

**As cidades Inteligentes e a Modelagem da Informação da Cidade (City Information Modeling): convergência de Inteligência Artificial, IoT, Big Data e Blockchain**

*Smart Cities and City Information Modeling (CIM): Convergence of Artificial Intelligence, IoT, Big Data and Blockchain*

*Ciudades Inteligentes y Modelado de Información de la Ciudad (City Information Modeling): Convergencia de Inteligencia Artificial, IoT, Big Data y Blockchain*

**Iasmin de Sousa Jaime**

Doutoranda, UnB, Brasil.  
iasmin.jaime@aluno.unb.br

**Raquel Naves Blumenschein**

Professora Doutora, UnB, Brasil.  
blumen@unb.br

**RESUMO**

As cidades ao redor do mundo estão cada vez mais adotando tecnologias avançadas para melhorar a vida dos cidadãos e tornar as cidades mais eficientes, resilientes e sustentáveis. Com a ajuda de tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Big Data e Blockchain, as cidades podem ser transformadas em cidades inteligentes, permitindo uma melhor tomada de decisões e maior eficiência em todos os aspectos da vida urbana. Um processo fundamental para a criação dessas cidades inteligentes é a Modelagem da Cidade (City Information Modeling - CIM). A associação entre o CIM e as cidades inteligentes, perpassa conceitos importantes associados as novas tecnologias, como o desenvolvimento de gêmeos digitais e gestão data-driven. Seguindo esta diretriz, este artigo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura (RSL) e a aplicação do método Design Science Research (DSR) para a discussão da relação do CIM, das Cidades Inteligentes e das novas tecnologias (percorrendo conceitos congruentes com a pesquisa como IA, IoT, Big Data e Blockchain), considerando artigos publicados nos últimos dez anos. Diante disso, este artigo apresenta os resultados de uma RSL, e discorre sobre os principais conceitos que permeiam os temas associados. A análise permitiu constatar a necessidade de uma compreensão acerca da compatibilidade entre os principais temas, CIM e as Cidades Inteligentes, e foram possíveis identificar as principais linhas de pesquisa recorrentes nos artigos analisados, além de constatar que a integração entre blockchain e inteligência artificial, pode ser de extrema relevância em processos de gestão de dados a serem aplicados na construção de modelos de informação de cidades.

**PALAVRAS-CHAVE:** Cidades Inteligentes. City Information Modeling. Inteligência Artificial.

**ABSTRACT**

*Cities around the world are increasingly adopting advanced technologies to improve the lives of citizens and make cities more efficient, resilient, and sustainable. With the help of technologies such as Artificial Intelligence (AI), Internet of Things (IoT), Big Data, and Blockchain, cities can be transformed into smart cities, allowing for better decision-making and greater efficiency in all aspects of urban life. A key process for creating these smart cities is City Information Modeling (CIM). The association between CIM and smart cities encompasses important concepts associated with new technologies, such as the development of digital twins and data-driven management. Following this guideline, this article aims to conduct a systematic literature review (SLR) and the application of the Design Science Research (DSR) method to discuss the relationship between CIM, Smart Cities, and new technologies (covering concepts congruent with research such as AI, IoT, Big Data, and Blockchain), considering articles published in the last ten years. Therefore, this article presents the results of an SLR and discusses the main concepts that permeate the associated themes. The analysis allowed us to verify the need for an understanding of the compatibility between the main themes, CIM and Smart Cities, and it was possible to identify the main recurring lines of research in the analyzed articles, as well as to verify that the integration between blockchain and artificial intelligence can be extremely relevant in data management processes to be applied in the construction of city information models.*

