabelecimento de uma linguagem intermediária (tal como em El-Mekawy) ou do relacionamento direto (tal como em Xu et al.), foi a criação de uma modelagem de objetos chamada de QUASY (acrônimo de *Quartierdaten-Managementssystem*²⁸).

O modelo QUASY apresentado por Benner et al., e assim como em El-Mekawy, é voltado ao edifício. Seu propósito é o de conceber uma modelagem da cidade independente do CityGML e com maior afinidade com o modelo IFC. Como resultado, o mapeamento relacional entre classes IFC e QUASY apresenta 22 classes diretamente compatíveis (ver Quadro 7).

²⁸ Sistema de Gestão de Dados de Vizinhança, em livre tradução nossa.

Quadro 7 – Mapeamento relacional entre classes IFC e classes QUASY

Classe IFC	Classe Quasy	Classe IFC	Classe Quasy
IfcSite	QuRelief	IfcOpeningElement	QuOpening
IfcSite	QuTerrainIntersection	IfcDoor	QuDoor
IfcBuilding	QuBuilding(Part)	IfcWindow	QuWindow
IfcBuildingStorey	QuStorey	IfcSpace	QuRoom
IfcSlab (FloorSlab)	QuStorey	IfcSpaceBoundaries	QuRoom
IfcRoof	QuRoof	IfcSpaceBoundaries	QuRoom *
IfcSlab (RoofSlab)	QuRoof	IfcCovering	QuBuildingExtension
IfcWall	QuWall	IfcStair	QuBuildingExtension
IfcBeam	QuWall	IfcRailing	QuBuildingExtension
IfcColumn	QuWall	IfcRamp	QuBuildingExtension
IfcCurtainWall	QuWall	IfcStairFlight	QuBuildingExtension

* inclusas as subclasses QuInnerWall, QuFloor e QuCeiling

Fonte: Benner et al, 2005.

Benner et al. argumentam que o foco na pesquisa dado ao edifício representa apenas uma parte de um modelo maior e mais complexo voltado a áreas urbanas de menor escala, ou vizinhanças (2004). Em razão da carência de maiores informações sobre outros aspectos da modelagem da cidade, a ontologia apresentada é específica da edificação (ver Figura 11).

Figura 11 – Representação da ontologia QUASY



Fonte: Benner et al., 2005.

Berlo e Laat, em 2009, reconhecendo o CityGML já como um modelo de dados padrão amplamente difundido, optaram por preservá-lo como plataforma e conceberam uma extensão sua chamada GeoBIM, dedicada a extrair os dados semânticos de um modelo IFC e adequá-los a um formato legível pelo CityGML e com a maior integridade possível, em comparação ao modelo original em BIM.

Em razão da maior parte das classes IFC não serem consideradas úteis para o caso prático de uso do GeoBIM, os autores elegeram apenas 15 classes com melhor potencial de agregar informação útil à extensão do CityGML, as mesmas que Xu et al. virão adotar em 2014 (ver Quadro 8).

Quadro 8 – Mapeamento de classes IFC compatíveis com CityGML, segundo Berlo e Laat

Classe IFC	Tipo CityGML
IfcBuilding	Building
BuildingAddress	Address
IfcWall	InteriorWallSurface ou WallSurface (Dependente de boundaryType)
IfcWindow	Window
IfcDoor	Door
IfcSlab	RoofSurface ou FloorSurface (Dependente de IfcSlabTypeEnum)
IfcRoof	RoofSurface
IfcColumn	Column
IfcFurnishingElement	BuildingFurniture
IfcFlowTerminal	FlowTerminal
IfcSpace	Room
IfcStair	Stair
IfcRailing	Railing
IfcAnnotation	Annotation
IfcBeam	Beam

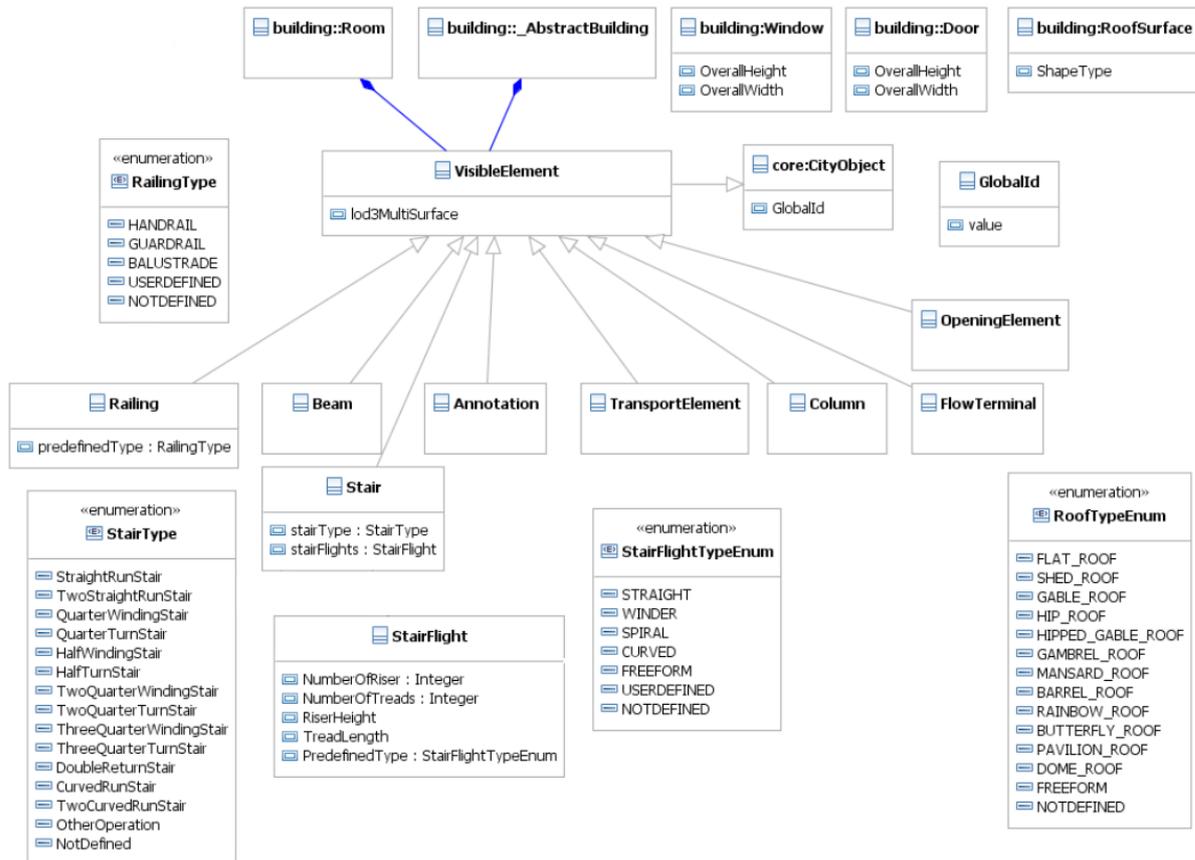
Fonte: Berlo e Laat, 2011.

A extensão GeoBIM promove a exportação plena de todas as propriedades destas 15 classes de IFC para o modelo CityGML, além da criação de novos objetos de modo compatível (como o elemento ‘escada’-Stair, que é importado no modelo CityGML com geometria e algumas propriedades semânticas). Para ser submetida a testes práticos, a extensão GeoBIM foi implementada no servidor aberto *Building Information Modelserver* (BIMserver), de modo que a implantação de um aplicativo de conversão entre o modelo IFC e o GeoBIM permite testar o modelo teórico pelos usuários (BERLO; LAAT, 2011).

A extensão ainda está em fase de testes, posto que algumas condicionantes ainda precisam ser resolvidas, tais quais: problemas na conversão de geometrias mais complexas entre IFC e CityGML; os arquivos importados para o CityGML tornam-se entre 11 e 38 vezes mais

pesados que os originais em IFC; apenas o LoD-4 é passível de importação até então; a conversão do modelo CityGML para o IFC não está resolvida, etc (BERLO; LAAT, 2011).

Figura 12 – Representação da ontologia da extensão GeoBIM



Fonte: Berlo e Laa, 2011.

Este esforço compartilhado por vários pesquisadores em transpor com a maior fidelidade possível os dados dos modelos BIM para o modelo CityGML demonstra uma noção de um modelo CIM com forte ênfase em uma modelagem de cidade constituída por elementos tridimensionais virtuais, sem necessariamente se aprofundarem na dinâmica do fluxo de dados sintáticos e semânticos de um sistema urbano. O propósito desta orientação ao elemento construído destina-se a permitir que sejam realizadas determinadas análises que dependem essencialmente de atributos geométricos dos modelos dos edifícios, tais quais dimensões de janelas, alturas dos andares, percursos de saídas de emergência, etc. (BERLO; LAAT, 2011).

CIM, nesta acepção, corrobora com uma produtiva vertente de pesquisas voltadas à inclusão de dados georreferenciados aos modelos BIM, que é o caso da gestão de facilidades (*facilities management*, ou FM) (PRZYBYLA, 2010b; MIGNARD; NICOLLE, 2014), o que pode ser

observado, por exemplo, no caso de Xu et al. que, embora tenha detido atenção ao desenvolvimento de um modelo CIM, sua aplicação assemelha-se mais a uma rotina de gestão do edifício um pouco mais ampliada do que à representação do campus da Universidade de Huazhong como um modelo reduzido de cidade.

Não cabe aqui especular se, futuramente, a sofisticação dos dados dos modelos BIM levará naturalmente à construção de um modelo interativo de cidade, como se CIM fosse um destino inevitável do BIM. O que se percebe, entretanto, é que há uma predisposição das revisões das plataformas BIM em incorporar atributos geográficos mais complexos [a exemplo da revisão do padrão IFC para suportar dados geoespaciais (BUILDINGSMART, 2016), assim como a existência de grandes eventos dedicados exclusivamente ao tema, como a GeoBIM Europe e Middle East] e interoperar com redes infraestruturais de larga escala (AUTODESK, 2017), o que tangencia o pressuposto campo da modelagem da informação da cidade.

3.2 CIM e o urbanismo paramétrico

Uma outra abordagem sobre CIM tem sido conduzida no sentido de instrumentalizar digitalmente as práticas de projeto urbano²⁹, integrando uma estrutura semântica complexa de dados da cidade e um amplo conjunto de componentes modelados formais e parametrizáveis (DUARTE; MONTENEGRO, 2009). Afasta-se da vinculação a um modelo mais detalhado da edificação e detém-se na formulação de uma rede relacional de elementos mais básicos, constituintes de um modelo sintético virtual de cidade. Esta aproximação aos sistemas de desenho paramétrico para a produção de projetos urbanos é também chamada por alguns autores de urbanismo paramétrico (GERBER, 2007; SCHUMACHER, 2008; SILVA, 2009). Em um projeto paramétrico, “são os parâmetros [...] que são declarados, e não sua forma” (KOLAREVIC, 2000). Assim, novas formas ou configurações são obtidas à medida que novos valores são atribuídos aos parâmetros disponíveis, o que remete a relações de vínculos e interdependências entre dados e geometrias. O termo ‘parametrismo’ será aqui adotado como livre tradução do termo *parametricism*, difundido por Schumacher ao tratar de processos que “emergem da exploração

²⁹ O termo ‘projeto urbano’ é adotado como tradução livre de ‘*urban design*’, termo este de ampla adoção na bibliografia internacional consultada e, embora com diversas acepções na língua inglesa, não dispõe de precisa tradução em português. Para o efeito, adotou-se a noção referenciada por Lang, a qual define que projeto urbano é “a arte de relacionar estruturas entre si e com o ambiente natural em que se inserem, com o propósito de atender ao modo de vida contemporâneo”.

criativa de sistemas de desenho paramétrico em vistas de articular processos e instituições sociais cada vez mais complexos”³⁰ (2008, p. única).

Ontologicamente, pode-se dizer que esta aproximação sobre CIM trata da construção de uma ontologia que articula ferramentas e objetos (estes, no caso, modelos vinculados diretamente aos parâmetros manipulados pelos algoritmos das ferramentas). No caso anterior de associação entre BIM e GIS, em comparação, o cerne está na ontologia de articulação entre os modelos IFC e CityGML, sendo irrelevante a ontologia dos softwares que geram estes modelos. Posto de outra forma, CIM dentro do urbanismo paramétrico trata BIM especificamente como um salto tecnológico que agrega um alto nível de parametrização ao CAD, sendo tomado como modelo teórico para a constituição de processos de projeto generativo aplicados ao GIS. Neste caso, o edifício perde o protagonismo da abordagem BIM+GIS e torna-se um elemento de composição de mesmo nível ontológico de um lote ou quadra.

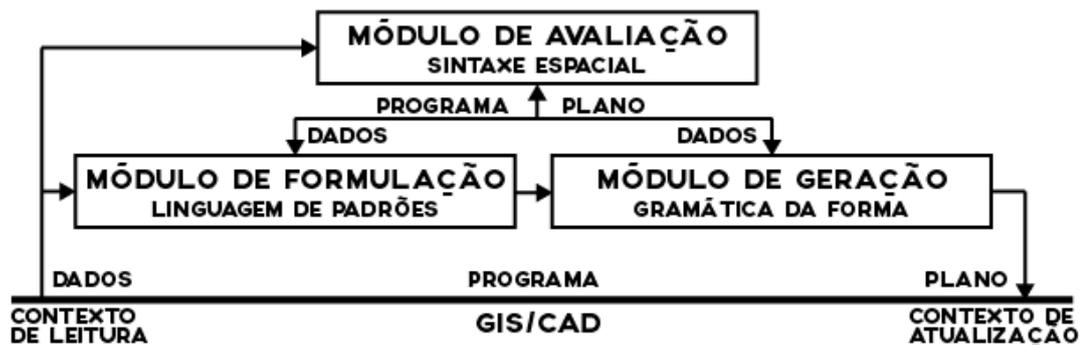
Com o propósito de desenvolver uma plataforma computacional de suporte aos vários estágios do projeto urbano, Duarte et al. deram início a um projeto de pesquisa baseado na geração de formas a partir da definição de um sistema de regras, chamado ‘*City Induction*’ (GIL; DUARTE, 2008; DUARTE et al., 2011; DUARTE et al., 2012). Argumentam que o desempenho econômico e a qualidade de vida das cidades dependem da capacidade de identificação das necessidades das comunidades e do reconhecimento do território urbano para satisfazer tais necessidades, de modo que o planejamento do ambiente construído poderia maximizar esta satisfação consumindo o menor montante de recursos possível. Esta capacidade é atualmente limitada em razão da alegada falta de ferramentas integradas para a concepção de planos urbanos (de desenho e planejamento), e o *City Induction* é proposto como um modelo de desenvolvimento de tais ferramentas, por meio do emprego de novas tecnologias fundamentadas pelo uso intensivo de parâmetros geográficos e qualitativos (DUARTE et al., 2012), além da construção de uma ontologia específica (DUARTE; MONTENEGRO, 2009).

Esta plataforma toma como referências as teorias da linguagem de padrões (segundo Christopher Alexander), da sintaxe espacial (segundo Bill Hillier e Julienne Hanson) e da gramática da forma (segundo George Stiny e James Gips) como pontos de partida para a formulação, avaliação e geração de modelos de informação da cidade (ver Figura 13), e que correspondem a três modelos parciais e complementares: o módulo voltado para a formulação de

³⁰ Livre tradução nossa: “*Parametricism emerges from the creative exploitation of parametric design systems in view of articulating increasingly complex social processes and institutions?*”.

programas urbanos foi concebido de acordo com o que pontua Alexander com o suporte de bases de dados geoespaciais fornecedoras dos parâmetros socioeconômicos e das feições físicas do território; o módulo de geração de soluções urbanas formais baseia-se na teoria da gramática da forma, e no qual são exploradas soluções alternativas de projeto generativo a partir de uma linguagem genérica de desenho urbano (chamado *CityMaker*); e por fim, o terceiro módulo é um sistema de avaliação de programas urbanos e soluções de design para metas específicas, baseando-se na teoria da sintaxe espacial, focado basicamente nas configurações geométricas e topológicas espaciais, alinhando-se a outras teorias de formas urbanas sustentáveis, como a cidade compacta. O propósito deste módulo é estabelecer uma base comparativa e de eleição das melhores alternativas de soluções de projeto urbano (DUARTE; MONTENEGRO, 2009; DUARTE et al., 2012).

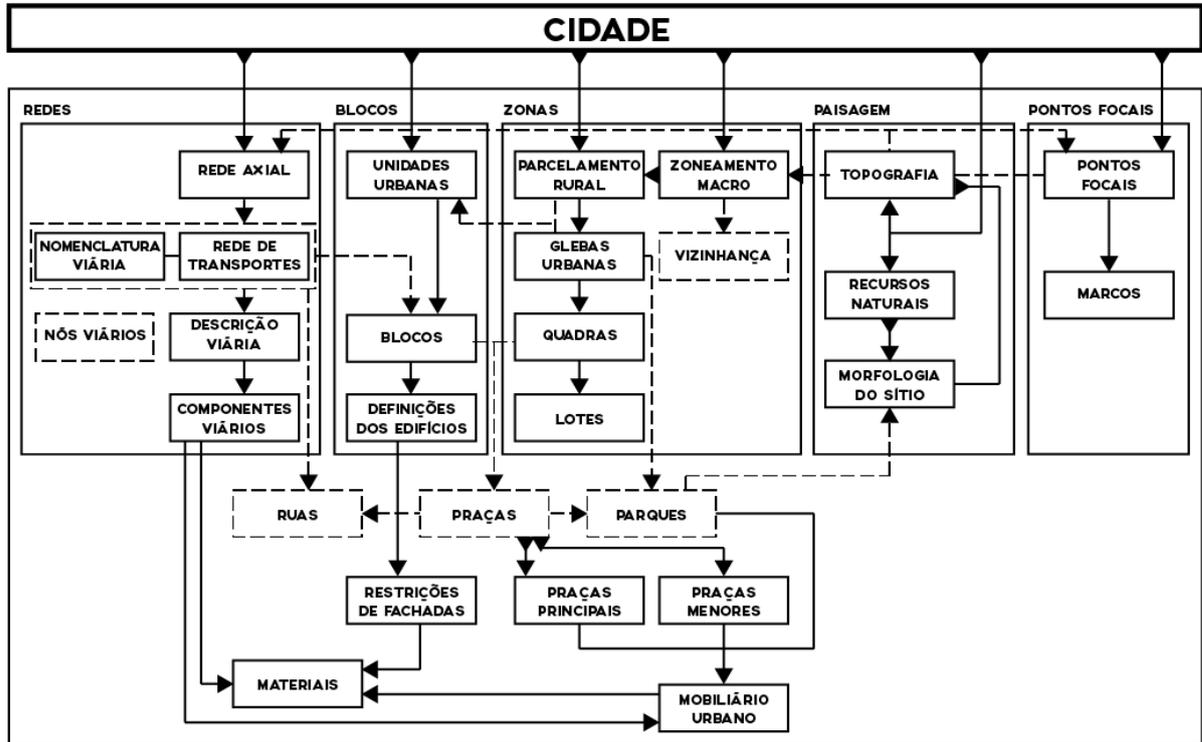
Figura 13 – Modelo conceitual básico da plataforma computacional *City Induction*



Fonte: Duarte et al., 2012.

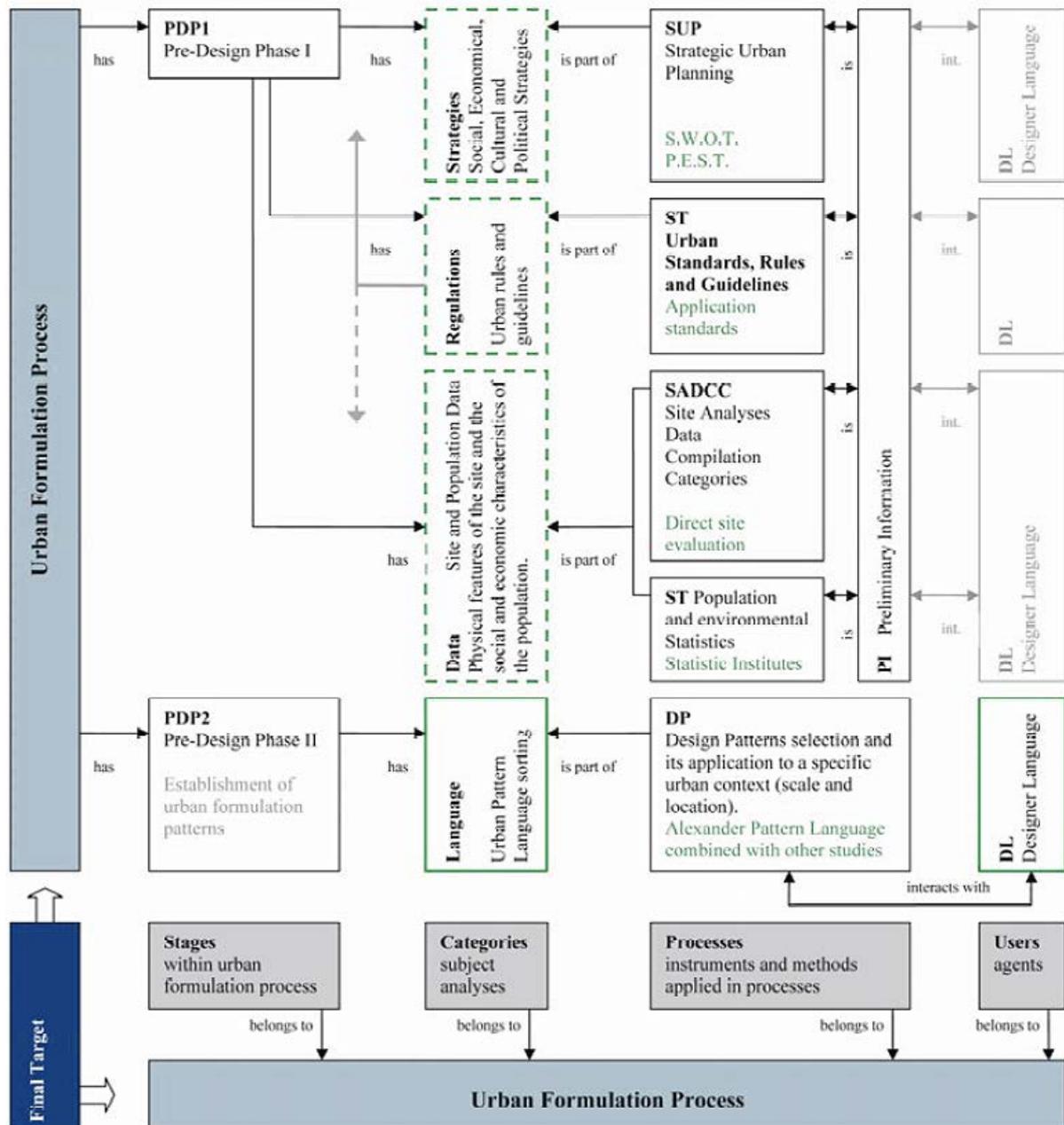
Para garantir a interoperabilidade entre estes três modelos parciais fez-se necessário desenvolver uma ontologia prévia do ambiente urbano que fosse adequada ao planejamento do sítio (ver Figura 14). São propostas cinco classes principais (que representam domínios próprios, classificando a cidade em sistemas de redes, blocos, zonas, paisagem natural e pontos focais), subdivididas em classes de objetos (como rede axial, unidades urbanas etc.), as quais contêm tipos próprios de objetos com seus respectivos conjuntos de parâmetros dimensionais (largura, cota etc.) e atributos qualitativos. Estas classes principais (chamadas pelos autores de “sistemas”) são, em suma, braços independentes ou interdependentes da ontologia do sistema urbano, cujos graus de dependência denotam relações específicas entre as classes, e representam uma forma particular de compreender a cidade, como, por exemplo, um sistema viário (DUARTE et al., 2012).