**KEY-WORDS:** Smart Cities. City Information Modeling. Artificial Intelligence.

**ABSTRACTO**

*Las ciudades de todo el mundo están adoptando cada vez más tecnologías avanzadas para mejorar la vida de los ciudadanos y hacer que las ciudades sean más eficientes, resilientes y sostenibles. Con la ayuda de tecnologías como la Inteligencia Artificial (IA), Internet de las Cosas (IoT), Big Data y Blockchain, las ciudades pueden transformarse en ciudades inteligentes, lo que permite una mejor toma de decisiones y una mayor eficiencia en todos los aspectos de la vida urbana. Un proceso clave para la creación de estas ciudades inteligentes es el Modelado de información de la ciudad (CIM). La asociación entre CIM y ciudades inteligentes abarca conceptos importantes asociados con las nuevas tecnologías, como el desarrollo de gemelos digitales y la gestión basada en datos. Siguiendo esta directriz, este artículo tiene como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura (SLR) y la aplicación del método Design Science Research (DSR) para discutir la relación entre CIM, Smart Cities y las nuevas tecnologías (abarcando conceptos congruentes con la investigación como AI, IoT, Big Data y Blockchain), considerando artículos publicados en los últimos diez años. Por lo tanto, este artículo presenta los resultados de una SLR y discute los principales conceptos que permean los temas asociados. El análisis permitió verificar la necesidad de una comprensión de la compatibilidad entre los temas principales, CIM y Smart Cities, y fue posible identificar las principales líneas de investigación recurrentes en los artículos analizados, así como verificar que la integración entre blockchain y la inteligencia artificial pueden ser extremadamente relevantes en los procesos de gestión de datos para ser aplicados en la construcción de modelos de información de la ciudad.*

**PALABRAS CLAVE:** Cidades Inteligentes. Modelado de información de la ciudad. Inteligencia artificial.

## 1 INTRODUÇÃO

A contemporaneidade é marcada pela popularização das tecnologias digitais e pela vivência de uma nova relação com a informação. Nesse contexto, as cidades enfrentam diversos desafios relacionados ao planejamento urbano, à gestão de recursos e à qualidade de vida dos seus habitantes. A quarta revolução industrial, que se caracteriza pelo uso intensivo de tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), Big Data, robótica, nanotecnologia, fabricação digital, entre outras, cria um novo marco para as cidades, impulsionando um movimento digital que proporciona mudanças significativas em diversas perspectivas.

Segundo o filósofo Pierre Lévy (2011), o processo de virtualização tem afetado não apenas os processos relacionados à informação e à comunicação, mas também os corpos e a economia. Isso significa que as tecnologias digitais têm impacto direto nas atividades humanas e na forma como as pessoas interagem com o ambiente urbano.

Nos últimos anos, houve uma crescente discussão sobre a criação e desenvolvimento de cidades inteligentes, que se baseiam no uso de tecnologias avançadas para melhorar a qualidade de vida dos seus habitantes. Para isso, são utilizados conceitos que permeiam a IA, IoT, Big Data e Blockchain, que juntos permitem o desenvolvimento de soluções inovadoras e sustentáveis para problemas urbanos.

Nesse contexto, destaca-se a Modelagem da Informação da Cidade (*City Information Modeling - CIM*), que consiste na criação de modelos digitais que representam de forma precisa e integrada as diversas informações de uma cidade, como edifícios, infraestruturas, redes de transporte, meio ambiente, entre outros. A partir desses modelos, é possível simular cenários e tomar decisões mais assertivas sobre o planejamento urbano.

A própria administração pública começa a trazer determinadas demandas de ferramentas e plataformas, que possibilitem a utilização de geotecnologias e que os geodados sejam levados para uma outra dimensão, principalmente associadas a gestão e processos de gestão data-driven. Diante da demanda crescente da instrumentalização da gestão pública, aponta-se a construção de modelos 3D de cidade, que são a principal base para a construção de um Modelo de Informação da Cidade (ALMEIDA; ANDRADE, 2018; JAIME, 2019; DANTAS et al. 2019).

O conceito de Modelagem da Informação da Cidade (CIM) teve um crescimento significativo nas pesquisas na última década, principalmente com estudos voltados para o aprimoramento do processo de gestão urbana, com o objetivo de desenvolvimento de plataformas digitais inteligentes que tenham como objetivo armazenar, controlar e sistematizar as soluções baseadas em Big Data (CAI et al., 2021).

Ao unir o CIM com as tecnologias mencionadas anteriormente, é possível criar soluções ainda mais inteligentes e eficientes. Por exemplo, sensores de IoT coletam dados em tempo real sobre o trânsito, qualidade do ar e nível de ruído, que podem ser processados por sistemas de Inteligência Artificial e fornecer insights valiosos para o planejamento urbano. Além disso, o uso de Blockchain pode garantir maior segurança e transparência na gestão de dados, bem como permitir a criação de sistemas de pagamento e identificação digital.

Em suma, a convergência de tecnologias como IA, IoT, Big Data e Blockchain na Modelagem da Informação da Cidade pode trazer inúmeras possibilidades para o

desenvolvimento de cidades inteligentes e sustentáveis, melhorando a qualidade de vida dos seus habitantes e promovendo um ambiente urbano mais eficiente e equilibrado.

No entanto, é importante ressaltar que o uso das tecnologias digitais nas cidades também traz desafios e preocupações. A questão da privacidade e da segurança dos dados, por exemplo, deve ser considerada em todas as etapas do planejamento urbano. Além disso, é necessário garantir que a tecnologia seja utilizada de forma inclusiva e democrática, levando em conta as diferentes necessidades e realidades dos habitantes da cidade.

Reforça-se que a reflexão sobre as cidades não pode se limitar a uma simplicidade conceitual, como “Cidades Inteligentes”, reduzir as cidades a um conjunto de dados ou um conjunto de sistemas organizados reforça um aspecto simplista da visão da complexidade existente nas cidades contemporâneas. Mesmo que comumente esses dados favoreçam na estruturação e organização, e até mesmo sistematização de parte dos elementos e componentes presentes nestas cidades.

Embora a tecnologia da informação e a digitalização sejam fundamentais para a evolução das cidades contemporâneas, elas não podem ser vistas como soluções universais e suficientes para os desafios urbanos. As cidades são sistemas complexos, que envolvem diversas dimensões e aspectos interdependentes, como a sociedade, a economia, o meio ambiente, a cultura, a política, entre outros. Cada cidade tem suas próprias características, desafios e potencialidades, que não podem ser simplificadas ou generalizadas em um modelo único ou em um conjunto de dados.

Diversos autores criticam o movimento “cidades inteligentes”, destacando que o termo serve apenas para simplificar as visões da cidade e beneficiar principalmente os investidores e não os residentes da cidade, reforçando que é necessário “apelar” ao reconhecimento das inteligências urbanas além da computação ou dos processos algorítmicos (MATTERN, 2021).

O destaque para que as tecnologias não são ferramentas neutras ou instrumentos de eficiência, mas que os dispositivos tecnológicos moldam as percepções, as práticas e as relações sociais na cidade. Essa perspectiva questiona a ideia de que as tecnologias são meras ferramentas que podem ser usadas de forma objetiva e neutra, sem considerar o seu impacto sobre a cultura, a política e a sociedade em geral. Ao contrário, a abordagem crítica defende que as tecnologias são dispositivos culturais que influenciam as percepções e as práticas sociais e que, portanto, devem ser analisadas em termos de seus significados (MATTERN, 2021; JAIME, 2019).

A importância sobre uma discussão crítica e reflexiva sobre as tecnologias, que não tenham apego apenas em suas funcionalidades técnicas, mas também sejam elementos de reflexão dos significados culturais, políticos e estéticos. Reforça a importância da atenção aos aspectos materiais e sensoriais das tecnologias, considerando o seu impacto sobre os corpos, os sentidos e as emoções, além das possíveis desigualdades causadas pelas tecnologias na cidade, reforçando a importância da inclusão e da participação cidadã na definição do uso das tecnologias urbanas (MATTERN, 2021).

Por outro lado, é inegável que a tecnologia da informação e os processos de digitalização têm um papel importante no desenvolvimento das cidades contemporâneas. Contribuindo para a melhoria da qualidade de vida, para o aumento da eficiência dos serviços públicos, para a promoção da sustentabilidade e para o fortalecimento da democracia e da participação cidadã.

Sem dúvidas a discussão sobre igualdade tecnológica perpassa a análise do processo de informação, desde o acesso igualitário a informação, remoção dos vieses dos dados e como os dados são usados. Além de observar que as cidades possuem uma diversidade de vozes e formas.

No entanto, é preciso que as adoções dessas tecnologias sejam feitas de forma consciente e crítica, considerando as especificidades e os contextos locais, e valorizando a diversidade e a complexidade das cidades. Além disso, é importante que a tecnologia seja utilizada como um meio, e não como um fim em si mesmo, buscando sempre atender às necessidades e aos interesses da população e do meio ambiente.

Para que as cidades se desenvolvam de maneira sustentável, baseadas no desenvolvimento econômico, social e ambiental, a boa governança urbana é fundamental, considerando a redução de conflitos, a diminuição das desigualdades, além de favorecer que as gestões tenham índices menores de corrupção. É desta forma que as cidades inteligentes se desenvolvem, na combinação entre o capital humano, social e as tecnologias de informação e comunicação (CAPDEVILA; ZARLENGA, 2015).

Ao se estabelecer um conjunto de dados e informações importantes para uma cidade, seja os dados do censo, dados socioeconômicos, dados de consumo de energia, dados de consumo de água, dentre outros já é possível ter um conjunto de informações semânticas que propiciam a construção de uma base para este modelo de informação, o que futuramente poderá vir a ser um gêmeo digital da cidade.