Figura 14 – Representação simplificada da ontologia do ambiente urbano, segundo Duarte et al.



Fonte: Duarte et al., 2012.

Em complemento à ontologia proposta para o ambiente urbano, os autores desenvolveram ontologia específica para os processos do desenvolvimento urbano, incorporando seus vários estágios, os dados manipulados nestes processos e os participantes envolvidos, estabelecendo três estágios principais, equivalentes aos três módulos do *CityInduction*: “*pre-design*” (formulação), “*design*” (geração) e “*post-design*” (avaliação) (a ontologia do estágio de *pre-design* pode ser vista na Figura 15). Nestas ontologias, em comparação à anteriormente apresentada, as classes e relações deixam de caracterizar objetos e passam a representar fases, procedimentos e usuários e as relações destes entre si e com outras ontologias.

Figura 15 – Diagrama da ontologia do estágio de *pre-design*

Fonte: Duarte et al., 2012.

O estágio de *pre-design*, o qual corresponde ao módulo de formulação do projeto urbano, consiste na análise e interpretação dos dados contextuais que ocorrem antes do início do processo de geração. O objetivo deste estágio é observar o contexto urbano para identificar exigências, restrições e oportunidades para um dado sítio. Segundo os autores, o planejamento é uma tarefa essencialmente algorítmica, por incorporar uma grande quantidade de regras legais e exigências e por fundar-se em argumentos condicionais (do tipo ‘se’, ou ‘if’). Neste sentido, conceber um modelo de formulação é uma questão de se desenvolver protocolos de como a cidade

crescerá (DUARTE et al., 2012). Um modelo conceitual do módulo de formulação é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Modelo conceitual de formulação



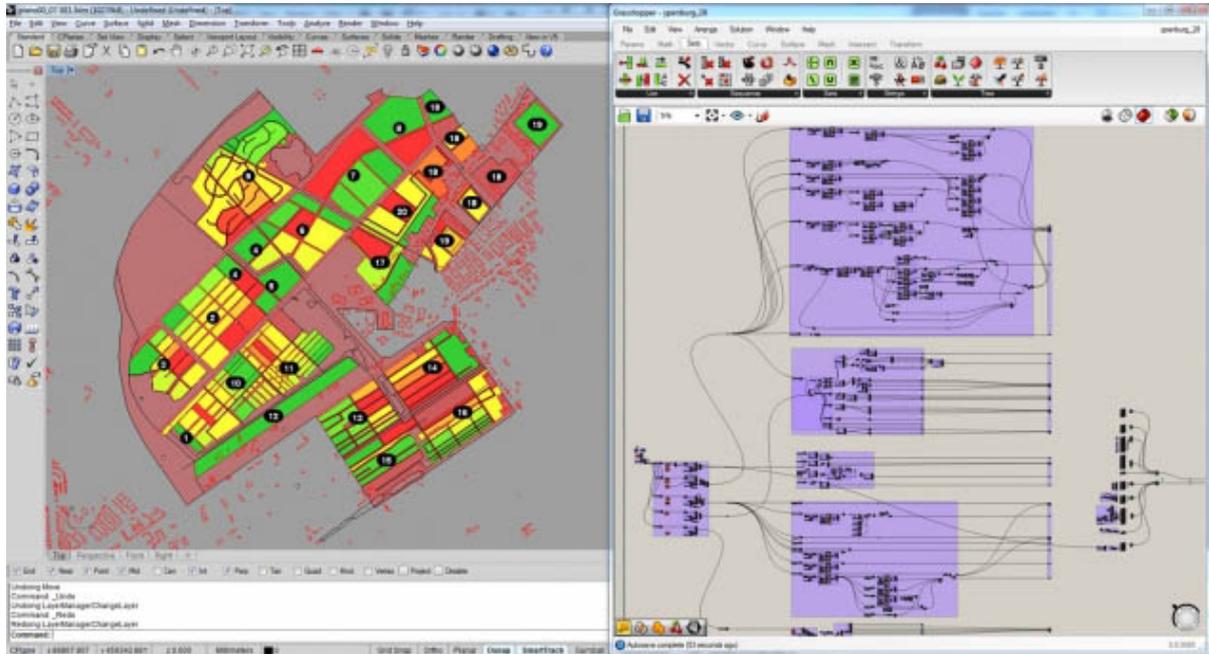
Fonte: Duarte et al., 2012.

Neste modelo, “entradas” correspondem às descrições do contexto urbano que será objeto do plano, tais como dados populacionais, geográficos, regulamentos e demais fontes de interesse para a etapa de planejamento, e que serão encaminhadas em formato GIS. “Intérprete” é o núcleo do modelo, composto de regras advindas dos conceitos de padrões concebidos por Alexander, o qual interpreta os dados contextuais e gera demandas programáticas para o plano. “Saídas” são o conjunto de especificações que descrevem as soluções espaciais adequadas para o contexto, ou seja, a descrição de arranjos que satisfazem as necessidades da comunidade (DUARTE et al., 2012).

O modelo de geração produz soluções de desenho urbano de acordo com as especificações definidas pelo módulo de formulação e das contribuições do urbanista. Estas especificações são um conjunto de padrões urbanos que contém vínculos com um ou mais padrões de indução urbana contenedores de regras que os instanciam. Padrões de indução urbana são padrões de desenho urbano, ou seja, eles codificam ações de desenho urbano recorrentes e os vinculam a um amplo espectro de aplicações. Tecnicamente, são gramáticas discursivas³¹ genéricas que podem vir a ser manipuladas pelo urbanista de modo a definir uma gramática mais específica (por meio da redução dos conjuntos de regras e pela restrição de seus parâmetros). Por meio da aplicação das regras resultantes, obtém-se uma solução de desenho urbano, como no caso do *CityMaker*, no qual as regras são inseridas por meio de um *plugin* de desenho generativo (Grasshopper) que renderiza seus resultados no software de modelagem Rhinoceros (ver Figura 17).

³¹ Gramática discursiva é, tecnicamente, uma gramática da forma que descreve as propriedades formais do contexto urbano e do desenho. Do ponto de vista operacional, inclui uma gramática de formulação (que gera um programa de necessidades a partir da análise do contexto) e uma gramática de geração (que gera soluções de desenho urbano para atender a este programa).

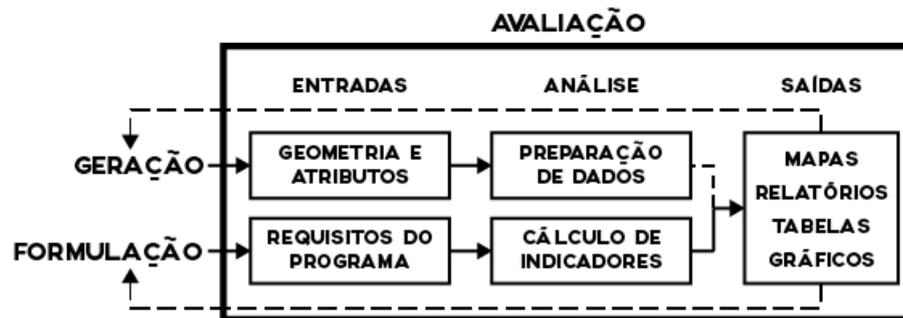
Figura 17 – Ferramenta *CityMaker* com regras implementadas no *Grasshopper* (dir.) e visualizada no *Rhinceros* (esq.)



Fonte: Beirão et al. , 2015.

O modelo de avaliação, conforme ilustrado na Figura 13, é presente em várias fases do projeto urbano, como na identificação de prioridades na análise do sítio e do contexto urbano e no monitoramento do desempenho do plano após implementação. Cada uma destas fases faz uso de diferentes dados de entrada e apresentam diferentes opções de saída em um processo de avaliação, conduzindo a distintos princípios e estratégias de avaliação (ver Figura 18).

Figura 18 – Modelo conceitual de avaliação no contexto amplo do *City Induction*



Fonte: Duarte et al., 2012.

O enquadramento de avaliação do *City Induction* consiste em cinco níveis de análise: dimensões sustentáveis, questões de sustentabilidade urbana, critérios avaliativos, indicadores de desempenho e referências de desempenho (*benchmark*). As “entradas” são de duas naturezas, sendo que o módulo de formulação entrega referências de desempenho em função dos requisitos do programa de necessidades e o módulo de geração entrega a descrição de um ou mais arranjos

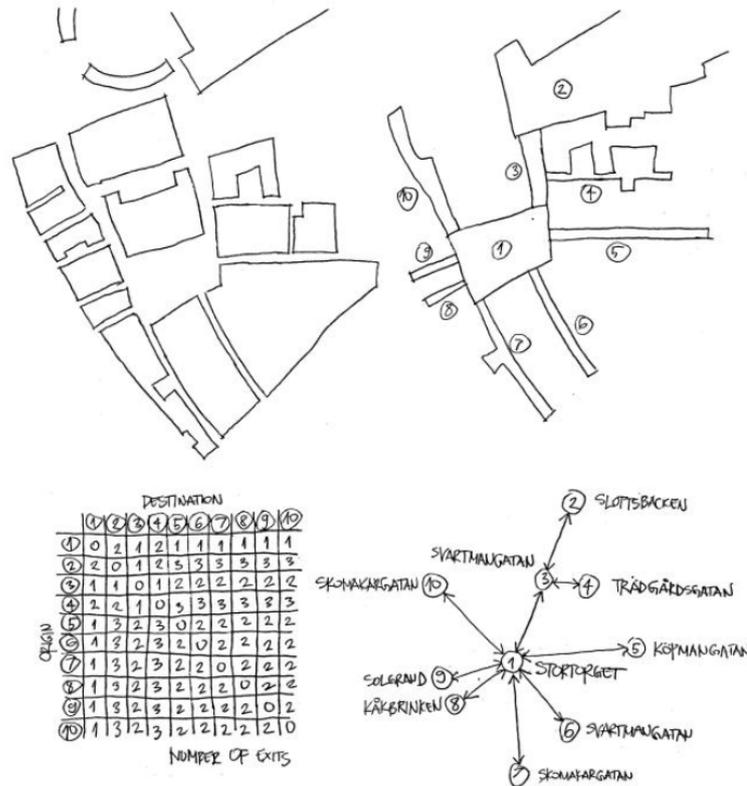
completos, por meio de geometrias e atributos. A “análise” é a etapa na qual são calculados os indicadores de desempenho que subsidiam os critérios avaliativos e a preparação semiautomática dos conjuntos de dados de entrada. O estágio final de “saídas” oferece diferentes tipos de meios de resultados (mapas temáticos, relatórios quantitativos e tabelas e gráficos sumários) para atender às mais diversas partes interessadas do processo de planejamento do projeto urbano (DUARTE et al., 2012).

Este modo de projetar a cidade tem sido abordado por vários outros pesquisadores em diversos países (SILVA, 2009; TANG; ANDERSON, 2011; RAKHA; REINHART, 2012; SALEH, 2012; LIMA; FREITAS, 2016) e implantado por reconhecidos arquitetos contemporâneos, como Zaha Hadid, Peter Eisenman, Patrik Schumacher, entre outros. A experiência do *City Induction*, entretanto, foi destacada nesta dissertação não apenas por declarar-se como CIM, mas essencialmente por dispor de uma extensa e detalhada documentação sobre seu desenvolvimento e funcionamento, além de relevar metodologicamente a importância da ontologia no desenvolvimento da modelagem da informação da cidade (GIL; DUARTE, 2008).

Distante do processo generativo, mas adotando uma outra abordagem sobre o parametrismo das formas urbanas, Stojanovski desenvolve uma noção de CIM a qual interpreta o território urbano como uma sofisticada matriz de ‘blocos’. Sua abordagem exalta a ideia de CIM como uma evolução do GIS, “saindo de uma geografia física para uma relacional, e deixando de ser um conjunto de objetos distintos listados em uma tabela de atributos para ser um conjunto de objetos distintos relacionados a outros objetos distintos” (2013). Apesar desta breve incursão sobre um aspecto semântico de CIM como uma base de dados mais rica, a sua argumentação entrega maior peso ao aspecto representativo desta modelagem, sintetizando-lhe como uma estruturação de blocos e territórios com a finalidade de fazer representações simples de relações complexas da cidade.

Fortemente inspirado na teoria das formas urbanas defendida por Kevin Lynch, Stojanovski esboça uma matriz gráfica semelhante à matriz de base dos mapas de integração da sintaxe espacial, onde cada célula bidimensional seria o seu ‘bloco’, e os atributos (extraídos das bases de dados em GIS) seriam ‘camadas’ atribuídas a cada bloco (ver Figura 19).

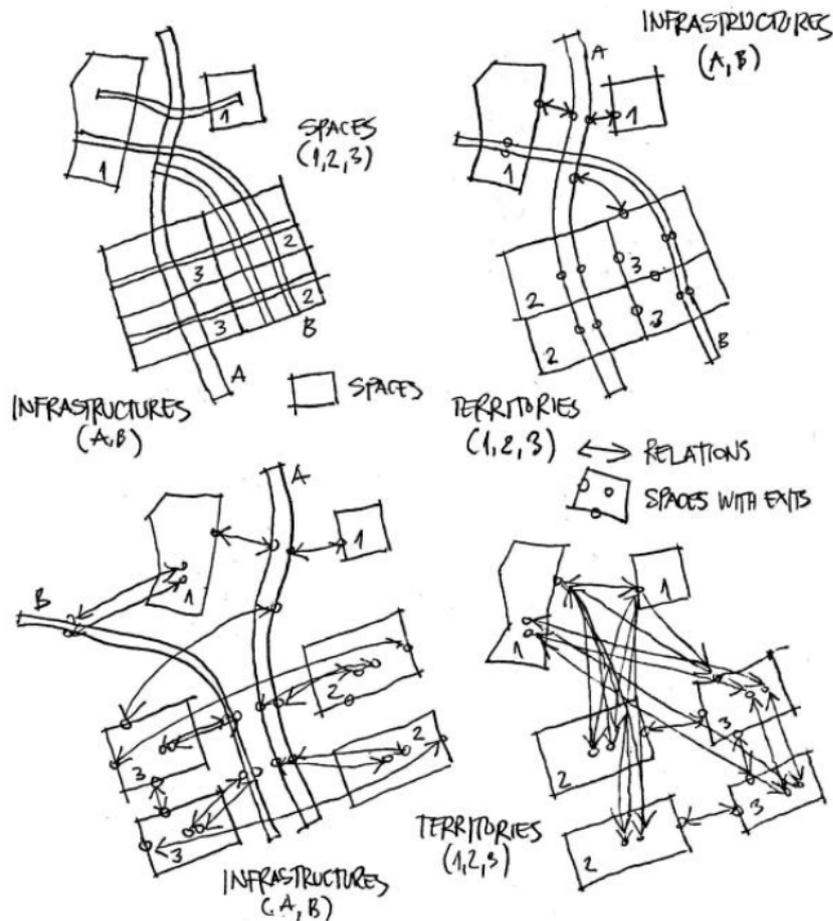
Figura 19 – Esquema de decomposição de traçado urbano de bordas a blocos e de blocos a grafo e matriz (sentido horário) do centro de Stortorget, segundo Stojanovski



Fonte: Stojanovski, 2013.

Esta acepção toma CIM como um grande mosaico de blocos indivisíveis. Cada bloco consiste na representação de um objeto tridimensional ao qual se atribui um parâmetro de nível (cota) e que partilha de relações de fronteira e conectividade com outros blocos (ver Figura 20). Por embasar-se na experiência visual do cidadão, ou seja, no campo da visibilidade urbana do usuário (embora sem referência declarada à prática equivalente da sintaxe espacial), Stojanovski dá menos ênfase a uma macro-articulação entre os blocos em uma escala ampla de cidade e valoriza uma dimensão mais aproximada à experimentação da escala humana. Estes blocos são, portanto, “definidos pela escala do campo social de visão da cidade” (STOJANOVSKI, 2013).

Figura 20 – Representação de territórios como um conjunto de espaços delimitados por limites, entradas e saídas e suas relações, segundo Stojanovski



Fonte: Stojanovski, 2013.

Em razão de sua carreira como pesquisador ter forte influência das áreas de transportes e mobilidade, percebe-se nesta abordagem de CIM que Stojanovski enfatiza não apenas as conectividades entre os blocos, mas o efeito do sequenciamento entre determinados blocos, o que induz a uma noção de movimentação latente neste sistema. A ideia de parametrismo aqui é a de parâmetros extraídos por meio da observação de características do espaço construído em relação a níveis de visibilidade e acessibilidade, com a finalidade de gerar matrizes que permitem comparar o desempenho do arranjo de agrupamentos de blocos. Não se trata, portanto, de um processo generativo, mas apenas avaliativo.

Em síntese, observa-se que a abordagem de CIM sob o viés do urbanismo paramétrico entende a modelagem da informação da cidade como uma articulação de parâmetros representativos de dados espaciais, territoriais, compreendendo o tecido urbano como uma malha sobre a qual organiza-se o projeto urbano como ideia (no caso do *City Induction*) ou como fato (mosaico de blocos). Apesar da ênfase dada ao GIS como fonte de atributos, o foco ontológico

desta aproximação não está no aproveitamento da diversidade e sobreposição de informações sobre a cidade (recurso ferramental amplamente empregado por urbanistas e geógrafos), mas essencialmente na manifestação física virtualizada do espaço urbano construído. Por outro lado, todo dado conversível em atributo é, por natureza, um parâmetro utilizável, o que torna esta abordagem potencialmente ilimitada.

3.3 CIM e arranjos qualitativos de dados

Faz-se mister destacar que todas as abordagens até aqui tratadas sobre CIM envolvem dados. As duas aproximações anteriores dão maior ênfase aos aspectos físico e sintático da modelagem da informação da cidade, seja com maior tônica na multiplicidade de camadas de dados formais que articulam o edifício e o tecido urbano, seja na articulação entre as diversas formas de elementos urbanos entre si. Em suma, resumem a CIM à virtualização de aspectos físicos e construtivos da cidade, sob óticas distintas.

Outra abordagem de CIM, com menor aproximação sintática e maior adesão aos aspectos semânticos dos dados da cidade, pode ser vista na pesquisa de Thompson et al. (2016), a qual investiga o papel da modelagem da informação como suporte ao urbanista na mediação das relações entre mercado e território na cidade. Os autores partem da constatação que o desafio dos urbanistas contemporâneos não está mais, e tampouco apenas, na coleta e geração de dados atualizados, mas em como relacioná-los de modo a integrar um montante cada vez mais massivo de informações com a finalidade de servir mais eficientemente ao planejamento e governança das cidades. Para tal, investigam dois casos de CIM no Reino Unido dentro de quatro temáticas a respeito dos dados da modelagem da informação: acessibilidade e disponibilidade; precisão e consistência; maneabilidade; integração (THOMPSON et al., 2016).

O primeiro caso é o *Geo-Visualising Commercial Real Estate Markets* (GV-CREM ou Geovisualização de Mercados Imobiliários Comerciais), no qual foi desenvolvido um modelo experimental de análise multicritério de bens imóveis urbanos com o propósito de compreender a natureza e vitalidade do mercado imobiliário na Inglaterra e em Gales. Os dados de base não são geométricos e incorporam referências geoespaciais de posicionamento e dados massivos acerca de características físicas de áreas comerciais e industriais, situação de ocupação e valores de aluguel, representando dados de cerca de 500 milhões de metros quadrados de área construída. A Figura 21 demonstra uma representação tridimensional na qual a altura de cada prisma indica a quantidade

de área disponível em cada localidade e a tonalidade corresponde ao valor médio de aluguel de cada área.

Figura 21 – Representação topológica do estoque imobiliário comercial em Tyne e Wear



Fonte: Thompson et al., 2016.

O GE-VCREM tem a capacidade de fornecer dados atualizados sobre o uso do solo, enquanto suporta o planejamento mais eficiente do território e o desenvolvimento de estratégias específicas de desenvolvimento econômico. Com a recente iniciativa de descentralização fiscal na Inglaterra, este projeto também tem permitido monitorar e compreender o impacto das retenções tributárias e o desempenho das iniciativas de financiamento urbano e programas de estímulo econômico (THOMPSON et al., 2016).

O segundo projeto avaliado por Thompson et al. é o *Virtual NewcastleGateshead* (VNG), o qual consiste em uma modelagem tridimensional do espaço construído na vizinhança entre as cidades de Newcastle e Gateshead, fortemente embasado por dados geométricos. Seu propósito é ser uma solução de comunicação efetiva e de baixo custo para as partes interessadas no desenvolvimento do território urbano, permitindo simular rapidamente várias soluções de intervenções físicas na área urbana delimitada pelo projeto. Diferentemente do caso do CityGML, as entidades físicas no modelo do VNG são obtidas por LIDAR, as quais são submetidas a um tratamento da nuvem de pontos e associadas a camadas específicas (edifícios, vegetação, ruas, mobiliário etc.), não seguindo um padrão ou normativa específicos. Estas camadas são interligadas a bancos de dados integrados de GIS e qualificam as entidades ali modeladas (ver Figura 22).

Figura 22 – Modelo VNG e a realização de uma busca (query)



Fonte: Thompson et al., 2016.

Sob o ponto de vista ontológico, Thompson et al. não avançam no sentido da construção de taxonomias e relações, mas vinculam CIM a um modo de aproximação mais holístico da inclusão, manipulação e interpretação de dados da cidade. Neste sentido, CIM é tratado claramente como um conjunto de posturas e ações sobre a informação da cidade, no qual GIS é parte instrumental e complementar. Os autores argumentam que

[...] por meio do desenvolvimento e utilização de CIM, os planejadores locais podem desempenhar um papel prático em evidenciar e auxiliar a mudança urbana, fornecendo informações em relação à demanda potencial de ocupação, à provisão de infraestrutura local e à disponibilidade atual de solo e imóveis³² (THOMPSON et al., 2016, p. 90).

Uma aproximação similar é apresentada por Atzori et al. (2010), que, ao discorrerem sobre as possibilidades de uso de IoT nas cidades, veem CIM como uma plataforma de

³² Livre tradução nossa: “[...] through the development and utilisation of CIM, local planners can play a hands-on role in evidencing and aiding urban change by providing information in relation to potential occupier demand, local infrastructure provision and current land and property availability.”

comunicação entre serviços urbanos, socialmente monitorados (seja por entidades governamentais ou cidadãos):

A ideia de CIM baseia-se no conceito de que o status e o desempenho de cada edifício e tecido urbano [...] é monitorado continuamente pelo governo da cidade e disponibilizado a terceiros através de uma série de APIs, mesmo que algumas informações sejam confidenciais. [...] Nesse sentido, planejamento e design tornam-se um processo social contínuo, no qual o desempenho de cada item está sendo relatado em tempo real e comparado com outros. As mudanças populacionais podem ser inferidas, assim como padrões de movimentação, desempenho ambiental, bem como a eficiência geral de produtos e edifícios³³ (p. 11).

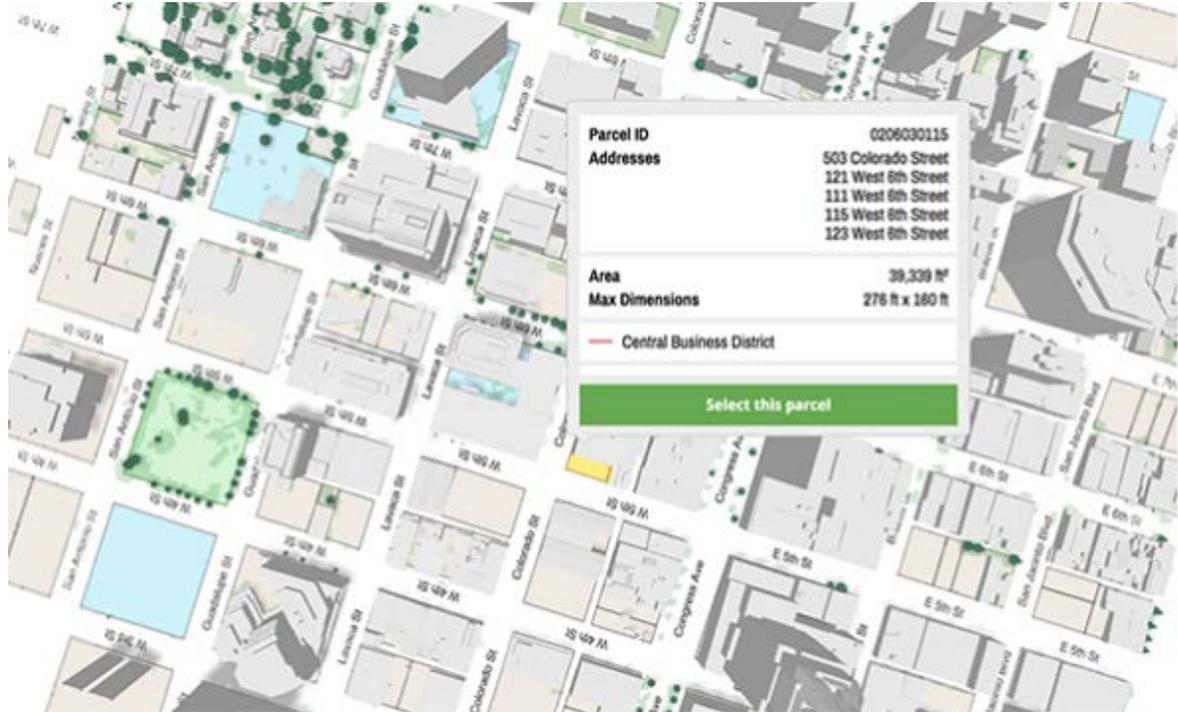
Esta aproximação mais holística de CIM tem sido explorada diversamente por desenvolvedores de soluções digitais, essencialmente com o propósito de entregar informações qualificadas por meio do tratamento integrado de diversos dados da cidade. Hernández-Muñoz et al. (2011) chamam este tipo de plataforma unificada de *Unified Urban Information Model*, e argumentam que sua natureza baseada em diversas e ricas descrições semânticas viabiliza-a como facilitadora para o desenvolvimento de serviços de processamento de informação que venham a envolver variados recursos urbanos e entidades interessadas. Um exemplo similar é o caso do Flux Metro³⁴, uma iniciativa esboçada em 2014 com o propósito de encontrar soluções para enfrentar o aumento populacional global nas cidades nas próximas décadas. Na prática, consistiu em uma plataforma digital que integrava diversos dados sobre a cidade, geométricos, legais e tributários, de modo que o acesso a estas informações seria realizado de forma imediata. O usuário poderia clicar sobre um lote qualquer e todos os dados referentes aos regulamentos incidentes e potenciais construtivos seriam exibidos (ver Figura 23).

O argumento de enfrentar o aumento populacional seria, segundo os desenvolvedores do Flux Metro, tornar mais ágeis os processos de planejamento, projeto, aprovação e construção de edificações, de modo que o estoque residencial conseguisse acompanhar a velocidade da expansão populacional (FLUX, 2015).

³³ Livre tradução nossa: “The idea of a City Information Model (CIM) is based on the concept that the status and performance of each buildings and urban fabrics [...] are continuously monitored by the city government operates and made available to third parties via a series of APIs, even though some information is confidential. [...] In this sense, planning and design is an ongoing social process, in which the performance of each item is being reported in real-time and compared with others. Population changes can be inferred, as can movement patterns, environmental performance, as well as the overall efficiency of products and buildings.”

³⁴ Flux Metro foi um produto desenvolvido pela Flux, uma *startup* ligada à holding Alphabet, que hoje engloba a Google, YouTube, Android e outras empresas de tecnologia.

Figura 23 – Plataforma Flux Metro exibindo um quadro de dados de um lote selecionado



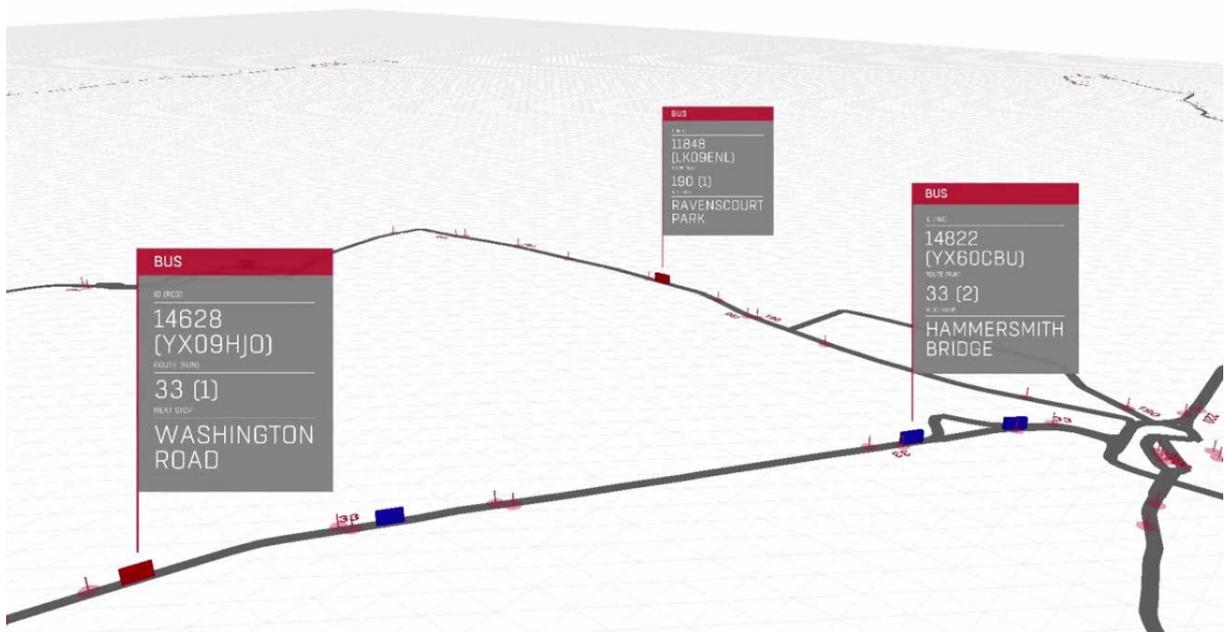
Fonte: Flux, 2015.

Esta iniciativa, embora teoricamente promissora, foi descontinuada em fevereiro de 2017 (CARLILE, 2017). A complexidade e volume de trabalho necessários para a compilação e tratamento de regulamentações urbanas tornou inviável a escalabilidade do negócio, posto que cada município tem sua própria legislação e código de obras (a considerar que o objetivo da iniciativa era compreender uma escala mundial).

Há vários casos de prefeituras que dispõem de um portal de informações destinado exclusivamente à exposição de determinados dados urbanos sobre uma plataforma de visualização geoespacial. Estes dados geralmente são conteúdo diretamente extraído das leis municipais, representações gráficas de redes de infraestruturas (viárias, hídricas etc.), demarcações de territórios (lotes, parques, corpos d'água etc.) e conteúdo semântico predominantemente referente a atributos de cadastro. O salto tecnológico de que trata CIM e que se observa em experimentos como o Flux Metro, VNG e GE-VCREM, além de outros que serão vistos a seguir, está na diversidade de relacionamentos de dados múltiplos para gerar instantaneamente informações de maior valor agregado, o que anteriormente restringia-se ao ofício de consultorias privadas de planejamento urbano, e que agora podem ser incrementados por dados extraídos em tempo real, um fenômeno tecnológico ainda emergente como recurso das municipalidades.

ViziCities é um exemplo de CIM voltado à representação e análise de dados urbanos fornecidos em tempo real. Consiste em uma plataforma *web* de visualização de dados geoespaciais tridimensionais vinculados a um banco de dados abertos do município e a entradas de dados em tempo real de diversas fontes (sensores GPS – *Global Positioning System* ou Sistema de Posicionamento Global, artefatos de IoT, entre outros) (ver Figura 24).

Figura 24 – Plataforma ViziCities exibindo em tempo real o posicionamento e movimentação dos ônibus do transporte público de Londres



Fonte: Hawkes, 2015.

Segundo Hawkes (2015), um dos desenvolvedores do ViziCities, o maior desafio para dar início a esta plataforma foi compatibilizar os dados das distintas fontes de dados abertos disponíveis em Londres, pois estas diferiam entre si em formatos de arquivo, níveis de detalhamento e até mesmo em definição de áreas no território urbano. É importante destacar que esta iniciativa de CIM difere de todas as demais anteriormente citadas essencialmente por ter sido desenvolvida distante de instituições de pesquisa, realizada por cidadãos com conhecimento básico de programação e nenhum domínio de GIS (o qual veio a ser aprendido autonomamente durante a construção da ferramenta), o que demonstra o quanto é relevante a disponibilidade de dados abertos urbanos e o acesso livre a recursos de programação³⁵ na construção de soluções de CIM fundadas na participação cidadã.

³⁵ Neste caso foi empregado o Three.js, uma biblioteca JavaScript de código livre usada para a criação e exibição de gráficos tridimensionais animados em navegadores *web*.

A espontaneidade que caracteriza a origem do ViziCities (os autores inspiraram-se no jogo SimCity, tanto em sua jogabilidade como em aparência) é a principal razão de não se ter adotado o CityGML como referência, mas o GeoJSON³⁶, um formato aberto de representação de feições geográficas e seus atributos, baseado na linguagem JSON (*JavaScript Object Notation*, ou Notação de Objeto JavaScript), o qual ainda está em processo de padronização (IETF, 2016). Comparativamente, o CityGML dispõe de características mais sofisticadas, como elevada flexibilidade, capacidade de leitura por humanos, processamento de imagens raster, vetores e redes trianguladas irregulares e por permitir a especificação de esquemas variados de aplicações. O GeoJSON também é de fácil leitura por humanos, mas não é prático para lidar com dados raster, além de limitar a exibição dos dados geográficos ao datum WGS84. Foi adotado neste caso, entretanto, por ser um caminho natural para os programadores que já dominam JavaScript, e pelo seu desempenho (peso dos arquivos e demanda de processamento) ter sido considerado satisfatório ao ponto de não ter suscitado a adesão a outra linguagem.

Outro exemplo em franca expansão por diversos países é o caso do 5D Smart City, uma plataforma de software desenvolvido pela Cityzenith a qual se denomina como “uma ferramenta de CIM que pretende revolucionar a maneira como profissionais das indústrias de arquitetura, engenharia e construção projetam, colaboram, analisam, apresentam e operam seus projetos de SCs e Smart Campus como nenhuma outra ferramenta disponível no mercado atual” (CITYZENITH, 2016). Experimentado como um piloto desde 2012 em Barcelona, Chicago e Cingapura, o 5D Smart City alcançou em cinco anos uma carteira de mais de 100 cidades distribuídas em 12 países da América do Norte, Europa, Oriente Médio e Ásia, em distintos módulos de informação (WEEKES, 2017).

A plataforma do 5D Smart City é apresentada como uma solução SaaS (*Software As A Service*, ou Software Como Serviço) baseada na nuvem, que mapeia grandes volumes de dados urbanos já processados (dados geoespaciais preexistentes, censos etc.) e criados em tempo real [dados abertos, IoT, Máquina-Para-Máquina (M2M) e mídias sociais] em uma interface padronizada de representação tridimensional interativa (ver Figura 25). Sobre esta plataforma funcionam diversos aplicativos voltados a questões urbanas, como monitoramento de construções, emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia, otimização de tráfego e estacionamento,

³⁶ *Geographic JavaScript Object Notation*, ou Notação de Objeto Geográfico JavaScript, em livre tradução.

consolidação de dados de sensores, alertas de segurança pública, entre outros, os quais compartilham de um banco de dados centralizado e sob constante atualização. (JANSEN, 2013).

Figura 25 – Visualização da plataforma *web* do 5D Smart City



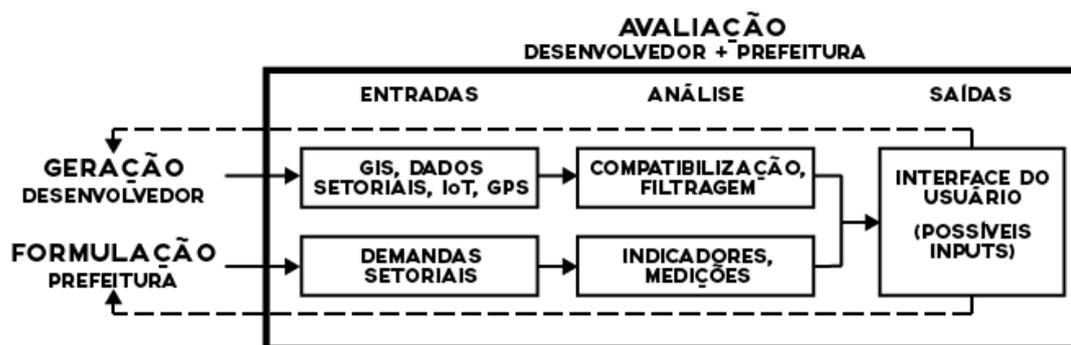
Fonte: Centre, 2016.

Este é um caso de CIM apresentado integralmente como uma solução comercial, cuja amplitude do modelo de negócios vai além da entrega de eficiência e otimização de processos de gestão e envolve a monetização direta da prefeitura com receitas não-tributárias. Como negócio, difere-se do ViziCities em razão deste oferecer sua plataforma central em código aberto, monetizando apenas aplicativos e serviços específicos que funcionarão sobre esta plataforma (HAWKES, 2015). A implementação do 5D Smart City como processo e negócio consiste em cinco passos: primeiramente é realizado um acordo comercial entre a Cityzenith e a prefeitura para a criação de um modelo de cidade 5D Smart City em LoD-1 referente a um recorte urbano predefinido, empregando dados disponíveis em GIS e demais dados fornecidos pela municipalidade; em um segundo momento, a prefeitura identifica que aplicativos seriam necessários e viáveis para serem desenvolvidos, mediante disponibilidade de dados que o alimentem e relevância dentro dos objetivos a serem atingidos pela gestão; em seguida, a Cityzenith desenvolve um ou mais aplicativos iniciais com seus próprios recursos de modo a estabelecer um piloto para treinamento da prefeitura na elaboração de versões mais adaptadas à sua realidade; o quarto passo consiste na ampliação do território urbano virtual beneficiado, ao mesmo tempo em que se procura vender os aplicativos a outros municípios, havendo, caso seja do interesse da

município, um contrato de compartilhamento da receita entre a prefeitura e a Citizenith; à medida que o modelo 5D é populado com dados, a Cityzenith estabelece um novo contrato com a prefeitura para licenciar, também mediante partilha de receita, o modelo aprovado de cidade com desenvolvedores terceiros de aplicativos (JANSEN, 2013). Esta é uma abordagem específica de CIM que não apenas gera receitas para quem a desenvolve, mas concebe uma nova modalidade de receita para os municípios, no caso disto ser localmente permitido por lei.

No que trata da ontologia ampla concebida para esta natureza de CIM, os casos apresentados nesta subseção apresentam uma estrutura conceitual em comum, a qual pode ser representada a partir de uma adaptação do modelo conceitual sugerido por Duarte et al. (2012) (ver Figura 26). Em suma, é clara a referência aos órgãos públicos (no caso, representados pelas prefeituras, a quem cabe avaliar dados de origens interna e externa referentes ao município) como formuladores de demandas setoriais e fornecedores de dados setoriais primários (advindos de secretarias, empresas públicas e consultorias licitadas), bases cartográficas digitais oficiais, dados de equipamentos de IoT e GPS de responsabilidade municipal, entre outros. Aos desenvolvedores, sejam eles de instituições públicas ou da iniciativa privada, cabe o papel de processar estes dados, compatibilizá-los e estabelecer filtros de análise, de modo que as prefeituras possam identificar indicadores e procedimentos variados de medição. A demanda setorial é visualizada como entrada da prefeitura no sentido de que o estabelecimento de um foco de ação de CIM implica na criação de um ou mais comitês ou grupos de trabalho dedicados a conduzir o processo no âmbito institucional.

Figura 26 – Modelo conceitual geral de plataformas CIM voltadas ao arranjo qualitativo de dados



Fonte: Elaborado pelo autor, a partir de Duarte et al., 2012.

É crescente número de soluções de modelagem da informação da cidade voltados ao arranjo qualitativo de dados urbanos, principalmente as dedicadas a setores específicos (mobilidade, segurança, energia, água, telecomunicações etc.) como negócio estratégico na economia das SCs, envolvendo grandes nomes de TI, como a Intel+INRIX, IBM, Hitachi,

Siemens, Cisco Systems (com o Smart+Connected Digital Platform), Microsoft (com o CityNext), entre outros.

Dada a amplitude de iniciativas dentro desta temática, a seleção dos exemplos apresentados nesta subseção teve como critério principal a denominação de CIM pelos desenvolvedores (VNG, GE-VCREM e 5D Smart City), incrementada por dois casos relevantes de experimentação por uma das maiores corporações mundiais de TI (Flux Metro, da Alphabet/Google) e uma iniciativa de cidadãos independentes com recursos mínimos (ViziCities).

* * *

4 ESTRUTURANDO CIM

Das três temáticas de abordagem apresentadas no capítulo anterior, considerou-se útil conceber categorias cuja classificação induza a noções ontológicas específicas. O que se pretende aqui é estruturar direcionamentos de CIM para perceber a sua capacidade de colaboração e interoperabilidade entre diferentes iniciativas. As categorias sugeridas, entretanto, não encerram as abordagens apresentadas de forma exclusiva, mas buscam destacar a tônica identificada no *corpus* documental compilado. Estas categorias representam, assim, uma visão taxonômica mais estrutural destas abordagens. O relevante aqui é estabelecer critérios descritivos preliminares e genéricos de CIM em função do que foi identificado no estado do conhecimento, como preparação para uma abordagem de viés ontológico mais específico.