Um gêmeo digital é basicamente uma representação digital de um objeto, sistema, entidade do mundo real. Consiste em produtos físicos e digitais, permitindo a inclusão de conexões entre os dois sistemas ou produtos, neste caso para que os dados fluam entre eles, assim todos os dados digitais capturados ou criados precisam ser visualizados em escala real para as diversas partes interessadas em todo o ciclo de vida do projeto (DAWOOD et al., 2020; ALIZADEHSALEHI; YITMEN, 2021).

Este artigo tem como objetivo apresentar os resultados de uma revisão sistemática da literatura e revisão bibliométrica sobre o conceito de *City Information Modeling* e as Cidades Inteligentes, a fim de discorrer sobre os conceitos que permeiam as novas tecnologias associadas a esse termo como IA, IoT, Big Data, Blockchain e gêmeos digitais. Pretende-se responder às seguintes perguntas: Quais são os temas de pesquisas que associam o *City Information Modeling* e as Cidades Inteligentes? Como os conceitos e tecnologias contemporâneas relacionados a cidade inteligente tem sido tratado nas pesquisas associadas ao *City Information Modeling*? Quais são os principais entraves, clusters e as perspectivas de pesquisas futuras sobre o tema?

## **2 MATERIAIS E MÉTODOS**

Os métodos de pesquisa são um conjunto de regras e procedimentos, que permitem a construção de um conhecimento específico (ANDERY et al., 2004). Para o desenvolvimento da pesquisa de revisão sistemática da literatura, adotou-se a integração dos modelos utilizados por Garza-Reyes (2015) e Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015).

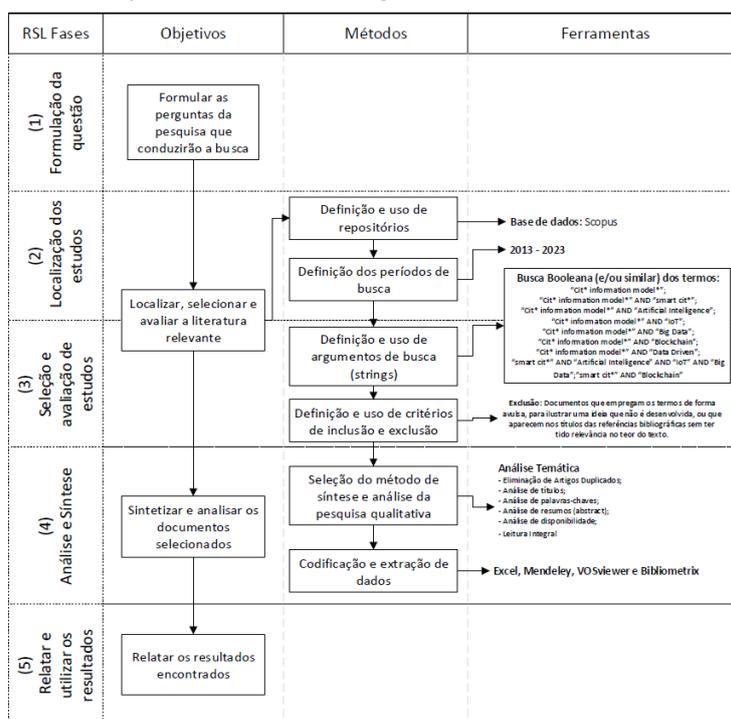
Garza-Reyes (2015) determina algumas fases para o desenvolvimento da revisão sistemática da literatura, considerando que para cada fase deve ser descrito seu objetivo, o método e a ferramenta utilizada. Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015) apresentam alguns

autores e métodos para o início dessa revisão, destacando a importância da definição dos atores envolvidos para a fundamentação da pesquisa, a seleção de fontes e termos de busca, além dos critérios e estratégias de eliminação, e o desenvolvimento de protocolos claros para a revisão sistemática da literatura (RSL).

Revisões sistemáticas da literatura são estudos secundários utilizados para mapear, encontrar, avaliar criticamente, consolidar e agregar os resultados de estudos primários relevantes acerca de uma questão ou tópico de pesquisa específico, bem como identificar lacunas a serem preenchidas, resultando em um relatório coerente ou em uma síntese. A Expressão sistemática significa que a revisão deve seguir um método explícito, planejado, responsável e justificável, assim como nos estudos primários (DRESCH; LACERDA; ANTUNES JUNIOR, p. 142, 2015).