4.1 Categorias de CIM

Foram concebidas três designações (representadas por acrônimos em inglês³⁷) que se detêm em aspectos técnicos e relacionais das abordagens de CIM sobre a cidade em função de seus atributos físicos (CIM por Ambiente Construído), sintáticos (CIM por Parâmetros da Forma) e lógicos (CIM por Camadas de Dados).

4.1.1. CIM por Ambiente Construído (CIM-BE³⁸)

O maior peso das pesquisas científicas sobre CIM tem sido dado à modelagem da informação dos elementos construídos que constituem a cidade. Embora os propósitos sejam variados, a iniciativa tem como referência, em maior ou menor profundidade, a modelagem ou o modelo BIM. Seja em razão da lógica derivada do vínculo terminológico ou da específica necessidade de se implantar um modelo BIM em um contexto urbano, a noção de CIM por ambiente construído (CIM-BE) remete a uma ontologia na qual as relações entre as classes equivalem às relações topológicas dos objetos entre si, ou seja, dos objetos e suas conexões. Assim, a noção de interoperabilidade passa necessariamente por processos de compatibilização dos objetos a serem relacionados, além da unificação do conjunto de relações possíveis neste sistema.

Na prática, esta abordagem tem sido empregada para se inserir modelos de edificações em um território urbano virtual, ocasionando predominantemente em uma relação

³⁷ Os acrônimos foram assim concebidos em razão deste ser o idioma predominante no meio científico que trata de CIM e temas afins. O propósito é a manutenção da nomenclatura sob distintas traduções.

³⁸ BE como acrônimo de *Built Environment* (Ambiente Construído).

unidirecional que pretende alimentar um modelo de informação de cidade com dados topológico-geométricos de edificações. Em razão da carência de modelos virtuais de cidades com informações consistentes, a inserção das infraestruturas urbanas no modelo da edificação é uma aproximação ainda inexpressiva na produção científica, mas em expansão. Um modelo ontológico ideal deve, portanto, considerar a condição bidirecional de troca de informações topológicas entre edificação e cidade.

Seu resultado de maior destaque está na construção gradativa de um modelo tridimensional integrado da cidade, o qual, por fazer uso de modelos edificados de LoDs mais elevados, pode vir a simular não apenas ambiências externas (circulação pelas ruas e calçadas) como internas dos edifícios (visadas de janelas para o exterior). Os usos são variados, desde a observação do impacto do ambiente construído na projeção da luz solar e ventos, até simulação de planos de segurança contra atentados armados.

Este modelo tridimensional integrado da cidade pode ser dado como o mais efetivo modo de representação física virtualizada da cidade, compreensível por leigos e por técnicos, servindo de base para diversas plataformas (interfaces *web*, simulações em realidade virtual, jogos etc.) e para outras abordagens de CIM.

Como processo, CIM-BE demanda preliminarmente uma definição do propósito do modelo, que é o que definirá o LoD adequado (LoDs elevados possuem mais informações e requerem maior capacidade de processamento, o que tende a reduzir sensivelmente o público que pode acessá-lo adequadamente, enquanto LoDs baixos são de mais rápido processamento, mas bastante restritos quanto aos detalhes que se podem apresentar). A respeito disto, Biljecki et al. (2016) abordam, por exemplo, direcionamentos para a concepção de um modelo ‘multi-LoD’, o qual permitiria por meio de um aplicativo transitar entre distintos níveis de detalhe em um mesmo modelo.

Em seguida, é necessário conhecer a origem dos modelos que serão interrelacionados, ou seja, que entradas ou tipos de modelagem foram utilizados (nuvem de pontos, modelagem tridimensional, programação paramétrica) e que saídas foram geradas (se em arquivos com formato específico ou se em dados puros). Um destes modelos deve necessariamente ser uma base georreferenciada tridimensional. Isto é relevante para que se conduza adequadamente a etapa seguinte, caso necessário, que é a de redução da informação dos objetos de interesse ao mínimo desejado, o que equivale à definição do LoD.

Por fim, a conversão dos arquivos a um modelo unificado passa por um processo de compatibilização topológica, cuja complexidade e esforço de processamento é diretamente proporcional ao LoD preestabelecido. Esta é a problemática tratada com maior frequência na produção científica que trata da relação entre BIM e CIM, e um exemplo da diversidade de formas de abordar esta conversão é observável nos casos apresentados na subseção 2.1. O resultado da compatibilização é um modelo unificado tridimensional que representa elementos construídos da cidade em uma trama georreferenciada com pretensões de oferecer um modelo o mais fiel possível às características físicas da cidade representada.

4.1.2. CIM por Parâmetros da Forma (CIM-SP³⁹)

A modelagem por parâmetros da forma (CIM-SP) propõe uma aproximação mais experimental e dinâmica de CIM em relação ao ambiente construído urbano, na qual, em direção oposta à intenção de representação fiel da realidade no caso de CIM-BE, se busca estudar possibilidades de materialidade. Todo o ambiente construído, neste caso, é tratado como um conjunto parametrizado de septos o qual responde a determinados algoritmos que, em conjunto, resultam em representações alternativas do ambiente construído.

Na prática, esta abordagem é utilizada comumente no estudo e análise de volumetrias de edificações em razão de requisitos legais vigentes ou propostos (gabaritos, recuos, projeções etc.), na validação de conformidades de massas de edifícios no lote, ou planos de massas maiores em relação a um conjunto de quadras, em função do cone aéreo etc. Em razão da complexidade de se parametrizar as topologias de modelos de edificações em LoDs elevados, é comum, no caso de da modelagem CIM-SP, lidar apenas com as superfícies das paredes externas e lajes de piso e cobertas, o que costumeiramente trata do LoD 100, no máximo LoD 200. A importação de modelos de massas construídas é optativa, pois a geração das massas resulta do algoritmo generativo que controla os demais parâmetros do modelo da cidade. A importação ou construção de uma matriz georreferenciada, entretanto, é essencial neste caso para o arranque da modelagem paramétrica, assim como em CIM-BE.

Como processo, CIM-SP requer basicamente a importação de uma base georreferenciada da cidade ou fração desta dentro de um sistema de geração paramétrica, comumente manipulada em uma interface de programação visual (esta importação não necessariamente acontece de maneira direta, podendo demandar aplicativos complementares que

³⁹ SP como acrônimo de *Shape Parameters* (Parâmetros da Forma).

vinculem a interface de programação visual e o banco de dados). Em seguida, são criados parâmetros os quais são vinculados a representações geométricas novas ou preexistentes (por exemplo, os polígonos importados representativos dos lotes e quadras). Tais parâmetros podem ser, então, controlados das mais diversas maneiras, seja por entradas numéricas ou literais manuais, por vinculação a outras fontes tabuladas de dados, por metadados extraídos em tempo real por sensores etc. Desta forma, alterações nos parâmetros repercutem diretamente nas geometrias e vice-versa. O resultado é um modelo tridimensional que representa as massas genéricas construídas que constituem a cidade em uma trama georreferenciada, com pretensões de oferecer um modelo com fácil manuseio de atributos geométricos e topológicos para experimentações e simulações.

4.1.3. CIM por Camadas de Dados (CIM-DL⁴⁰)

A sobreposição de camadas de dados é uma prática comum na utilização de GIS como ferramenta para o planejamento urbano. Entretanto, a ideia de utilizar o acervo de dados sobre a cidade como base para tomada de decisão em situações urgentes requer a sobreposição de camadas de dados preexistentes (e estes armazenados nas mais distintas formas, seja em bases tabulares avulsas, em bancos de dados criptografados, em bases tabulares de GIS etc.) com dados coletados em tempo real. Neste sentido, é necessário integrar o sistema de informações geográficas com outros sistemas de dados, conformando uma modelagem de informação da cidade por sobreposição de camadas de dados (CIM-DL).

Esta é uma abordagem mais fenomenológica de CIM, a qual observa a cidade sob a ótica dos eventos presentes e passados com o propósito de diagnosticar e prever determinadas situações. Corresponde à faceta de CIM mais aproximada à gestão de políticas públicas, a qual lida com tomadas de decisão fundadas em relações multidisciplinares e cuja territorialização por meio da representação digital contribui para uma compreensão mais específica de cada situação.

No âmbito da representação, é desejável que CIM-DL se inter-relacione com outras aproximações de CIM, seja com CIM-BE, CIM-SP ou ambas, aproveitando-se de toda uma estrutura virtual predefinida e validada da cidade, seja esta baseada na valorização dos aspectos físicos preexistentes, ou em parâmetros formais que alimentem algoritmos articuladores de dados de natureza não construtiva a transformações espaciais.

⁴⁰ DL como acrônimo de *Data Layers* (Camadas de Dados).

Como processo, é necessário primeiramente definir de que universo de dados setoriais serão articulados para atender a demanda em questão. Em seguida, identificam-se as variadas fontes de armazenamento e coleta destes dados, e quais os processos intrínsecos de fluxo dos dados em suas origens. Em paralelo define-se qual ou quais bases georreferenciadas da cidade serão empregadas, em razão da melhor entrega de representação gráfica e compatibilidade com os sistemas de dados que operarão sobre ela.

O maior desafio desta abordagem é conceber um modelo de integração e manutenção da atualização dos dados envolvidos, o que pode vir eventualmente a repercutir nos processos preexistentes de geração de determinados dados (a depender da exigência por certas qualidades de um conjunto de dados, o modo como este é obtido pode ser ajustado para gerar saídas conformes). Superado este processo de arranjo de dados, são concebidas interfaces para o usuário de manipulação da sobreposição de dados em interação com a base georreferenciada de representação da cidade.

O resultado é um modelo que representa dados ou conjuntos destes distribuídos geograficamente no território urbano, cuja representação tridimensional é desejável, mas não incondicional, com o propósito de oferecer um modelo com ágil acesso às camadas de dados sobre cidade.

4.2 Quadro-síntese das categorias de CIM

A seguir é apresentado um quadro-síntese (Quadro 9) no qual são correlacionadas as características e finalidades das abordagens das temáticas apresentadas no Capítulo 2, com as exigências ontológicas propostas no item 3.1 deste Capítulo, aqui sugeridas de modo categórico como componentes, integrais ou parciais, da modelagem da informação da cidade.

Quadro 9 – Quadro-síntese das categorias CIM

Categoria	Características	Finalidade	Exigências ontológicas básicas
CIM-BE	<ul style="list-style-type: none"> • Foco na representação gráfica tridimensional realista de elementos físicos da cidade; • Utilizada para vincular modelos qualificados de edificações e outros elementos físicos no território. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representar a cidade virtualmente com grande fidelidade aos aspectos visuais reais; • Analisar o impacto de elementos das edificações e demais elementos físicos sobre a cidade. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilização de vocabulário de atributos e relações entre as classes dos objetos dos modelos da edificação e de demais objetos urbanos com as classes do modelo da cidade em base georreferenciada.
CIM-SP	<ul style="list-style-type: none"> • Foco na representação gráfica tridimensional esquemática de elementos físicos da cidade; • Utilizada para associar entradas dinâmicas de parâmetros às geometrias de traçado urbano e volumetria de massas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representar simulações da cidade com rapidez de resposta; • Analisar o impacto do desempenho de massas construídas sobre a cidade (incidência solar, segurança, tráfego, capacidades de ocupação etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilização entre os atributos dos objetos da base de dados georreferenciada da cidade e as classes de atributos de saída da interface de programação visual
CIM-DL	<ul style="list-style-type: none"> • Foco na representação gráfica de dados setoriais sobre o território urbano; • Permite a sobreposição de diversos dados sobre a cidade em função dos seus posicionamentos geográficos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Representar os dados sobre a cidade em um ambiente georreferenciado de modo a identificar o posicionamento territorial de um fenômeno informacional específico. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compatibilização entre as distintas bases de dados envolvidas, validando com precisão múltiplas ocorrências de um mesmo objeto georreferenciado por meio de um atributo mínimo comum.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Deste quadro depreende-se, em uma primeira aproximação, que para quaisquer que sejam as características e finalidades de uma dada modelagem da informação da cidade sempre haverá um mínimo de exigências ontológicas estruturadoras. Por conseguinte, vê-se latente em cada arcabouço ontológico a necessidade de se articular e compatibilizar fontes de dados de distintas naturezas, as quais podem ou não ser comuns entre as categorias identificadas.

Embora o foco destas categorias esteja na caracterização das aproximações ontológicas a respeito da modelagem da informação da cidade, foram identificadas adicionalmente no *corpus* analisado no Capítulo 2 algumas orientações conceituais sobre CIM, as quais buscaram contemplar integralmente seus universos pesquisados. Contudo, se é admissível que uma modelagem da informação disponha de múltiplos constructos ontológicos, não se pode admitir que a mesma disponha de múltiplos conceitos sobre a sua própria fundamentação.

Partindo-se da premissa que uma ontologia é uma especificação formal e explícita de uma conceitualização compartilhada, e reconhecendo que uma ontologia pode (e deve) conter e integrar-se a outras ontologias, toma-se como consequência peremptória provocar que CIM,

(como um princípio de modelagem de informação e, logo, uma macro-ontologia) venha a ter um conceito central, uno e compartilhável.

4.3 Conceituando CIM

Avançar no desenvolvimento de modelos de informação mantidos por práticas de colaboração e interoperabilidade demanda a busca por determinados padrões, sejam eles semânticos ou conceituais. O estabelecimento de uma conceituação comum de CIM possibilita que as pesquisas presentes nas três categorias identificadas não apenas compartilhem suas ontologias, mas dialoguem com bases em comum e que emergências sejam abordadas de forma sistêmica, viabilizando a convergência de mais forças para seu melhor tratamento.

Convém considerar, entretanto, que a categorização apresentada anteriormente representa, antes de tudo, uma adesão ampla à ideia de modelagem de informação da cidade, ainda que os modos de modelar as informações sejam diversificados. Esta diversidade de abordagens, ao contrário do que pode parecer, é desejável, de modo que qualquer conceituação que venha a ser feita deverá necessariamente ser capaz de englobar todas estas categorias. Por outro lado, a existência de múltiplos conceitos de CIM pode vir a ser um entrave para o seu desenvolvimento colaborativo em âmbito global.

Amorim, Almeida e Andrade ocuparam-se da problemática da ausência de uma conceituação comum de CIM e investigaram aproximações de outros pesquisadores sobre o assunto, observando um elevado grau de distinção entre conceituações, compartilhando similaridades apenas em alguns aspectos instrumentais (AMORIM, 2015; ALMEIDA; ANDRADE, 2016). Cada categoria de CIM, por exemplo, denota uma forte influência dos encaminhamentos de cada pesquisa na elaboração de cada conceito adotado, o que tende a torná-los mais específicos que genéricos.

Uma primeira aproximação conceitual é apresentada em 2005 por Hamilton et al., ao tratarem de aspectos multidimensionais da cidade em referência a pesquisas sobre modelos nD (multidimensionais) em BIM, a qual defende que

o modelo de informação urbana deve integrar aspectos urbanos multidimensionais como economia, sociedade e meio ambiente com o modelo urbano tridimensional sobreposto à dimensão temporal. Um modelo de informação urbana nD irá fornecer um suporte de informação abrangente para

vários sistemas de aplicação de planejamento urbano⁴¹ (HAMILTON et al., 2005, p. 58).

Esta visão vislumbra a amplitude holística de relações urbanas encontrada nas cidades, mas decompõe a sintaxe do termo ‘modelagem da informação urbana’ nas partes ‘modelagem’ e ‘informação urbana’. Tomam modelagem exclusivamente como uma representação virtual tridimensional, composta pela interoperação entre modelos GML, IFC e IFG, e informação urbana como um conjunto de bases de dados, temáticos e espaciais (chamados de *urban datasets*), tais quais dos *databases* utilizados em GIS. Como conceito, focam-se especificamente no que deve conter e fornecer o modelo, mas a modelagem em si não é contemplada.

Xun et al. abordam a instrumentação de CIM de modo semelhante ao caso anterior (interoperabilidade entre BIM e GIS), mas reconhecem no termo a sintaxe ‘modelagem da informação’, alegando-a como “a parte mais desafiadora da concepção do sistema, por necessitar tanto de informações de dados coletados em campo como de dados coletados de modelos paramétricos”⁴² (2014, p. 295). Como conceito, alegam que

CIM deveria ser um sistema de gestão integrada altamente eficiente, multifuncional, cujos dados são mais completos, cujo modelo é mais preciso e eficiente, cujo foco é realizar o compartilhamento de informações e uma colaboração multisserviços e multicampos, além de alcançar gerenciamentos horizontais e verticais de amplo espectro na cidade digital e melhorar a eficiência geral da gestão urbana ⁴³ (XU et al., 2014, p. 306).

Esta aproximação conceitual difere-se da anterior por compreender CIM preliminarmente como sistema, ou seja, por colocar a modelagem da informação como um conjunto de partes que se relacionam, sendo a elaboração do modelo tridimensional uma parte integrante. Logo, a ideia de modelo passa a ‘estar contida’ no conceito de CIM, ao invés de ‘conter’, e isto é relevante por aumentar seu espectro para toda a rede de informações que há dentro da cidade. Como conceito, aproxima-se de uma visão genérica necessária, embora sua redação não

⁴¹ Livre tradução nossa: “*The urban information model should integrate the multi-dimensional urban aspects like economy, society and environment with 3D urban model plus temporal dimension. ND urban information model will provide a comprehensive information support to various urban planning application systems.*”

⁴² Livre tradução nossa: “*One of the major difficulties in CIM is the information modeling, which need both the outdoor information and the indoor information.*”

⁴³ Livre tradução nossa: “*CIM should be a highly efficient, multi-functional, integrated management system, its data is more complete, the model is more accurate and efficient, its focus is to achieve information sharing and multi-service and multi-field collaboration, and achieve digital city full range of horizontal and vertical management, improve the overall efficiency of urban management.*”

seja tão objetiva (utiliza-se do tempo verbal futuro do pretérito, evocando alguma incerteza, além de adjetivações um tanto hiperbólicas).

Nuno Montenegro, José Duarte, José Beirão e Jorge Gil, em razão do grande volume de produção sobre o tema, contribuíram para uma forte propagação do termo CIM no meio científico, ainda que o direcionamento geral adotado estivesse especificamente relacionado ao desenvolvimento de um conjunto de ferramentas de planejamento e desenho urbano (o projeto *City Induction*). Ao buscarem definir um conceito mais preciso, tomaram de empréstimo alguns princípios de BIM, nomeadamente “todos os aspectos do projeto, desde a informação geográfica até a geometria da construção, as relações entre seus componentes e, finalmente, as quantidades e propriedades destes componentes construtivos” (DUARTE; MONTENEGRO, 2009, p. 259). A partir destes aspectos, definiram CIM como “o processo de criação de um modelo de conhecimento e especificações padronizadas por computador sobre o ambiente urbano e o processo de seu desenvolvimento”⁴⁴ (BEIRÃO et al., 2011, p. 80).

Esta conceituação consegue ser sucinta e ainda assim bastante abrangente, inclusive englobando indiretamente quaisquer outros aspectos que se associem à ideia de ‘desenvolvimento do ambiente urbano’, embora a prática dos autores tenha sido marcada pela criação de ferramentas. O uso do termo ‘modelo de conhecimento’ alinha-se com os fundamentos da modelagem da informação e sugere necessariamente a concepção de uma ontologia, a qual, de fato, os autores desenvolveram e que foi demonstrada no Capítulo 2.

Complementarmente, estes autores listaram os seguintes recursos que uma plataforma de CIM deve dispor:

- Incorporar uma ontologia urbana;
- Responder aos regulamentos e estratégias de planejamento definidos para o local;
- Considerar o contexto, mantendo a informação do local e da população;
- Dar suporte à formulação de programas de intervenção urbana;
- Fornecer uma seleção de padrões de desenho urbano;
- Incluir um modelo de desenho generativo;
- Realizar a análise de indicadores de sustentabilidade;
- Permitir a interação entre dados e desenho;
- Fornecer uma visualização interativa dos dados;

⁴⁴ Livre tradução nossa: “*A City Information Modelling [sic] consists in the process of creating a computer readable model of knowledge and standard specifications regarding the urban environment and the process of its development.*”

- Realizar a avaliação e classificação de diferentes soluções de projeto.⁴⁵ (DUARTE et al., 2010, p. 317)

Beirão, ao discorrer sobre o assunto em revisão ao conceito apregoado em 2011, descreve CIM como

[...] uma plataforma para projeto, análise e monitorização de cidades. Congrega informação georreferenciada com ferramentas de análise e projeto especializadas. As ferramentas de projeto são generativas para permitir a geração de cenários de transformação. As ferramentas de análise associadas às ferramentas de projeto permitem analisar (calcular) indicadores de apoio à decisão avaliando objetivamente as qualidades das soluções geradas (as qualidades de cada cenário hipotético gerado pelas ferramentas algorítmicas) (2017, parênteses do autor).

Este conjunto de conceituações dá maior amplitude à compreensão de CIM, mas é delimitado pelo foco no projeto urbano (*urban design*) e em como este pode ser medido por ferramentas de planeamento urbano.

Uma recente incursão conceitual sobre CIM foi elaborada por Thompson et al., os quais compilaram alguns conceitos prévios adotados por outros pesquisadores e resumiram CIM como sendo

[...] uma abordagem transversal e holística para a geração de modelos de dados espaciais nos quais a integração, a aplicação e a visualização dos dados da cidade são utilizadas para gerir e mediar a demanda por terras, propriedades e recursos ambientais; tem como objetivo equilibrar as necessidades das várias partes interessadas, com a finalidade de proporcionar cidades sustentáveis e habitáveis onde os cidadãos desempenham um papel importante em sua governança⁴⁶ (THOMPSON et al., 2016, p. 80).

Retoma-se aqui o foco no modelo, cujo propósito é direcionado ao atendimento dos requisitos estabelecidos na pesquisa sobre especulação imobiliária conduzida pelos autores. O objetivo geral, entretanto, é amplo e condizente com o que se defende como resultados de uma SC bem-sucedida, inclusive por elucidar a questão da participação cidadã na governança das SCs.

⁴⁵ Livre tradução nossa: “*Incorporate an urban ontology; respond to the planning regulations and strategies defined for the site; consider the context, holding information of both site and population; support the formulation of programs for urban intervention; provide a selection urban design patterns; include a generative design model; perform the analysis of sustainability indicators; allow the interaction between data and design; provide an interactive visualisation of data; perform the evaluation and rating of different designs.*”

⁴⁶ Livre tradução nossa: “[*CIM is*] a cross disciplinary, holistic approach to the generation of spatial data models in which the integration, application and visualisation of city data is used to manage and mediate the demand for land, property and environmental resources; the aim being to balance multiple stakeholders’ needs in order to achieve sustainable and liveable cities whereby citizens play a major role in city governance.”

Como conceito, entretanto, carece de uma abordagem instrumental mais ampla, não sendo amplamente generalizável.

Na busca por um conceito abrangente o suficiente para incorporar as várias iniciativas de CIM, e que se fundamente na ideia de ‘modelagem da informação’, retoma-se aqui a ampla pesquisa de Succar sobre a estruturação do conhecimento de BIM e seu uso para medir e melhorar seu desempenho. Ele, junto a outros autores, resumem BIM como sendo “um conjunto de tecnologias, processos e políticas que permitem que múltiplas partes interessadas colaborem no projeto, na construção e na operação de uma determinada instalação”⁴⁷ (SUCCAR et al., 2007, p. iii). Nesta definição, dá-se ênfase à colaboração entre distintas partes, as quais participam em etapas tecnológicas, processuais e políticas, isoladamente ou sobrepostas, com o propósito de atender às várias fases do ciclo de vida de um edifício.

Após avaliar os conceitos apresentados e identificar convergências, constrói-se aqui uma conceituação na qual **a Modelagem da Informação da Cidade consiste no desenvolvimento de um modelo de conhecimento compartilhável e baseado em computação, envolvendo processos, políticas e tecnologias, com o propósito de gerar soluções sustentáveis, participativas e competitivas para as cidades.**

Entende-se ‘**modelo de conhecimento**’ como um conjunto articulado de classificações, taxonomias, ontologias, modelos, estruturas e teorias (SUCCAR, 2013), orientado à noção de modelagem da informação; entende-se ‘**compartilhável**’ como aquilo que se propõe a ser difundido e de conhecimento consensual (BORST, 1997); entende-se ‘**baseado em computação**’ como aquilo cujos dados são predominantemente coletados, armazenados e processados em formato digital por meio de processos computacionais, e cuja informação é entregue/devolvida em meio digital por meio de mecanismos computadorizados; entendem-se ‘**tecnologias**’ como o campo de aplicação do conhecimento científico com propósitos práticos (OXFORD, 2007 apud SUCCAR, 2009, p. 359), e que envolve agentes especializados no desenvolvimento de softwares, hardwares, *middleware*, equipamentos e sistemas de rede necessários para promover o aumento da eficiência, produtividade e aproveitamento de um determinado setor produtivo; entendem-se ‘**processos**’ como ordenamentos específicos de atividades de trabalho distribuídas no tempo e espaço, com início e fim, entradas e saídas (*inputs* e *outputs*) claramente identificados (DAVENPORT, 1992 apud SUCCAR, 2009), e que incorporam aqueles agentes

⁴⁷ Livre tradução nossa: “*Building Information Modelling (BIM) is a set of technologies, processes and policies enabling multiple stakeholders to collaboratively design, construct and operate a facility.*”

envolvidos em licitações, projetos, planos, construção, uso, gestão e manutenção de construções e equipamentos urbanos; entendem-se '**políticas**' como princípios ou regras escritas que guiam as tomadas de decisão (CLEMSON, 2007 apud SUCCAR, 2009, p. 5), e que envolvem os agentes de formação, pesquisadores, além daqueles que distribuem benefícios, alocam riscos e minimizam conflitos na produção de soluções para o espaço urbano, não gerando nenhum produto construído, mas exercendo um papel central de preparação, regulação e contratação nos processos de projeto, planejamento e gestão urbanas e construção; como '**solução sustentável**' entende-se aquela na qual segue-se uma agenda de otimização do consumo de recursos, tanto em sua elaboração como nos resultados de sua implantação, de modo a não comprometer seu uso ao longo do tempo (BRUNDTLAND, 1987); como '**solução participativa**' entende-se aquela destinada ao fortalecimento de canais de comunicação direta, transparência e abertura de dados, interoperabilidade colaborativa, permitindo alto grau de interação dos cidadãos e sociedade em geral com a governança local, transversalmente e em distintos arranjos (ULRICH et al., 2016); entende-se '**solução competitiva**' como aquela que conduz a cidade a atingir um determinado conjunto de indicadores favoráveis ao aumento de seu potencial atrativo de investimentos e geração de negócios (CHOE; ROBERTS, 2011; BOUSKELA et al., 2016).

É necessário destacar que a tônica deste conceito proposto sobre CIM reside no termo 'compartilhável'. Na prática, o compartilhamento está intrinsecamente relacionado a políticas de integração, processos colaborativos e tecnologias interoperacionais, e para que estes sejam realizados com alta eficiência é imprescindível haver concordância entre as bases de informação adotadas, daí, inclusive, se defender uma adoção integrada das próprias categorias de CIM entre si. Retoma-se aqui, portanto, a relevância da abordagem ontológica e sua fundamentação focada no reuso e compartilhamento de bases, no estabelecimento de uma modelagem da informação da cidade consistente, expansível e facilmente atualizável. No próximo capítulo serão demonstradas as relações entre os elementos apresentados no conceito proposto dentro de um pensamento ontológico preliminar.

* * *

5 INTEGRANDO CIM

As três categorias de CIM apresentadas no Capítulo 3 representam três pilares, complementares entre si, que fundamentam a modelagem da informação da cidade como métodos de abordagem. Os diversos arranjos entre estas abordagens resultam em distintas modelagens de informação, as quais podem ser entendidas como sistemas sintéticos da cidade, contenedores de interfaces específicas de interação com usuários, dispositivos e bancos de dados e meios de representação, atuando como plataformas setoriais (ou gerais, caso conjuguem todas as abordagens simultaneamente) de informação.

Não obstante ser desejada esta integração interna entre as categorias de CIM, considera-se necessário haver ao menos uma sinalização de integração entre o conceito e as categorias de CIM com as premissas mais destacadas no discurso das SCs. Considerando que estas não partilham de um conceito próprio bem definido, Albino et al., (2015), ao realizarem um levantamento de abordagens sobre SCs em uma aprofundada revisão literária, identificaram 23 definições como as mais referenciadas entre os anos de 2008 e 2015⁴⁸. Destas, por exemplo, Bakici et al. (2012, apud ALBINO et al., 2015) consideram que SC é “uma cidade de alta tecnologia, intensa e avançada, que conecta pessoas, informações e elementos urbanos usando novas tecnologias para criar uma cidade sustentável, mais ecológica, com comércio competitivo e inovador e uma maior qualidade de vida”⁴⁹ (p. 6). Outra definição levantada é a de Caragliu et al. (2011, apud ALBINO et al., 2015), na qual argumentam que “uma cidade é inteligente quando os investimentos em capital humano e social e as infraestruturas de comunicação tradicionais (de transporte) e modernas (TIC) alimentam o crescimento econômico sustentável e uma elevada qualidade de vida, com uma gestão sábia dos recursos naturais, através da governança participativa”⁵⁰ (p. 6). A partir da análise destas e das demais definições, Albino et al. puderam resumir que entre as características mais recorrentes das SCs constam:

- a) as infraestruturas urbanas em rede que permitam a eficiência política e o desenvolvimento social e cultural;

⁴⁸ Vale destacar que nesta revisão literária também foram referenciadas as definições dadas por Hall em 2000 e a de Giffinger et al. em 2007.

⁴⁹ Livre tradução nossa: “*Smart city as a high-tech intensive and advanced city that connects people, information and city elements using new technologies in order to create a sustainable, greener city, competitive and innovative commerce, and an increased life quality.*”

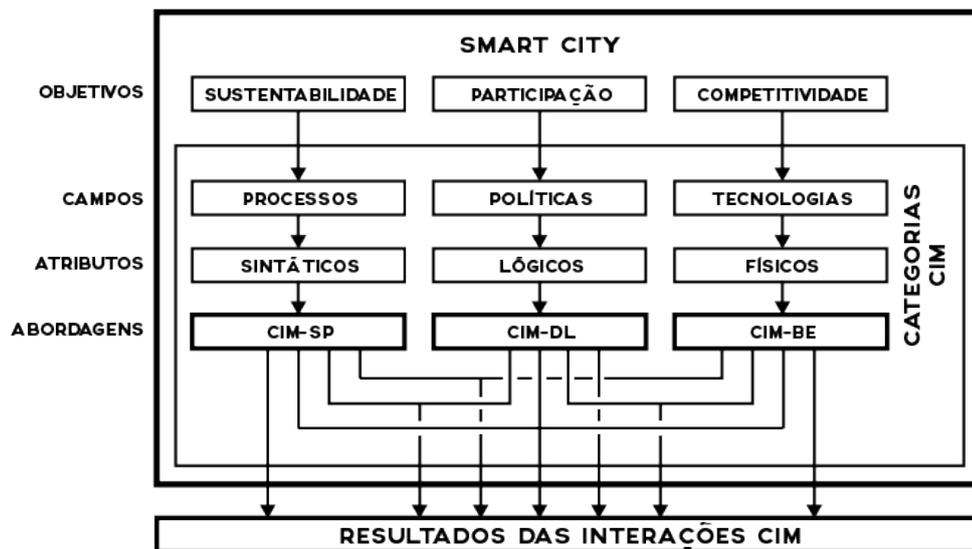
⁵⁰ Livre tradução nossa: “*A city is smart when investments in human and social capital and traditional (transport) and modern (ICT) communication infrastructure fuel sustainable economic growth and a high quality of life, with a wise management of natural resources, through participatory governance.*”

- b) a ênfase no desenvolvimento urbano liderado por empresas e atividades criativas para a promoção do crescimento urbano;
- c) a inclusão social de vários moradores urbanos e de capital social no desenvolvimento urbano;
- d) o ambiente natural como componente estratégico para o futuro⁵¹ (2015, p. 13).

Destas características, pode-se associar o binômio formado por a) e b) ao que Roberts e Choe (2011) atribuem às condições básicas de competitividade nas cidades (caracterizado pela criação e implantação de sistemas e infraestruturas tecnológicas inovadoras e compartilhadas em rede), enquanto em c) são levantadas as noções de participação nas cidades contemporâneas, um tema latente nas abordagens atuais de SCs e que toca em questões-chave como pertencimento e resiliência urbana (ULRICH et al., 2016) e em d) os aspectos ambientais como viés de um perfil urbano sustentável (HOLLANDS, 2008).

Tomando-se, então, o conceito de CIM apresentado no capítulo anterior, esboça-se aqui uma relação linear, mas não necessariamente exclusiva e definitiva, de vínculo entre os objetivos mais destacados das SCs (sustentabilidade, participação e competitividade) com campos (processos, políticas e tecnologias), atributos urbanos (sintáticos, lógicos e físicos) e abordagens de CIM (CIM-SP, CIM-DL e CIM-BE) (ver Figura 27), os quais são em seguida analisados em maior profundidade.

Figura 27 – Esquema de integração entre abordagens CIM



Fonte: Elaborado pelo autor.

⁵¹ Livre tradução nossa: “A city’s networked infrastructure that enables political efficiency and social and cultural development; an emphasis on business-led urban development and creative activities for the promotion of urban growth; social inclusion of various urban residents and social capital in urban development; the natural environment as a strategic component for the future.”

5.1 CIM-SP como vetor de um ideal de sustentabilidade urbana

O termo ‘sustentável’ tem sido empregado nas últimas décadas com uma conotação que excede a definição padrão dos dicionários daquilo que tem condições de se manter, e assumindo a dimensão daquilo que não apenas se mantém, mas que deve fazê-lo sem comprometer as necessidades das gerações futuras (BRUNDTLAND, 1987). Em razão desta definição ter sido amplamente difundida a partir da conferência ECO 92, sua acepção em geral tem sido fortemente vinculada à ideia de preservação dos recursos advindos do meio-ambiente natural [o que pode ser observado na classificação apresentada por Albino et al. identificando, entre as várias definições de SC, a relevância “do ambiente natural como componente estratégico para o futuro” (2015, p. 13)]. Na prática, a aplicação desta noção de sustentabilidade nas cidades vai além disto, de modo que não é possível dissociar o ato de preservação do ambiente das práticas sociais, culturais e econômicas humanas como um todo⁵². Assim, torna-se plausível argumentar que a sustentabilidade urbana depende não apenas do comportamento ecologicamente correto dos cidadãos, mas como as cidades em si são construídas e seu crescimento físico controlado (regulamentado) no território.

Outro ponto que merece destaque é que a ideia de sustentabilidade associada às SCs não é necessariamente a mesma pretendida para CIM. No caso das SCs, as múltiplas facetas relacionadas à ideia de sustentabilidade são suscetíveis ao espectro de negócios que envolve as próprias SCs, de modo que os ‘resultados sustentáveis’ podem tanto ser eficazes como ser meros elementos de um discurso político (HOLLANDS, 2008). A noção de sustentabilidade tomada aqui em CIM relaciona-se ao modo como os processos de transformação do território urbano são concebidos, realizados e mantidos, de como estes podem vir a ser otimizados a ponto de perseverar ao longo do tempo à medida que gradativamente mitigam seus impactos. Nesta visão, os impactos não se restringem apenas ao risco que o ambiente construído oferece ao natural e seus recursos, mas incorporam variados graus de conforto e eficiência energética (melhor aproveitamento de insolação e ventilação), e integridade humana (maiores graus de visibilidade nos espaços públicos, por exemplo).

A sustentabilidade na modelagem da informação da cidade revela-se, portanto, pela sintaxe entre seus elementos constituintes (por exemplo, a largura de vias, calçadas, áreas de solo natural permeável, gabaritos de edifícios, extensão de quadras, proporções das esquinas, parâmetros

⁵² Cabe destacar que a definição dada por Brundtland de modo algum rejeita estas facetas, posto que estão subentendidas. Por outro lado, por não estarem explicitadas, há uma abertura para uma interpretação mais superficial do termo por alguns grupos.

ideais de visibilidade, acessibilidade, conforto ambiental etc.), de modo que a modelagem de informação por parâmetros da forma (CIM-SP) se mostra como aquela com perfil ontológico adequado à operação de atributos estáticos (informações legais e normativas) e dinâmicos (IoT, *polls* de usuários) com repercussão direta no resultado do planejamento do território como projeção física em escala macro e na criação de múltiplos cenários.

5.2 CIM-DL como vetor de práticas participativas nas cidades

Durante os últimos cinquenta anos a noção de participação cidadã tem se tornado cada vez mais vinculada a processos de inovação na gestão das políticas públicas, e como meio de aperfeiçoamento na prestação de serviços públicos, em um contexto cada vez mais complexo e exigente (DÍAZ ALDRET, 2017). Em um sistema urbano, a ideia de participação está diretamente ligada às políticas públicas e privadas que estabelecem e garantem vínculos entre cidadãos/indivíduos/usuários e instituições/entidades. Como Díaz Aldret coloca,

a proliferação de políticas e práticas participativas dá-se em um contexto no qual os governos enfrentam grandes limitações para resolver por si sós problemas sociais mais complexos, com recursos sempre limitados e em um entorno de rápidas mudanças tecnológicas e de crescentes interdependências organizacionais que demandam soluções colaborativas ⁵³ (2017, p. 350).

A aplicação do conceito de participação nas SCs é recorrente (ALBINO et al., 2015). Considerando que, em seu discurso geral, as SCs não apenas oferecem soluções inovadoras para a infraestrutura urbana, mas também oferecem novas possibilidades de como governamos e tomamos decisões nas cidades, Ulrich et al. argumentam que, “ao mesmo tempo, as mudanças na sociedade e na cultura política exigem formas mais abertas de governança que hoje são possíveis através do uso das TIC” (2016, p. 1).

Nesse aspecto, a modelagem da informação (que lida tanto com os dados advindos como com as fontes participativas) alinha-se com o que defende Díaz Aldret, quando diz que

não se trata unicamente de decidir incorporar a participação cidadã para dotar as tomadas de decisão de políticas públicas de melhores informações, mas perceber que a própria seleção de instrumentos e mecanismos para incorporá-la também deve seguir um modelo racional de tomada de decisões. [...] Recordemos que em políticas públicas é preciso analisar a aplicabilidade dos instrumentos o grau em

⁵³ Livre tradução nossa: “*La proliferación de políticas y prácticas participativas se da en un contexto en el que los gobiernos enfrentan grandes limitaciones para resolver por sí solos problemas sociales cada vez más complejos, con recursos siempre limitados y en un entorno de rápido cambio tecnológico y de crecientes interdependencias organizacionales que demandan soluciones colaborativas.*”

que suas características são suficientemente idôneas para produzir os resultados esperados⁵⁴ (2017, p. 358).

Logo, entende-se que qualquer faceta da gestão do território urbano contemporâneo é idealmente indissociável dos mecanismos da participação cidadã (sejam tais facetas focadas na sustentabilidade ou da competitividade). Entretanto, há, sim, meios específicos de se potencializar a construção lógica de sistemas de comunicação e interação para acesso a informação (por exemplo, interfaces digitais e digitalizáveis de participação cidadã, plataformas em geral de suporte às leis de acesso a informação, sistemas digitais de cadastramento de usuários, fóruns e redes sociais baseadas em metadados etc.) por meio de uma modelagem da informação aperfeiçoada para operar com camadas de dados (como a CIM-DL).

5.3 CIM-BE como vetor de implantação de marcos de competitividade nas cidades

A noção de competitividade urbana ao longo das últimas décadas tem aumentado sua ênfase na ideia de agregação de valor (performance e qualidade) em seus sistemas, sejam estes produtos ou serviços (CHOE; ROBERTS, 2011). Logo, o espectro de agentes envolvidos neste processo deixa de ser interurbano (quando a competitividade é medida por resultados econômicos comparativos entre cidades) e também passa a ser intraurbano (quando a competitividade é medida em função do desempenho entre serviços e condições de produtividades realizados dentro de uma mesma cidade)(HARRISON; DONNELLY, 2011). No âmbito das SCs, tecnologias como ambientes multissensoriais imersivos, aplicações de realidade aumentada baseadas em localização, entre outras afins, proporcionam as bases para novos serviços eletrônicos dentro de ecossistemas urbanos de inovação (SCHAFFERS et al., 2011).

No caso de uma modelagem da informação da cidade voltada ao conceito de competitividade, pode-se considerar que todas as categorias propostas possuem capacidade de gerar respostas positivas. Entretanto, a modelagem de informação por elementos construídos (CIM-BE) está relacionada diretamente ao recurso da representação tridimensional do espaço urbano e seus componentes, proporcionando a incorporação de um diversificado conteúdo semântico a objetos físicos virtual e tridimensionalmente geolocalizados no território com precisão. Uma de suas aplicações mais relevantes e em crescente adesão é como ferramenta de imersão no

⁵⁴ Livre tradução nossa: *“No se trata únicamente de decidir que se requiere incorporar la participación ciudadana para dotar de mejor información la toma de decisiones de política pública, sino que la propia selección de instrumentos y mecanismos para incorporarla debe seguir el modelo racional de toma de decisiones. [...] Recordemos que en política pública es preciso analizar la aplicabilidad de los instrumentos y el grado en el que sus características son las idóneas para producir los resultados esperados.*

território por meio da realidade aumentada, o que tem ocasionado em variadas soluções inovadoras voltadas ao turismo, comércio, educação, governança, suporte às infraestruturas públicas, mobilidade, entre outras (DANIEL; DORAN, 2013; MEHTA, 2017).

5.4 Arranjos entre categorias de CIM como ontologias integradas

As linhas relacionais representadas na Figura 27, na prática, dificilmente acontecem de forma pura e isolada, de modo que interações acontecem naturalmente de formas mais ou menos explícitas, sendo, inclusive, desejável que interajam intensamente entre si (WANG; HAMILTON, 2005), com o intuito de constituírem uma integração plena entre todas as abordagens de CIM. Por outro lado, é possível que soluções desenvolvidas integralmente dentro de uma abordagem específica também representem uma contribuição positiva e consistente para atender demandas da cidade.

Em retrospecto aos casos apresentados no Capítulo 2 é possível identificar diversos sinais intrínsecos de integração entre as categorias de CIM⁵⁵ dentro de focos específicos. Por exemplo, se tomarmos como referência a construção de um protótipo virtual de um fragmento de território urbano em linguagem CityGML, há uma grande probabilidade se serem empregados dados bidimensionais de referência advindos de um banco de dados de GIS, posto que a maior parte da informação digital e georreferenciada dos territórios urbanos é tradicionalmente manipulada neste formato. Assim, se há um vínculo dinâmico (por exemplo, se a identificação de um lote dentro do modelo CityGML está ativamente vinculado a um *ObjectID*⁵⁶ em uma tabela GIS referente a uma camada de lotes), qualquer modificação que venha a acontecer a uma entidade em uma plataforma haverá de ser atualizada imediatamente em uma outra. Logo, sob a ótica e grandeza da modelagem da informação da cidade, uma ontologia complexa voltada a elementos construídos terá grandes probabilidades de conter alguns conceitos, instâncias e relações compartilhados (ou partilháveis) com ontologias orientadas a parâmetros da forma e a camadas de informação (posto que estas operam predominantemente relacionadas a bancos de dados em GIS).