O modelo aplicado nessa pesquisa, foi adaptado os métodos de Garza-Reys (2015) e Dresch, Lacerda e Antunes Junior (2015), no qual as fases de revisão foram (1) Formulação da questão problema, (2) Localização dos estudos, (3) Seleção e avaliação dos estudos, (4) Análise e Síntese e (5) Relatar e utilizar os resultados, conforme apresentado na Figura 01.

Figura 1 – Quadro de procedimentos metodológicos da Revisão Sistemática da Literatura (RSL)



Fonte: Autora, adaptado de Garza-Reyes (2015)

Para traçar um panorama do uso e aplicação do CIM como instrumento de apoio no desenvolvimento das cidades inteligentes e nas decisões de gestão urbana e governança urbana, aplicou-se uma técnica de RSL, utilizada quando se almeja analisar aspectos da produção científica de uma determinada área de pesquisa, com a intenção de identificar as tendências e lacunas do conhecimento científico das produções nesta área.

Além da revisão sistemática da literatura foi realizada uma análise bibliométrica desenvolvida com o objetivo de compreender a relevância, importância e a influência do CIM sobre as cidades inteligentes. Optou-se por no primeiro momento estabelecer como aspecto

temporal para esta revisão este marco temporal de dez anos, considerando as publicações entre 2013 a março de 2023.

A base de dados utilizada foi a Scopus. As strings de buscas podem ser verificadas no campo ferramentas da figura 01. Houve um tratamento inicial considerando a temporalidade, conforme reforçado acima. Foram excluídas das pesquisas os tipos de documentos que não se enquadravam em periódicos e trabalhos em congressos como de artigos publicados em livros e capítulo de livros.

Foram utilizadas para a pesquisa as palavras dentro da base de dados escolhidas apenas a ocorrência das palavras chaves associadas a “Article title, Abstract, Keywords” tanto para as palavras chaves iniciais como para as buscas booleanas.

A revisão bibliométrica consiste na utilização de técnicas estatísticas para a produção bibliográfica, permitindo a visualização da situação atual da produção científica sobre o tema, além de identificar quais são os vácuos de pesquisa existentes e que podem ser preenchidos com o desenvolvimento de novas pesquisas. A intenção é que a partir da análise seja possível verificar como as contribuições científicas aconteceram ao longo do tempo, e quais os principais indicadores de pesquisas e campos de pesquisas estão sendo adotados para o *City Information Modeling*.

Diante disso, foi necessário definir o objetivo da pesquisa e quais os métodos apropriados para que este objetivo fosse alcançado. A definição das bases de dados a serem utilizadas e o desenvolvimento da coleta dos artigos. Foram aplicadas neste estudo três técnicas bibliométricas a de análise temporal, análise de coocorrência de palavras-chave e redes de citações.

A visualização da rede bibliométrica auxilia na análise de um vasto número de redes científicas, possibilitando visualizar padrões sistemáticos em bancos de dados bibliográficos (COBO et al. 2011). O mapeamento permite identificar os potenciais de um determinado campo. No contexto desta pesquisa trata-se de identificar os potenciais associados entre CIM e as cidades inteligentes, além das tecnologias associadas ao termo. A revisão sistemática e bibliométrica com o apoio dos softwares Microsoft Excel, Mendeley, VOSviewer e Bibliometrix.

### **3 RESULTADOS**

Este artigo apresenta os resultados de uma revisão sistemática da literatura sobre o *City Information Modeling* e a sua relação com os processos de construção das cidades inteligentes. A fim de discorrer sobre os conceitos que permeiam os dois temas, e as tecnologias aplicadas a estes temas. Como pode ser analisado pelas *strings* de busca realizadas, detectou-se que a primeira palavra chave e a compilação entre as palavras associadas a “Smart Cities” foram as mais abrangentes, como pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 – Quantitativo de artigos

Palavras-chaves	Scopus (Nº de artigos)
"Cit* information model*"	111
"Cit* information model*" AND "smart cit*";	29
"Cit* information model*" AND "Artificial Intelligence";	6
"Cit* information model*" AND "Big Data"	8
"Cit* information model*" AND "Blockchain"	3
"Cit* information model*" AND "Data Driven"	1
"smart cit*" AND "Artificial Intelligence" AND "IoT" AND "Big Data"	140
"smart cit*" AND "Blockchain" AND "Artificial Intelligence"	118
<b>Total</b>	<b>396</b>

Fonte: Autoras, 2023.