É neste sentido que é reiterada nesta dissertação a relevância das ontologias como recursos ferramentais relevantes para a gestão, o planejamento e o desenho urbanos, dentro de um paradigma cada vez mais dependente das TICs, particularmente pela sua capacidade de reuso e

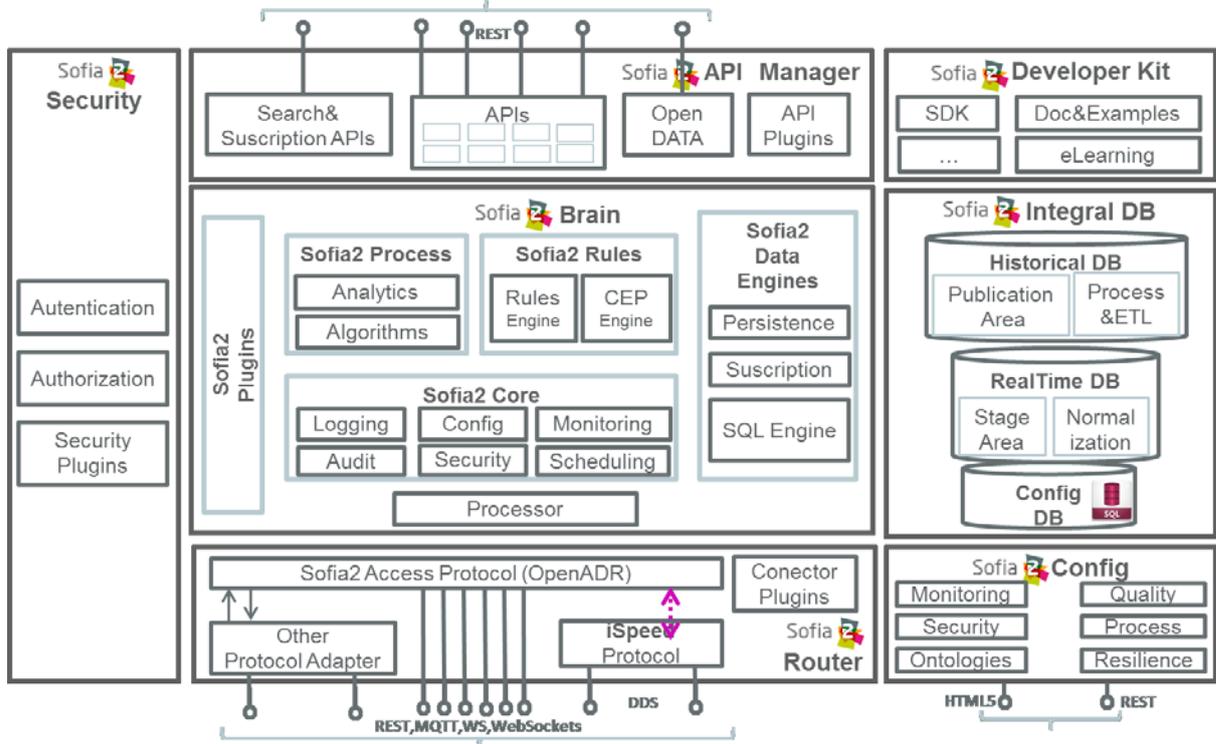
⁵⁵ Primeira e obviamente em razão de todos estes casos terem sido conduzidos de modo inteiramente alheio ao conceito e categorizações apresentados nesta dissertação.

⁵⁶ Um atributo numérico inteiro, único, não nulo, usado para identificar exclusivamente linhas em tabelas de um banco de dados geotecnológico.

compartilhamento de conhecimento e a integração de dados e interoperabilidade que oferecem a um sistema. Viabilizam, assim, a construção de uma cultura comum de compartilhamento e reuso de dados entre especialistas, partes interessadas e tomadores de decisão, e permitem articular a operação entre distintos domínios urbanos (cadastró, população, planejamento, meio ambiente etc.), escalas (bairro, cidade, estado, país), propósitos e qualidades de dados (2D/3D, graus de precisão, adequação topológica etc.) (TELLER, 2007). Entre alguns exemplos de soluções integradas para cidades baseadas em TICs para SCs e cujo papel das ontologias fez-se crucial para a manutenção, adaptabilidade e atualização de seus sistemas, podem-se destacar o SOFIA2, o SCRIBE e o SCO, as quais são brevemente apresentadas a seguir.

O SOFIA2, cujo nome é uma abreviação de *Smart Objects For Intelligent Applications* (Objetos Inteligentes Para Aplicações Inteligentes), consiste em um *middleware* e repositório de código-aberto, multi-plataforma, multi-linguagem e agnóstico das comunicações (operando entre vários protocolos, como TCP, HTTP, Ajax, MQTT etc.), com a finalidade de promover a domótica das cidades e seu ecossistema (cidadãos, edifícios, veículos, instalações etc.), por meio da promoção da interoperabilidade entre múltiplos sistemas e dispositivos, operável por uma interface *web* (INDRA, 2014a). Ontologicamente, pode ser visto como uma plataforma de interoperabilidade semântica que permite a troca de informações entre o mundo real (por meio de IoT, por exemplo) e aplicativos, de modo a permitir a construção de novos modelos de serviços (LABS, 2016) (Figura 28). Foram desenvolvidos sete projetos-piloto em diversos contextos de produção, como cidades inteligentes, veículos elétricos, domótica, processamento de vídeo, eficiência energética, turismo etc. As pesquisas atuais em torno do SOFIA2 têm dado ênfase à gestão de evacuação de emergência (eVacuate), automação cooperativa de edifícios, infraestrutura pública e processos industriais (Arrowhead), gestão segura de redes de energia pela *web* (IoE – Internet of Energy) e interfaces homem-máquina para tecnologias embarcadas em rede (Smarcos) (INDRA, 2014b).

Figura 28 – Representação esquemática de funcionamento da plataforma SOFIA2



Fonte: INDRA, 2014b.

O SCRIBE (*Smart Cities Reference Information and Behavior Exchange*, ou Intercâmbio de Referência para Informações e Comportamentos sobre Cidades Inteligentes, em livre tradução) é uma ontologia não-normativa, validável, modular e extensível desenvolvida pela IBM Research na busca de um modelo semântico mais envolvido com os serviços dos vários sistemas que já atuam em uma municipalidade. Rosario Uceda-Sosa et al. (2011) argumentam que uma de suas principais premissas é o reconhecimento da especificidade do modo de organização de cada cidade, considerando o fato, por exemplo, de que as competências de um determinado órgão público de uma cidade podem vir a ser sensivelmente distintas das de um órgão similar em uma outra cidade. O que é modelado, portanto, é a organização abstrata da cidade (por exemplo, secretarias que possuem secretarias executivas, secretarias que possuem partes interessadas que gerenciam, monitoram ou tomam decisões etc.) e os serviços públicos como uma taxonomia de áreas de serviço. Quando uma cidade é instanciada, suas secretarias e competências utilizam os blocos já providenciados pelo SCRIBE (ver Figura 30).

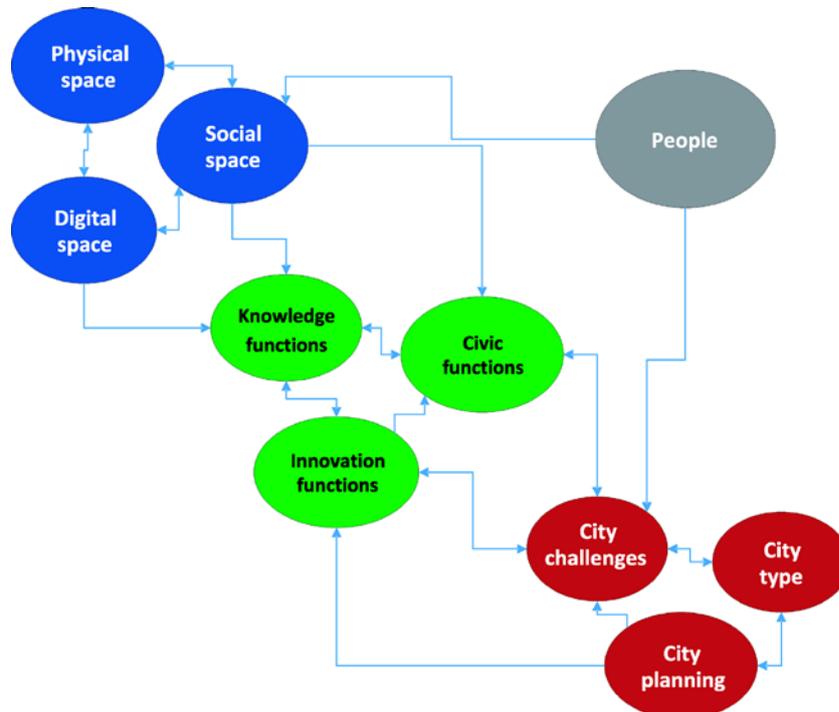
Figura 29 – Representação da estruturação ontológica do SCRIBE de um departamento municipal (tráfego, no caso) dentro de uma organização mais ampla de departamentos de serviços urbanos

[Resource]	rdf:type	rdfs:label
WPBuildingsDept	WPCityAgency	WhitePlains Public Buildings Dept
WPBusDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Bus Department
WPCommandCenter	WPCityAgency	WhitePlains Command Center
WPFireDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Fire Dept
WPPoliceDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Police Dept
WPPublicHousingDept	WPCityAgency	WhitePlains Public Housing Dept
WPPublicSafetyDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Public Safety Dept
WPTrafficDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Traffic Dept
WPUilitiesDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Utilities
WPWaterDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Water Dept
WPWaterDistributionDepartment	WPCityAgency	WhitePlains Water Distribution Department

Fonte: UCEDA-SOSA et al., 2011.

A SCO (*Smart City Ontology*) foi concebida por Komninos et al. (2015) após identificarem a relevância das ontologias das diversas aplicações urbanas na problemática da compatibilidade ou comunicação entre soluções de SCs. Como ponto de partida, valeram-se da análise de conteúdo do livro *The Age of Intelligent Cities*, de Komninos, da qual foi extraída e analisada uma nuvem de termos relacionados às várias definições de *smart city* e *intelligent city* compiladas naquela publicação. Foram identificados três ‘blocos’ de SCs, entre os quais: a) um referente à cidade, aos cidadãos e às atividades destes (o qual engloba os recursos urbanos, tais como comunidades, pessoas, atividades de serviços e manufatura e infraestruturas); b) um referente à inovação, à inteligência e ao conhecimento (o qual engloba processos e arranjos de coleta e gestão de informações, de inteligência, de comunicação e de redes); e c) um referente aos sistemas *smart* e tecnologias urbanas (o qual engloba redes de banda larga, telecomunicações, tecnologias sustentáveis, recursos e aplicações digitais e serviços eletrônicos) (KOMNINOS et al., 2015). A partir desta análise, foram definidas dez superclasses (ou domínios), das quais três referem-se às estruturas espaciais das cidades contemporâneas (*Physical space*, *Social space* e *Digital space*), três às funções urbanas (*Civic functions*, *Innovation functions* e *Knowledge functions*), três às modalidades urbanas (*City challenges*, *City types* e *City planning*) e uma referente às pessoas (*People*) (ver Figura 30).

Figura 30 – Superclasses ou domínios da ontologia SCO



Fonte: KOMNINOS et al., 2015.

Em suma, pode-se compreender o propósito da categorização de CIM como um meio de interpretação de modelagens da informação no sentido de se revelarem estruturas ontológicas com alguma maior clareza, inclusive para dar suporte ao planejamento de futuras iniciativas de CIM, além das preexistentes, sob uma lógica articulada; não como solução ideal, mas como esforço de integração, colaboração e interoperação máximas. Assim, e recorrendo ao conceito de CIM proposto, pode-se deduzir que o grau de sucesso de uma solução de CIM será diretamente proporcional ao grau de comprometimento real e compartilhado entre agentes processuais, políticos e tecnológicos que interferem na estrutura ontológica da modelagem de informação adotada.

* * *

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Objetivos alcançados

Neste trabalho discutiu-se CIM como uma vereda emergente da aplicação de TICs no âmbito de planejamento, gestão e desenho urbanos. Por meio de um MSL acerca do assunto foi possível levantar as mais relevantes iniciativas e perceber diversidade dos direcionamentos tomados. A realização de uma análise temática com viés ontológico permitiu chegar a uma categorização de três abordagens, o que representa um dos objetivos específicos desta pesquisa: uma mais voltada à manipulação de parâmetros da forma (CIM-SP), outra mais voltada à combinação de dados semânticos de múltiplas fontes (CIM-DL) e outra mais voltada à manipulação de objetos virtuais representantes do ambiente construído (CIM-BE).

Dentro destes vários encaminhamentos foi possível identificar diversas conceituações adotadas por seus pesquisadores, denotando-se, assim, uma percepção não convergente de CIM no ambiente da produção científica. Assim, relevou-se como objetivo principal desta pesquisa a construção de um conceito comum de CIM que pudesse não apenas conjugar todas as práticas vigentes afins mas abrir caminhos para novas iniciativas minimamente integradas por meio de uma mesma conceituação. A partir de uma observação ontológica destas aproximações foi possível identificar as características mais relevantes e propor um conceito integrador, no qual as categorias representam atuações pertinentes às demandas contemporâneas de TICs nas cidades e não excludentes entre si.

A pesquisa é encerrada por uma análise da possibilidade de integração entre as categorias de CIM alinhavadas às três mais recorrentes características levantadas sobre as SCs: participação, sustentabilidade e competitividade. Esta proposição, colocada como o segundo objetivo específico da pesquisa, deve-se à necessidade de se aferir a relevância da noção de CIM diante da produção de soluções de planejamento, gestão e desenho urbanos à luz das TICs e, conseqüentemente, aplicáveis às SCs. Este interesse toma as SCs apenas como referência de discurso tecnológico para cidades dentro de uma contemporaneidade, não as tendo como paradigma central ou objetivo maior (daí o enfoque desta pesquisa ser na teorização sobre CIM, e não sobre SCs).

6.2 Modificações na estrutura da pesquisa, limitações e dificuldades

Originalmente esta pesquisa propunha-se a investigar a relação entre BIM e CIM, baseando-se na noção de modelagem da informação aplicada aos edifícios como uma referência a ser expandida à escala da cidade. Fundava-se no fato de haver um representativo acúmulo de conhecimento em décadas de experimentações ao redor do mundo sobre BIM e por este ter sido gradativamente sintetizado em uma ontologia própria razoavelmente complexa, ainda que informal e semiestruturada (SUCCAR, 2009). Foi estabelecida com o propósito de descrever lógica e claramente as interações de interoperabilidade e colaboração desta modelagem de informação, tão caras ao sucesso de sua implementação, seja na prática profissional como na acadêmica. Este seria o ponto de partida para se justificar a construção de uma ontologia própria para CIM, cuja estruturação ontológica própria e conceituação não pareciam ser objetos de investigação dedicada até então.

A limitação desta abordagem estava no fato de que a ontologia proposta por Succar era destinada à apreensão de processos, políticas e tecnologias que envolvem o ciclo de vida das obras de construção, as quais giram, grosso modo, em torno de etapas bem definidas de concepção, licitação, projeto, construção, operação e demolição. As dinâmicas urbanas, neste sentido, são temporalmente mais independentes, incorrendo com frequência em desarticulações entre planejamento, gestão, projeto e obras. Mais que isso, à medida que o estudo sobre as estruturas ontológicas das iniciativas sobre CIM avançou, percebeu-se que a ontologia de BIM se caracterizava cada vez mais como uma parte de um todo ontológico urbano, o que tornaria a comparação direta entre BIM e CIM um tanto limitadora (inclusive potencialmente excludente em relação a determinadas iniciativas de CIM existentes).

Considerou-se, portanto, que se faria necessário uma apreensão mais ampla do fenômeno do CIM na produção científica atual, com o propósito de se identificarem características específicas e gerais que pudessem conduzir a uma categorização e posterior conceituação. O desenho ontológico, ainda que preliminar, seria elaborado, portanto, a partir da observação do fenômeno, e não por meio de uma comparação relativamente arbitrária com outro tipo de modelagem de informação. Esta consideração conduziu ao formato final desta dissertação.

No que se refere ao MSL, embora o recorte temporal específico estabelecido para as referências sobre CIM tenha sido entre 2005 e 2017, o espectro temporal de todas as referências consultadas nesta pesquisa (e não contempladas no MSL) remontam até o ano de 1962, de modo

que algumas referências a sites da internet, por exemplo, não estavam mais acessíveis. Em alguns casos descobriu-se que eram endereços com erro de digitação, os quais foram acessados normalmente após correção de sintaxe ou alguns caracteres por dedução nossa. Nos demais casos, recorreu-se como primeiro recurso ao site web.archive.org⁵⁷, no qual foi possível resgatar a imagem do conteúdo da maior parte das referências. O segundo recurso foi a localização dos autores por meio dos mecanismos de busca para identificação de endereço de e-mail para contato e, quando não foi possível, nas redes sociais ([facebook.com](https://www.facebook.com), [linkedin.com](https://www.linkedin.com), [academia.edu](https://www.academia.edu), [researchgate.net](https://www.researchgate.net), entre outros). Por meio desta rotina foi possível contatar diretamente os autores e esclarecer todas as dúvidas relevantes e conduzir a pesquisa sem lacunas significativas.

6.3 Pontos para discussão e trabalhos futuros

O contexto da escolha do tema desta pesquisa foi construído por uma conjunção de fatores, entre os quais o maior aprofundamento sobre BIM por parte do autor em sua prática profissional a partir de 2015, e o interesse em conjugar este conhecimento ao domínio prévio sobre GIS com o intuito de possibilitar novas práticas no campo do urbanismo e a organização do VII TIC 2015, cujo tema focara em BIM e CIM. Tal contexto somado à participação em outros eventos desde então (XIX SiGraDi, IV ENANPARQ, I SBTIC 2017), nos quais houve espaço para debates sobre CIM, bem como em eventos pontuais sobre SCs e afins, palestras proferidas pelo autor sobre a temática e conversas em sala de aula nas disciplinas do curso do mestrado revelaram, entretanto, uma problemática de âmbito mais amplo: a carência de urbanistas na discussão sobre TICs na prática do urbanismo contemporâneo. Isto não quer dizer que os urbanistas não se utilizem de tecnologias dentro da sua amplitude da prática profissional, mas o fazem uma forma predominantemente passiva, absorvendo soluções genéricas desenvolvidas por profissionais de outras culturas e contextos de produção do espaço urbano. Esta observação não se resume apenas ao campo da instrumentação, mas como políticas e processos intervenientes nas cidades, nos quais as TICs possuem papel cada vez mais relevante. Assim, não se trata apenas de uma postura acrítica e passiva diante das ferramentas do ofício, mas diante de um espectro sistêmico cada vez mais sofisticado de relações de tomada de decisão sobre o território urbano e seus cidadãos.

A importância aqui dada ao estudo sobre CIM e o reconhecimento de suas diversas aproximações vem no interesse de valorizar não apenas a aplicação, mas o desenvolvimento de TICs com o propósito de melhor tratar as problemáticas urbanas. E em razão da relevância da

⁵⁷ Uma biblioteca digital, sem fins lucrativos, que dispõe de impressões temporais dos mais diversos sites na internet, viabilizando o acesso a conteúdos que atualmente estão off-line.

informação nesta senda, a ideia de trazer o urbanista para o cerne do desenvolvimento e uso de ontologias aplicadas à cidade parece ser a forma mais consistente de trazê-lo à condição de protagonista na elaboração de soluções inovadoras, colocando-o à frente do processo criativo junto aos demais profissionais das ciências da computação, engenharias e afins.

A ênfase nas ontologias é pertinente porque nelas revela-se a compreensão dos diversos sistemas urbanos e como eles podem vir a se conjugar, e está nas práxis do urbanista a atuação diante os diversos arranjos entre os sistemas físicos, econômicos e sociais das cidades. Seu enquadramento, portanto, é o de articulador entre distintos níveis ontológicos dentro da realidade urbana, seja no âmbito do monitoramento das infraestruturas físicas, seja na percepção integrada de uma estrutura organizacional de gestão urbana. Um estudo detido na construção de ontologias aplicadas à cidade, embasado em experiências práticas, é um possível caminho a ser seguido como continuidade desta pesquisa, por meio do qual poderão ser exploradas os diversos arranjos entre as abordagens de CIM.

Em uma livre especulação a longo prazo sobre o futuro do papel do urbanista nas cidades, em um cenário fortemente regido por sistemas de inteligência artificial, vê-se-lhe basicamente em duas atuações de maior resiliência: uma na manutenção e revisão de ontologias (que são a estrutura básica dos sistemas de inteligência artificial) urbanas; e a outra na mediação de ações de fortalecimento de comunidades e vizinhanças, pela manutenção dos lugares e pela inclusão relevante da livre iniciativa cidadã nas decisões de impacto urbano.

Em um prazo mais curto, portanto, cabe aos urbanistas a imanência exploratória e proativa na construção colaborativa de soluções que conjuguem tecnologias, processos e políticas urbanas em prol de sistemas cada vez mais aperfeiçoados (e aperfeiçoáveis) dentro das cidades, de forma participativa, sustentável e competitiva.

* * *

REFERÊNCIAS

- ABNT. **Sistema de classificação da informação da construção**. Parte 1: Terminologia e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT. NBR 15965-1: 12 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/BToVri> >. Acesso em: 03/02/2015.
- ALBINO, V.; BERARDI, U.; DANGELICO, R. M. Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives. **Journal of Urban Technology**, v. 22, n. 1, p. 3-21, 2015/01/02 2015. ISSN 1063-0732. Disponível em: < <https://goo.gl/g9q6k3> >. Acesso em: 13/10/2016.
- ALMEIDA, F.; ANDRADE, M. L. V. X. D. **A integração entre BIM e GIS como ferramenta de gestão urbana**. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. Recife: ANTAC: 12 p. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/QBjn6r> >. Acesso em: 15/05/2016.
- _____. **CIM ou não? Considerações sobre City Information Modeling**. IV Encontro da Associação Nacional de Pesquisa e Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo (IV ENANPARQ). Porto Alegre: ANPARQ: 14 p. 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/h3CcmE> >. Acesso em: 15/05/2016.
- ALMEIDA, M. B.; BAX, M. P. Uma visão geral sobre ontologias: pesquisa sobre definições, tipos, aplicações, métodos de avaliação e de construção. **Ciência da Informação**, v. 32, p. 7-20, 2003. ISSN 0100-1965. Disponível em: < <https://goo.gl/q36hhL> >. Acesso em: 21/10/2016.
- AMORIM, A. L. D. Discutindo City Information Modeling (CIM) e conceitos correlatos. **Gestão & Tecnologia de Projetos**, v. 10, n. 2, p. 87-100, 25/03/2016 2015. ISSN 1981-1543. Disponível em: < <https://goo.gl/J13D8s> >. Acesso em: 25/03/2016.
- ANDRADE, M. L. V. X. D. **Projeto Performativo na Prática Arquitetônica Recente: Estrutura Conceitual**. 2012. 472 (PhD). Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP. Disponível em: < <https://goo.gl/FYhxgE> >. Acesso em: 12/09/2015.
- ANDRADE, M. L. V. X. D.; RUSCHEL, R. C. **O processo digital de geração da forma baseado no desempenho com suporte em BIM: o caso do Smithsonian Institution Courtyard Enclosure**. 2º Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído. ANTAC. Rio de Janeiro: IAU USP: 131-144 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/13jE6e> >. Acesso em: 2/2/2016.
- ARUP. **The Smart City Market: Opportunities for the UK**. The Department for Business Innovation & Skills. London, UK, p.140. 2013 Disponível em: < <https://goo.gl/DkqjRt> >. Acesso em: 10/09/2016.
- ASCHER, F. **Os novos princípios do urbanismo**. São Paulo: Romano Guerra, 2010. 104 ISBN 978-85-88585-25-6.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787-2805, 2010/10/28/ 2010. ISSN 1389-1286. Disponível em: < <https://goo.gl/Tmi1Z7> >. Acesso em: 09/05/2017.
- AUTODESK. Civil Infrastructure. 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/nyMGgD> >. Acesso em: 12/03/2017.
- BATTY, M.; AXHAUSEN, K. W.; GIANNOTTI, F.; POZDNOUKHOV, A.; BAZZANI, A.; WACHOWICZ, M.; OUZOUNIS, G.; PORTUGALI, Y. Smart cities of the future. **The European Physical Journal Special Topics**, v. 214, n. 1, p. 481-518, November 01 2012. ISSN 1951-6401. Disponível em: < <https://doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3> >.
- BEIRÃO, J. N. **Mensagem pessoal**. ALMEIDA, F.: Facebook Messenger 2017.

BEIRÃO, J. N.; MENDES, L. T.; CELANI, M. G. C. **O uso do CIM (City Information Modeling) para geração de implantação em conjuntos de habitação de interesse social: uma experiência de ensino** *Gestão e Tecnologia de Projetos*. São Paulo: IAU/USP. 10: 12 p. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/tsHQtc> >. Acesso em: 13/03/2016.

BEIRÃO, J. N.; MONTENEGRO, N.; DUARTE, J. P. **Public Space Patterns: Towards a CIM standard for urban public space**. *29th eCAADe Conference*. Ljubljana, Slovenia: eCAADe: 79-86 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/dY9ard> >. Acesso em: 22/03/2016.

BENNER, J.; GEIGER, A.; LEINEMANN, K. **Flexible generation of Semantic 3D building models**. *1st International Workshop on Next Generation 3D City Models*. KOLBE, T. H. e GRÖGER, G. Bonn, Germany: 17-22 p. 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/4sDGEU> >. Acesso em: 12/05/2016.

BENNER, J.; LEINEMANN, K.; LUDWIG, A. **Übertragung von Geometrie und Semantik aus IFC-Gebäudemodellen in 3D-Stadtmodelle**. *9th International Symposium on Info & Communication Technologies in Urban and Spatial Planning and Impacts of ICT on Physical Space*. SCHRENK, M. Vienna, Austria: Institute for Applied Computer Science (IAI) 2004. Disponível em: < <https://goo.gl/j2ak6h> >. Acesso em: 22/07/2016.

BERLO, L. V.; LAAT, R. D. Integration of BIM and GIS: The development of the CityGML GeoBIM extension. In: KOLBE, T. H.; KÖNIG, G., et al (Ed.). **Advances in 3D Geo-Information Sciences**. Springer Berlin Heidelberg, 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/Y4DM1T> >. Acesso em: 09/03/2015.

BERNSTEIN, P. Integrated Practice: It's Not Just About the Technology. **AIArchitect**, 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/u5ikyJ> >. Acesso em: 11/12/2015.

BILJECKI, F.; LEDOUX, H.; STOTER, J. **Generation of multi-LOD 3D city models in CityGML with the procedural modelling engine Random3Dcity**. *1st International Conference on Smart Data and Smart Cities. 30TH UDMS*. Split, Croatia: ISPRS 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/TLYmtW> >. Acesso em: 22/03/2017.

BORRMANN, A. **From GIS to BIM and back again: a spatial query language for 3D Building models and 3D City models**. *5th International 3D GeoInfo Conference*. Berlin, Germany: ISPRS. XXXVIII 2010. Disponível em: < <https://goo.gl/uGDVuJ> >. Acesso em: 20/04/2016.

BORST, W. N. **Construction of Engineering Ontologies for Knowledge Sharing and Reuse**. 1997. 243 (PhD). Centre for Telematics and Information Technology, Universiteit Twente, Enschede - The Netherlands. Disponível em: < <https://goo.gl/P64DKT> >. Acesso em: 02/10/2017.

BOUSKELA, M.; CASSEB, M.; BASSI, S.; LUCA, C. D.; FACCHINA, M. **Caminho para as Smart Cities: da gestão tradicional para a Cidade Inteligente**. BID, 2016. 148 Disponível em: < <https://goo.gl/wbUeX> >. Acesso em: 12/05/2017.

BOYATZIS, R. E. **Transforming Qualitative Information: Thematic Analysis and Code Development**. SAGE Publications, 1998. ISBN 9780761909613. Disponível em: < <https://goo.gl/xb1V4M> >. Acesso em: 17/12/2017.

BRUNDTLAND, G. H. **Our Common Future: Report of the World Commission on Environment and Development**. ONU. Oslo, Norway: Mar 1987, p.247. 1987 Disponível em: < <https://goo.gl/sFzWRa> >. Acesso em: 21/08/2016.

BRYDE, D.; BROQUETAS, M.; VOLM, J. M. The project benefits of Building Information Modelling (BIM). **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 7, p. 9, 2012. ISSN 0263-7863. Disponível em: < <https://goo.gl/oVZHxg> >. Acesso em: 15/04/2016.

BUILDINGSMART. Geospatial and built asset collaboration. 16/11/2016 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/BvBdHN> >. Acesso em: 12/05/2017.

_____. IFC5 Extension projects. 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/1uRjP7> >. Acesso em: 03/01/2017.

CARLILE, J. Flux Metro: What We Learned. 02/2017 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/c1fJeo> >. Acesso em: 13/03/2017.

CASTELLS, M. **A sociedade em rede**. 8ª edição revista e ampliada. São Paulo: Paz e Terra, 1999. 575.

CENTRE, T. B. Harnessing and Visualising Big Data for Urban Planning. London, UK, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/L4cBMT> >. Acesso em: 22/07/2016.

CHAPMAN, A. L.; HADFIELD, M.; CHAPMAN, C. J. Qualitative research in healthcare: an introduction to grounded theory using thematic analysis. **Journal of the Royal College of Physicians of Edinburgh**, v. 45, n. 3, p. 201-205, 2015. ISSN 1478-2715. Disponível em: < <https://goo.gl/VNy2Tb> >. Acesso em: 12/12/2017.

CHARLTON, J.; GIDDINGS, B.; THOMPSON, E. M.; PEVERETT, I. Understanding the interoperability of virtual city models in assessing the performance of city centre squares. **Environment and Planning A**, v. 47, n. 6, p. 1298-1312, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/VCWMGZ> >. Acesso em: 22/08/2017.

CHOE, K.; ROBERTS, B. **Competitive cities in the 21st century: cluster-based local economic development**. Mandaluyong City, Philippines: Asian Development Bank, 2011. 357 ISBN 978-92-9092-431-9. Disponível em: < <https://goo.gl/zxiQVJ> >. Acesso em: 20/10/2017.

CITYZENITH. From BIM to CIM: a next-generation City Information Modeling (CIM) tool. **CITYZENITH 5D SMART WORLD**, 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/SCxKYv> >. Acesso em: 22/06/2016.

CORREIA, F. R.; SANTOS, E. T. **Na direção de uma Modelagem da Informação da Cidade (CIM)**. VII Encontro de Tecnologia de Informação e Comunicação na Construção. Recife: ANTAC: 14 p. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/JHb9FS> >. Acesso em: 15/05/2016.

DANIEL, S.; DORAN, M.-A. geoSmartCity: geomatics contribution to the smart city. Proceedings of the 14th Annual International Conference on Digital Government Research, 2013, Quebec, Canada. ACM. p.65-71. Disponível em: < <https://goo.gl/Biubz5> >. Acesso em: 30/02/2016.

DÍAZ ALDRET, A. U. Participación ciudadana en la gestión y en las políticas públicas. **Gestión y política pública**, v. 26, p. 341-379, 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/3obCmQ> >. Acesso em: 02/01/2018.

DICK, B. Grounded theory: a thumbnail sketch. **Resource papers in action research**, Sydney, AU, 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/N86yb7> >. Acesso em: 04/12/2017.

DUARTE, J. P.; GIL, J.; ALMEIDA, J. **The backbone of a City Information Model (CIM): Implementing a spatial data model for urban design**. 29th eCAADe conference. Ljubljana: 141-151 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/ygYWEG> >. Acesso em: 14/04/2016.

DUARTE, J. P.; GIL, J.; BEIRÃO, J. N.; MONTENEGRO, N. **Assessing computational tools for urban design: Towards a "City Information Model"**. Future Cities, 28th eCAADe Conference. SCHMITT, G.;HOVESTADT, L., et al. Zurich: ETH Zurich: 316-324 p. 2010. Disponível em: < <https://goo.gl/NxwW1Y> >. Acesso em: 25/03/2016.

_____. City Induction: A Model for Formulating, Generating, and Evaluating Urban Designs. In: ARISONA, S. M.;ASCHWANDEN, G., et al (Ed.). **Digital Urban Modeling and Simulation**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012. p.73-98. ISBN 978-3-642-29758-8. Disponível em: < <https://goo.gl/dqcrmQ> >. Acesso em: 06/09/2016.

DUARTE, J. P.; MONTENEGRO, N. **Computational Ontology of Urban Design: Towards a City Information Model**. 27th Conference on Education in Computer Aided Architectural Design in Europe

(eCAADe). Istanbul, Turkey: eCAADe. 1: 8 p. 2009. Disponível em: < <https://goo.gl/vVE56G> >. Acesso em: 13/05/2016.

EASTMAN, C. M.; SACKS, R.; LEE, G. **Functional modeling in parametric CAD systems**. *Generative CAD Conference*. Carnegie Mellon, PA, USA 2004. Disponível em: < <https://goo.gl/r82MnH> >. Acesso em: 24/04/2016.

EASTMAN, C. M.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. 506 ISBN 978-0-470-18528-5.

EL-MEKAWY, M. **Integrating BIM and GIS for 3D city modeling: The case of IFC and CityGML**. 2010. 70 (Licentiate Thesis). Department of Urban Planning and Environment, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden. Disponível em: < <https://goo.gl/iH7QqX> >. Acesso em: 08/04/2016.

EL-MEKAWY, M.; ÖSTMAN, A. **Semantic Mapping: An Ontology Engineering Method for Integrating Building Models in IFC and CityGML**. *3rd ISDE DIGITAL EARTH SUMMIT*. Nessebar, Bulgaria: ISDE: 11 p. 2010. Disponível em: < <https://goo.gl/MnHrAV> >. Acesso em: 13/06/2016.

FLUX. A better way to visualize Austin's development code. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/sSZ4TP> >. Acesso em: 20/06/2016.

GALLAHER, M. P.; O'CONNOR, A. C.; JOHN L. DETTBARN, J.; GILDAY, L. T. **Cost Analysis of Inadequate Interoperability in the U.S. Capital Facilities Industry**. TECHNOLOGY, N. I. O. S. A. Gaithersburg, MD: NIST: 210 p. 2004. Disponível em: < <https://goo.gl/uo91eT> >. Acesso em: 13/05/2016.

GARZA-REYES, J. A. Lean and green – a systematic review of the state of the art literature. *Journal of Cleaner Production*, v. 102, p. 18-29, 2015/09/01/ 2015. ISSN 0959-6526. Disponível em: < <https://goo.gl/Dxk22b> >. Acesso em: 13/12/2017.

GERBER, D. **Pour un urbanisme paramétrique**. *Anomalie digital art*. Paris, France: HYX 2007. Disponível em: < <https://goo.gl/Ah4MfL> >. Acesso em: 13/05/2017.

GIL, J.; DUARTE, J. P. **Towards an Urban Design Evaluation Framework**. *26th eCAADe Conference*. Antwerpen, Belgium: eCAADe 2008. Disponível em: < <https://goo.gl/tZCr7L> >. Acesso em: 22/06/2016.

GLASER, B. G.; STRAUSS, A. L. **The discovery of grounded theory : strategies for qualitative research**. 1967. ISBN 9780202300283 0202300285 0202302601 9780202302607. Disponível em: < <https://goo.gl/fzRXnM> >.

GÓMEZ-PÉREZ, A.; FERNÁNDEZ, M.; VICENTE, A. J. D. **Towards a Method to Conceptualize Domain Ontologies**. *ECAI-96 Workshop on Ontological Engineering*. Budapest, Hungary: ECAI: 11 p. 1996. Disponível em: < <https://goo.gl/dS6Svt> >. Acesso em: 12/09/2016.

GUARINO, N. **Formal Ontology in Information Systems**. *FOIS'98*. Trento, Italia: 3-15 p. 1998. Disponível em: < <https://goo.gl/E6K91d> >. Acesso em: 13/09/2016.

GUEST, G.; MACQUEEN, K. M.; NAMEY, E. E. Introduction to applied thematic analysis. In: (Ed.). **Applied Thematic Analysis**: SAGE Publications, 2011. cap. 1, ISBN 9781412971676. Disponível em: < <https://goo.gl/oHzms8> >. Acesso em: 11/12/2017.

HAMILTON, A.; WANG, H.; TANYER, A. M.; ARAYICI, Y.; ZHANG, X.; SONG, Y. Urban information model for city planning. *ITcon*, v. 10, n. Special Issue: From 3D to nD modelling, p. 55-67, 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/Vr554F> >. Acesso em: 09/05/2017.

HARRISON, C.; DONNELLY, I. A. **A Theory of Smart Cities**. *55th Annual Meeting of the ISSS*. Hull, UK: ISSS: 15 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/unx91u> >. Acesso em: 09/05/2017.

HAWKES, R. A brief history of ViziCities. London, UK, 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/g7TKTB> >. Acesso em: 15/03/2016.

HERNÁNDEZ-MUÑOZ, J. M.; VERCHER, J. B.; MUÑOZ, L.; GALACHE, J. A.; PRESSER, M.; HERNÁNDEZ GÓMEZ, L. A.; PETERSSON, J. Smart Cities at the Forefront of the Future Internet. 2011, Berlin, Heidelberg. Springer Berlin Heidelberg. p.447-462. Disponível em: < <https://goo.gl/qhDiV8> >. Acesso em: 09/05/2017.

HOLLANDS, R. G. **Will the real smart city please stand up?** City: analysis of urban trends, culture, theory, policy, action. London, UK: Routledge. 12: 303-320 p. 2008. Disponível em: < <https://goo.gl/5kFAwh> >. Acesso em: 22/07/2017.

IETF. **The GeoJSON Format**. Standards Track: IETF. rfc7946: 28 p. 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/2DnsTm> >. Acesso em: 30/10/2016.

INDRA. **Conceitos SOFIA2**. Indra. La Coruña, ES, p.8. 2014a Disponível em: < <https://goo.gl/soXvtE> >. Acesso em: 20/05/2017.

_____. **SOFIA2 IoT platform: technical view**. Indra. Madrid, ES. 2014b Disponível em: < <https://goo.gl/zrqbvT> >. Acesso em: 20/05/2017.

INFORMAÇÕES, C. D. D. E. D. D. **Normas de apresentação tabular**. IBGE. Rio de Janeiro: IBGE: 60 p. 1993. Disponível em: < <https://goo.gl/cVNn8N> >. Acesso em: 06/10/2017.

SIKDAG, U. **BIM and IoT: A Synopsis from GIS Perspective**. Joint International Geoinformation Conference 2015. Kuala Lumpur, Malaysia: ISPRS. XL-2: 6 p. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/xkJTPf> >. Acesso em: 14/04/2016.

SIKDAG, U.; AOUAD, G.; UNDERWOOD, J.; TRODD, N. M. **Towards the Implementation of the Building Information Models in GIS**. 24th Urban Data Management Symposium. UDMS. Chioggia, Italy: UDMS: 12 p. 2004. Disponível em: < <https://goo.gl/Ra6jUU> >. Acesso em: 02/02/2016.

SIKDAG, U.; ZLATANOVA, S. Towards defining a framework for automatic generation of buildings in CityGML using Building Information Models. In: LEE, J. e ZLATANOVA, S. (Ed.). **3D Geo-Information Sciences**. 1: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009. cap. Part II, p.79-96. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography). Disponível em: < <https://goo.gl/hgyJa4> >. Acesso em: 06/06/2016.

ISO. **ISO16739 Industry Foundation Classes (IFC) for Data Sharing in the Construction and Facility Management Industries**. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization. 16739 2013.

JANSEN, M. 5D Cities and Open Data: An All-Inclusive Approach. San Francisco, 2013. Disponível em: < <https://goo.gl/UELA3E> >. Acesso em: 25/05/2016.

JONES, D.; BENCH-CAPON, T.; VISSER, P. **Methodologies for Ontology Development**. IT and KNOWS Conference of the 15th IFIP World Computer Congress. TRAUNMULLER, R. e CSUHÁJ-VARJÚ, E. B. Budapest, Hungary: IFIP: 14 p. 1998. Disponível em: < <https://goo.gl/b6HFjD> >. Acesso em: 10/03/2017.

KAMARDEEN, I. **8D BIM modelling tool for accident prevention through design**. 26th Annual Conference ARCOM. MANAGEMENT, A. O. R. I. C. Leeds, UK: Association of Researchers in Construction Management: 281-289 p. 2010. Disponível em: < <https://goo.gl/FWFH5o> >. Acesso em: 07/05/2016.

KHEMLANI, L. **Hurricanes and their aftermath: how can technology help?** AECbytes: AECbytes. Sep. 2005 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/vdcCUn> >.

_____. **City Information Modeling**. AECbytes: AECbytes. Sep. 2016 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/5FG4CC> >.

KILOV, H.; ROSS, J. **Information Modeling: An Object-Oriented Approach**. New Jersey, USA: Prentice Hall, 1994. 268 ISBN 013083033X. Disponível em: < <https://goo.gl/qiNy45> >.

KOLAREVIC, B. **Digital Morphogenesis and Computational Architectures. IV Congreso Iberoamericano de Gráfica Digital**. Rio de Janeiro - RJ: SIGraDI 2000. Disponível em: < <https://goo.gl/gmBKx7> >. Acesso em: 22/05/2017.

KOLBE, T. H. Representing and Exchanging 3D City Models with CityGML. In: LEE, J. e ZLATANOVA, S. (Ed.). **3D Geo-Information Sciences**. 1: Springer Berlin Heidelberg, 2009. cap. Part I, p.15-31. (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography).

_____. What is CityGML? , 2012. Disponível em: < <https://goo.gl/P2Wk7E> >. Acesso em: 06/01/2015.

KOLBE, T. H.; GRÖGER, G.; PLÜMER, L. **CityGML – Interoperable Access to 3D City Models**. International Symposium on Geo-information for Disaster Management. OOSTEROM, P. V.;ZLATANOVA, S., *et al.* Delft, Netherlands: Springer 2005. Disponível em: < <https://goo.gl/EacdUL> >. Acesso em: 9/5/2016.

KOMNINOS, N.; BRATSAS, C.; KAKDERI, C.; TSARCHOPOULOS, P. Smart City Ontologies: Improving the effectiveness of smart city applications. **Journal of Smart Cities**, v. 1, n. 1, p. 16, 8/9/2015 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/goyzd5> >. Acesso em: 29/03/2017.

KON, F.; SANTANA, E. F. Z. Cidades Inteligentes: Conceitos, plataformas e desafios. In: (Ed.). **Jornadas de Atualização em Informática (2016)**. Porto Alegre - RS: Sociedade Brasileira de Computação, 2016. p.48. Disponível em: < <https://goo.gl/hdoPK7> >. Acesso em: 22/09/2017.

LABS, C. SOFIA - Smart Objects For Intelligent Applications. 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/5t4h24> >. Acesso em: 20/05/2017.

LAISERIN, J. Comparing Pommés and Naranjas. **The Laiserin Letter**, 16 Dec 2002 2002. Disponível em: < <https://goo.gl/4Xc7wk> >. Acesso em: 12/03/2016.

LIMA, M. Q. C.; FREITAS, C. F. S. Modelagem paramétrica e os limites dos mecanismos tradicionais de regulação da forma urbana. **Políticas Públicas & Cidades**, v. 4, n. 1, p. 22, 07/2016 2016. ISSN 2359-1552. Disponível em: < <https://goo.gl/QaCKjQ> >. Acesso em: 13/06/2017.

MARKETS, M. A. Smart Cities Market by Solution and Services for Focus Areas (Transportation - Rail & Road, Utilities - Energy, Water, & Gas, Buildings - Commercial & Residential, and Smart Citizen Services - Education, Healthcare, & Security) - Global Forecast to 2020. Pune, India, 2016. Disponível em: < <https://goo.gl/btSJaz> >. Acesso em: 15/01/2017.

MEHTA, R. Augmented Reality – Next Frontier for Competitive Advantage. **Intelligent Enterprise 2.0**, 14/02/2017 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/R5XZsf> >. Acesso em: 04/10/2017.

MIGNARD, C.; NICOLLE, C. **Urban Information Modeling: combining BIM and GIS**. Encyclopedia of Information Science and Technology. KHOSROW-POUR, M. Hershey, USA: IGI Global. 4: 3178-3185 p. 2014. Disponível em: < <https://goo.gl/vuyqay> >. Acesso em: 09/05/2017.

MITCHELL, W. J. **City of Bits**. London - UK: The MIT Press, 1996. 232 ISBN 978-0-262-13309-8.

MORAIS, E. A. M.; AMBRÓSIO, A. P. L. **Ontologias: conceitos, usos, tipos, metodologias, ferramentas e linguagens**. Universidade Federal de Goiás. Goiânia - GO, p.22. 2007 Disponível em: < <https://goo.gl/qzrqLs> >. Acesso em: 13/05/2017.

MYLOPOULOS, J. Information Modeling in the Time of the Revolution. **Information Systems**, v. 23, n. 3-4, p. 34, 1998. Disponível em: < <https://goo.gl/e81o6v> >. Acesso em: 12/07/2016.

OGC. **OGC City Geography Markup Language (CityGML) En-coding Standard**: OGC. OpenGIS® Encoding Standard 2.0.0: 344 p. 2012. Disponível em: < <https://goo.gl/U27gBS> >. Acesso em: 30/05/2016.

PLUME, J.; MITCHELL, J. An urban information framework to support planning decision-making and urban design. 14th international conference on computer aided architectural design, 2011. p.653-666. Disponível em: < <https://goo.gl/BHB2iL> >. Acesso em: 09/05/2017.

PRZYBYLA, J. **Introduction to BIM – GIS Integration**. 2010 National Institute of Building Sciences. Washington D. C., USA: Ecobuild America 2010a. Disponível em: < <https://goo.gl/cjAtHZ> >. Acesso em: 09/03/2015.

_____. **The Next Frontier for BIM: Interoperability With GIS**. Journal of Building Information Modeling. Washington, USA: The National Institute of Building Sciences: 14-18 p. 2010b. Disponível em: < <https://goo.gl/4ff6ag> >. Acesso em: 13/03/2015.

RAKHA, T.; REINHART, C. **Generative urban modeling: a design work flow for walkability-optimized cities**. SimBuild 2012. Wisconsin - USA 2012. Disponível em: < <https://goo.gl/ai6GTa> >. Acesso em: 22/12/2016.

RUSCHEL, R. C.; VALENTE, C. A. V.; CACERE, E.; QUEIROZ, S. R. S. L. D. O papel das ferramentas BIM de integração e compatilhamento no processo de projeto na indústria da construção civil. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v. 7, n. 3, p. 36-54, 2013. Disponível em: < <https://goo.gl/dZD6Ck> >. Acesso em: 08/07/2016.

RYAN, G. W.; BERNARD, H. R. Data management and analysis methods. In: DENSIN, N. e LINCOLN, Y. (Ed.). **Handbook of Qualitative Research**. Thousand Oaks, CA: Sage Publications, 2000. cap. 29, p.7696-7802. Disponível em: < <https://goo.gl/4iBTUH> >. Acesso em: 03/11/2017.

SALEH, M. M. I. M. **Using the Tools of Parametric Urbanism: Toward a more Responsive Environmental Urban Morphology**. 2012. 135 (Master). Architectural Engineering Department, University of Alexandria, Alexandria, Egypt. Disponível em: < <https://goo.gl/exZrvo> >. Acesso em: 22/04/2015.

SCHAFFERS, H.; KOMNINOS, N.; PALLOT, M.; TROUSSE, B.; NILSSON, M.; OLIVEIRA, A. Smart cities and the future internet: towards cooperation frameworks for open innovation. In: DOMINGUE, J.; GALIS, A., et al (Ed.). **The future internet**: Springer-Verlag, 2011. p.431-446. Disponível em: < <https://goo.gl/QLyiEY> >. Acesso em: 21/07/2017.

SCHENCK, D.; WILSON, P. **Information Modeling: the EXPRESS Way**. New York: Oxford University Press, 1994. 416 ISBN 0195358643. Disponível em: < <https://goo.gl/uABmYs> >. Acesso em: 15/04/2016.

SCHÖPFEL, J. Towards a Prague Definition of Grey Literature. Twelfth International Conference on Grey Literature: Transparency in Grey Literature. Grey Tech Approaches to High Tech Issues. Prague, 6-7 December 2010, 2010, Czech Republic. 2010-12-06. p.11-26. Disponível em: < <https://goo.gl/AxvNq1> >. Acesso em: 12/02/2018.

SCHUMACHER, P. Parametricism as Style - Parametricist Manifesto. London, UK, 2008. Disponível em: < <https://goo.gl/rSMTPt> >. Acesso em: 22/04/2015.

SILVA, R. C. D. **Urbanismo paramétrico: parametrizando urbanidade**. 2009. 140 (Mestrado). Departamento de Arquitetura e Urbanismo, UFPE, Recife - PE. Disponível em: < <https://goo.gl/M7ZMtx> >. Acesso em: 22/06/2017.

STOJANOVSKI, T. **City Information Modeling (CIM) and Urbanism: Blocks, Connections, Territories, People and Situations**. Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design. O'BRIEN, L.; KHAN, A., et al. San Diego, USA: Society for Modeling & Simulation International (SCS): 8 p. 2013. Disponível em: < <https://goo.gl/ZJYvgB> >. Acesso em: 30/02/2016.

STRAUSS, A. L.; CORBIN, J. M. **Basics of qualitative research : grounded theory procedures and techniques**. Newbury Park, Calif.: Sage Publications, 1990. ISBN 0803932502 9780803932500 0803932510 9780803932517. Disponível em: < <https://goo.gl/4hi6CK> >. Acesso em: 09/12/2017.

SUCCAR, B. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. **Automation in Construction**, n. 18, p. 357-375, 2009. Disponível em: < <https://goo.gl/56Adfk> >. Acesso em: 10/09/2015.

_____. **Building Information Modelling: conceptual constructs and performance improvement tools**. 2013. 370 (Doctor of Philosophy). School of Architecture and Built Environment, University of Newcastle, Newcastle, Australia. Disponível em: < <https://goo.gl/nDBEJG> >. Acesso em: 11/05/2015.

SUCCAR, B.; SHER, W.; ARANDA-MENA, G.; WILLIAMS, T. **A proposed framework to investigate Building Information Modelling through knowledge elicitation and visual models**. Australasian Universities Building Education. Melbourne, Australia: AUBEA2007 2007. Disponível em: < <https://goo.gl/fvBMK1> >. Acesso em: 22/06/2016.

SUNIL, K.; PATHIRAGE, C. P.; UNDERWOOD, J. **The Importance of Integrating Cost Management with Building Information Modeling (BIM)**. International Postgraduate Research Conference 2015. Salford, UK: University of Salford 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/XXysXN> >. Acesso em: 28/05/2016.

TANG, M.; ANDERSON, J. **Information Urbanism: Parametric urbanism in junction with GIS data processing & fabrication**. 2011 ARCC Architectural Research Conference. ARCC. Southfield, USA: Lawrence Technological University: 7 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/i1v77r> >. Acesso em: 13/03/2017.

TELLER, J. Ontologies for an Improved Communication in Urban Development Projects. In: TELLER, J.; LEE, J. R., *et al* (Ed.). **Ontologies for Urban Development**. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2007. p. 1-14. ISBN 978-3-540-71976-2. Disponível em: < <https://goo.gl/7wdNbf> >. Acesso em: 13/05/2017.

THOMPSON, E. M. **City "is" Real-time**. eCAADe 2015 - 33rd Annual Conference. Viena - Áustria: eCAADe: 10 p. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/e8nWNf> >. Acesso em: 05/11/2016.

THOMPSON, E. M.; GREENHALGH, P.; MULDOON-SMITH, K.; CHARLTON, J.; DOLNÍK, M. Planners in the Future City: Using City Information Modelling to Support Planners as Market Actors. **Urban Planning**, v. 1, n. 1, p. 16, 2016. ISSN 2183-7635. Disponível em: < <https://goo.gl/KMw94z> >. Acesso em: 09/05/2017.

UCEDA-SOSA, R.; SRIVASTAVA, B.; SCHLOSS, R. J. **Building a highly consumable semantic model for smarter cities**. Proceedings of the AI for an Intelligent Planet. Barcelona, Spain: ACM: 1-8 p. 2011. Disponível em: < <https://goo.gl/nxWwPz> >. Acesso em: 09/10/2017.

ULRICH, P.; MARSHMENT-HOWELL, J.; GEEST, T. V. **Open Governance in the Smart City – a scoping report**. Smarticipate Project. London, UK: Oct 2016, p.40. 2016 Disponível em: < <https://goo.gl/6hKiZZ> >. Acesso em: 02/03/2017.

UNION, I. T. Focus Group on Smart Sustainable Cities. 2015. Disponível em: < <https://goo.gl/7wFGKT> >. Acesso em: 22/08/2016.

UTIOME, E.; DROGEMULLER, R.; DOCHERTY, M. **BIM-based lifecycle planning and specifications for sustainable cities of the future: A conceptual approach**. International Council for Research and Innovation in Building and Construction. Lagos, Nigeria: CIB - Conseil International du Bâtiment: 580-589 p. 2014. Disponível em: < <https://goo.gl/q48LJ2> >. Acesso em: 11/03/2015.

WANG, H.; HAMILTON, A. Data integration issues within nd Information Model for Urban Planning. 5th International Postgraduate Research Conference, Salford, UK, Blackwell Publishing, 2005. p.194-203. Disponível em: < <https://goo.gl/wjD3aF> >. Acesso em: 09/05/2017.

WEEKES, S. The world's cities in 5D. 2017. Disponível em: < <https://goo.gl/dtGRzK> >. Acesso em: 12/05/2017.

WOHLIN, C. **Guidelines for snowballing in systematic literature studies and a replication in software engineering**. Proceedings of the 18th International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. London, England, United Kingdom: ACM: 1-10 p. 2014. Disponível em: < <https://goo.gl/f2QeXk> >. Acesso em: 07/08/2016.

XU, X.; DING, L.; LUO, H.; MA, L. From Building Information Modeling to City Information Modeling. **Journal of Information Technology in Construction**, v. 19, p. 16, 2014. ISSN 1874-4753. Disponível em: < <https://goo.gl/rmbFki> >. Acesso em: 09/05/2017.

* * *

APÊNDICE A - Resultados das buscas em repositórios

Quadro 10 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as palavras-chave ‘city information modeling’, ‘city information modelling’ e ‘city information model’.⁵⁸

	Documentos de referência
	Documentos complementares
	Documentos excluídos

* Células vazias, mas coloridas, representam repetição da referência à direita. Células brancas significam conteúdo vazio.

REPOSITÓRIO	Termo da busca		
	<i>‘city information modeling’</i>	<i>‘city information modelling’</i>	<i>‘city information model’</i>
Periódicos CAPES	Amorim, 2015	Beirão et al., 2011	Atzori et al., 2010
	Beirão et al., 2015a	Duarte et al., 2012	Beirão et al., 2011
	Beirão; Koltsova, 2015	Stouffs, 2014	Kim et al., 2012
	Guney, 2016	López-Fernandez et al., 2015	Reitz; Schubiger-Banz, 2014
	Deng et al., 2016	Cheshmehzangi, 2016	Amirebrahimi et al., 2016
	Song et al., 2017	Thompson et al., 2016	Guney, 2016
		Thompson, 2016	Thompson et al., 2016
		Paulwels et al., 2017	Kang, 2017
	Zeb, 2017	Song et al., 2017	
SciELO			
ScienceDirect			Atzori et al., 2010
			Kim et al., 2012
			Cheshmehzangi, 2016
			Deng et al., 2016
			Campbell et al., 2017
			Jusuf et al., 2017
			Kang, 2017
			Khallaf; Jupp, 2017
			Mielby et al., 2017
			Paulwels et al., 2017
		Schnabel et al., 2017	
Emerald Insight		Zeb, 2017	
Springer			Duarte et al., 2012
			Srivastava; Vakali, 2012
			Beniamino; Garramone, 2013
			Holzer, 2014
			Beirão et al., 2015b
			Beirão; Koltsova, 2015
			Burry et al., 2015
			Iancu et al., 2016
			Singh; Garg, 2016
			Beirão; De Klerk, 2017
			D'Onofrio et al., 2017
		Greifenberg et al., 2015	
Wiley			Burke, 2010
			May, 2015

⁵⁸ Tabela diagramada segundo orientações das Normas de Apresentação Tabular, elaboradas pelo IBGE (INFORMAÇÕES, 1993).

Quadro 10 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as palavras-chave ‘city information modeling’, ‘city information modelling’ e ‘city information model’.

(continuação)

REPOSITÓRIO	Termo da busca		
	<i>‘city information modeling’</i>	<i>‘city information modelling’</i>	<i>‘city information model’</i>
CumInCAD			Beirão; De Klerk, 2017
			Amorim, 2016
			Beirão; Arrobas, 2013
			Gil et al., 2011
			Montenegro; Duarte, 2010
		Beirão et al., 2011	
Taylor & Francis		Muldoon-Smith; Greenhalgh, 2016	Maple, 2017
ACM-DL			Stojanovski, 2013
IEEE			Liu; Yue, 2011
ResearchGate			Gil et al., 2010
			Montenegro; Duarte, 2010
			Gil et al., 2011
			Montenegro, 2012
			Stavric et al., 2012
			Stojanovski, 2013
			Beirão, 2014
			Park et al., 2014
			Reitz; Schubiger-Banz, 2014
			Xu et al., 2014
			Amorim, 2015
			Beirão et al., 2015a
			Correa; Santos, 2015
			Park et al., 2015
			Schiefelbein et al., 2015
			Almeida; Andrade, 2016
			Amorim, 2016
			Müller et al., 2016
			Thompson et al., 2016
			Al-Shaery, 2017
		Jaime, 2017	
		Melo et al., 2017	
		Silva et al., 2017	
		Volkov, 2017	
		Mignard, 2012	
Google Acadêmico	Beirão et al., 2009	Hill; Wilson, 2008	Forest et al., 2009
	Sengupt, 2011	Burke, 2010	Atzori et al., 2010
	Stavric et al., 2012		Montenegro; Duarte, 2010
	Stojanovski, 2013	Amado; Poggi, 2011	Gil et al., 2010
	Beirão, 2014	Beirão et al., 2011	Bum Kim et al., 2011
	Holzer, 2014		Gil et al., 2011
	Park et al., 2014		Beirão et al., 2012
	Wong et al., 2014	Montenegro, 2012	Kim et al., 2012
	Xu et al., 2014	Chaszar; Beirão, 2013	Nef et al., 2012
		Pensa; Masala, 2013	Stavric et al., 2012
	Imai et al., 2015	Stouffs et al., 2013	Kagan et al., 2013

Quadro 10 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as paravras-chave ‘city information modeling’, ‘city information modelling’ e ‘city information model’.

(continuação)

REPOSITÓRIO	Termo da busca		
	<i>‘city information modeling’</i>	<i>‘city information modelling’</i>	<i>‘city information model’</i>
Google Acadêmico	Amorim, 2015	Stouffs, 2014	Billen et al., 2014
	Beirão et al., 2015b	Burry et al., 2015	Horne et al., 2014
		Cavalcanti; Souza, 2015	Park et al., 2014
	Briscoe, 2015	Charlton et al., 2015	Song et al., 2014
		Correa, 2015	Xu et al., 2014
			Correa; Santos, 2015
	Salgado et al., 2015	May, 2015	Almeida et al., 2015
	Almeida; Andrade, 2016	Sayed et al., 2015	Amorim, 2015
	Deng et al., 2016	Wang, 2015	Beirão et al., 2015b
	Amorim, 2016	Almeida et al., 2016	Chaturvedi et al., 2015
		Cavalcante, 2016	Schiefelbein et al., 2015
	Dantas et al., 2016	Cheshmehzangi, 2016	Almeida; Andrade, 2016
	Lima; Freitas, 2016	Thompson, 2016	Amorim, 2016
			Thompson et al., 2016
	Pinheiro et al., 2016	Al-Shaery, 2017	Dantas et al., 2016
	Almeida, 2017	Chen et al., 2017	Lima; Freitas, 2016
	Oliveira, 2017	Gil, 2017	Santos, 2017
	Vieira et al., 2017	Moghadam; Lombardi, 2017	Vieira et al., 2017
			Silva et al., 2017

Quadro 11 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as paravras-chave ‘urban information modeling’, ‘urban information modelling’ e ‘urban information model’.

REPOSITÓRIO	Termo da busca		
	<i>Urban Information Modeling</i>	<i>Urban Information Modelling</i>	<i>Urban Information Model</i>
Periódicos CAPES	Mignard; Nicolle, 2014	Thompson et al., 2016	Hamilton et al., 2005
			Aouad et al., 2005
			Wang et al., 2007
			Huang et al., 2009
			Mignard; Nicolle, 2014
			Tukiainen et al., 2015
			Poslončec-Petrić et al., 2016
			Atazadeh et al., 2017
			Agugiario; Rodrigues, 2017
			Uribe-Pérez; Nous, 2017
		Santos et al., 2017	
SciELO			
ScienceDirect			Wang et al., 2007
			Fistola, 2011
			Jensen et al., 2014
			Mignard; Nicolle, 2014
			Atazadeh et al., 2017
		Cerezo et al., 2017	

Quadro 11 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as palavras-chave ‘urban information modeling’, ‘urban information modelling’ e ‘urban information model’.

(continuação)

REPOSITÓRIO	Termo da busca		
	<i>Urban Information Modeling</i>	<i>Urban Information Modelling</i>	<i>Urban Information Model</i>
ScienceDirect			Mielby et al., 2017
			Ma; Ren, 2017
			Papasmastiou et al., 2017
			Uribe-Pérez; Nous, 2017
			Santos et al., 2017
Emerald Insight			
Springer			Barton; Plume, 2006
			Teo et al., 2006
			Chen et al., 2006
			Kolbe, 2009
			Becker et al., 2010
			Hernández-Muñoz et al., 2011
			Métral; Cutting-Decelle, 2011
			Krishnamurti et al., 2012
			Zhong et al., 2012
			Androulaki et al., 2016
			CAICT, 2016
			Curry et al., 2016
			Hamza, 2016
			Mounika; Anguluri, 2017
		Panagiotopoulou; Stratigea, 2017	
Wiley			Weinstock, 2013
CumInCAD			
Taylor & Francis			Amirebrahimi et al., 2016
			Saran et al., 2015
ACM-DL			Stojanovski, 2013
IEEE	Liu; Tan, 2010		
ResearchGate			Hamilton et al., 2005
			Liu; Tan, 2010
		Mignard; Nicolle, 2011	
			Egusquiza et al., 2013
		Mignard; Nicolle, 2014	
			Protic et al., 2014
		Soon et al., 2015	
			Hijazi, 2017
			Mignard, 2012
			Nouvel et al., 2015
			Coccolo et al., 2015a
			Coccolo et al., 2015b
			Bart et al., 2014
		Egusquiza et al., 2014	
Google Acadêmico	Thompson; Horne, 2009		Hamilton et al., 2005
	Liu; Tan, 2010	Kolbe, 2007	Hamilton; Wang, 2005
	Hammarskiöld, 2011	Fu et al., 2007	Chen et al., 2006
	Mignard; Nicolle, 2011	Falquet et al., 2009	Teo et al., 2006

Quadro 11 – Resultado das buscas em repositórios por publicações revisadas por pares para as paravras-chave ‘urban information modeling’, ‘urban information modelling’ e ‘urban information model’.

(continuação)

Google Acadêmico	Nicolle; Clement, 2011	Kaden; König, 2011	Song et al., 2007
		Métral; Cutting-Decelle, 2011	Wang et al., 2007
	Dominicus et al. 2012	Thompson et al., 2011	Podevyn et al., 2008
		Kaden; König, 2012	Huang et al., 2009
	Kolbe, 2012	König et al., 2012	Kolbe, 2009
	Völk, 2013	Zhong et al., 2012	Becker et al., 2010
	Mignard; Nicolle, 2014	Ciribini, 2013	Fistola, 2011
	Amorim, 2015	Nobuhide, 2014	Gil et al., 2011
	Deng; Cheshmehzangi, 2015	Berger et al., 2015	Harrison; Donnelly, 2011
			Plume; Mitchell, 2011
	Fathi; Ghavami, 2015		Aschwanden et al., 2012
	Fosu et al., 2015	Alsami, 2015	Krishnamurti et al., 2012
	Mignard; Nicolle, 2015	Dimopoulou, 2015	Krüger; Kolbe, 2012
	Bai, 2016		Newton et al., 2012
	Chen; Luo, 2016	Gambardella, 2015	Tsiliakou; Labropoulos, 2013
	Breunig et al., 2017	Hou, 2015	Weinstock, 2013
	Khodeir, 2017	Marzban et al., 2016	Billen et al., 2014
	Ma; Ren, 2017	Sanchez et al., 2016	Horne et al., 2014
	Mounika; Anguluri, 2017	Kurwi et al., 2017	Mignard; Nicolle, 2014
		Mielby et al., 2017	Pozoukidou, 2014
			Lin et al., 2015
			Nouvel et al., 2015
			Saran et al., 2015
			Tukiainen et al., 2015
			Almeida; Andrade, 2016
			Amirebrahimi et al., 2016

* * *