Todos os 396 artigos foram cadastrados em um banco de dados (BD1) e tratados em planilha no software Microsoft Excel, unindo os artigos presentes em mais de uma *string*, inicialmente utilizando a ferramenta de remover duplicadas com filtros no "nome do artigo" e no "resumo do artigo", posteriormente foi feita uma verificação visual da existência de artigos que ainda poderiam estar duplicados ou com bases dados insuficientes para análise, o que foi considerado como um critério para exclusão do artigo.

Após a remoção de artigos duplicados, 271 artigos foram cadastrados em um novo banco de dados (BD2) com o objetivo de verificar mais uma vez a existência de artigos duplicados e estabelecer uma triagem entre as diversas *strings* de buscas. Para esta revisão foi utilizado o mesmo método de remoção de duplicatas considerando os parâmetros "nome do artigo" e "resumo", e uma verificação visual a partir do nome dos autores para verificar a existência de artigos duplicados.

Aplicando os critérios de elegibilidade foram feitas as leituras de todos os títulos e palavras chaves dos 271 artigos. No qual foram filtrados 202 artigos referentes ao eixo estrutural da pesquisa, analisando os estudos que se aplicavam ao meio urbano, considerando a cidade como campo de estudo. Dos 202 artigos foram realizadas a leitura dos títulos, palavras-chaves e resumos novamente, estabelecendo tópicos principais para esta investigação e para a primeira análise quantitativa a partir do software VOSviewer.

O VOSviewer foi utilizado para apresentação dos resultados, no qual o seu desenvolvimento é possível criar as redes de coautoria, citação e coocorrência de termos e palavras chave, também é possível a visualização dos dados de pesquisa a partir de clusters. O software Excel foi utilizado para a tabulação dos dados e desenvolvimento de gráficos.

Os artigos encontrados foram analisados a partir da distribuição das publicações por ano, os países de regiões e autores usando os dados disponíveis na Scopus. Para a análise dos países que mais publicaram sobre o tema foram registrados os dados do número de artigos sobre o tema publicados e a porcentagem correspondente.

### 3.1 Análise de palavras-chave

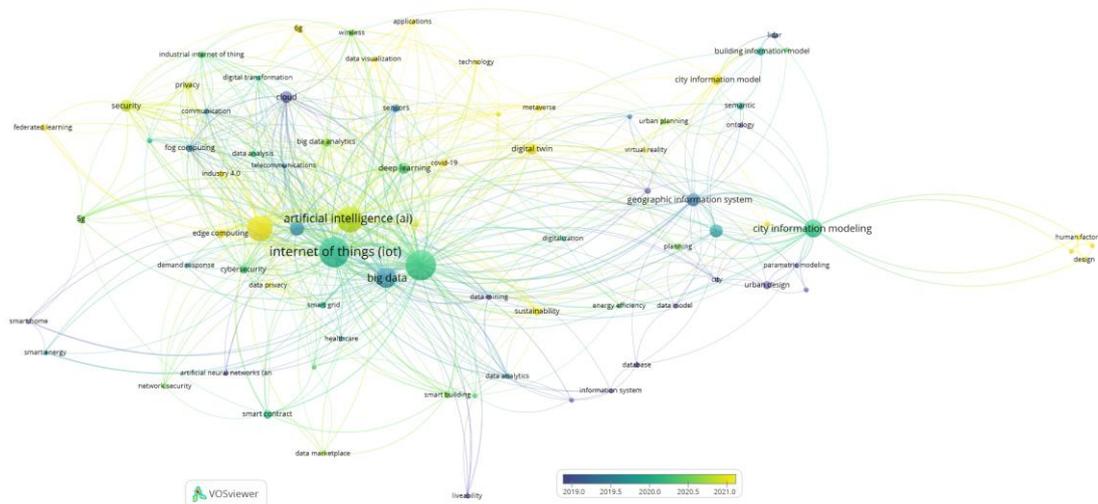
Para a análise de citação e coocorrência de palavras chave foram selecionados apenas os 202 artigos. O software VOSviewer foi usado para construção dos diagramas bibliométricos para a visualização de citação entre os autores, este programa consegue trabalhar com um



diferentes países e regiões. Grande parte desses estudos de caso envolvem a escala de quadra ou bairros.

Observando a figura 03, foi possível traçar uma linha do tempo das publicações, referentes as palavras chaves. O círculo ou “nó” representado na figura mostra o número de ocorrências dessa palavra, assim como as linhas representam o número de vezes que aqueles termos estão ligados. A escala de cor entre roxo e amarelo, referem-se à prevalência do ano que as publicações que aparecem as palavras chaves foram citadas.

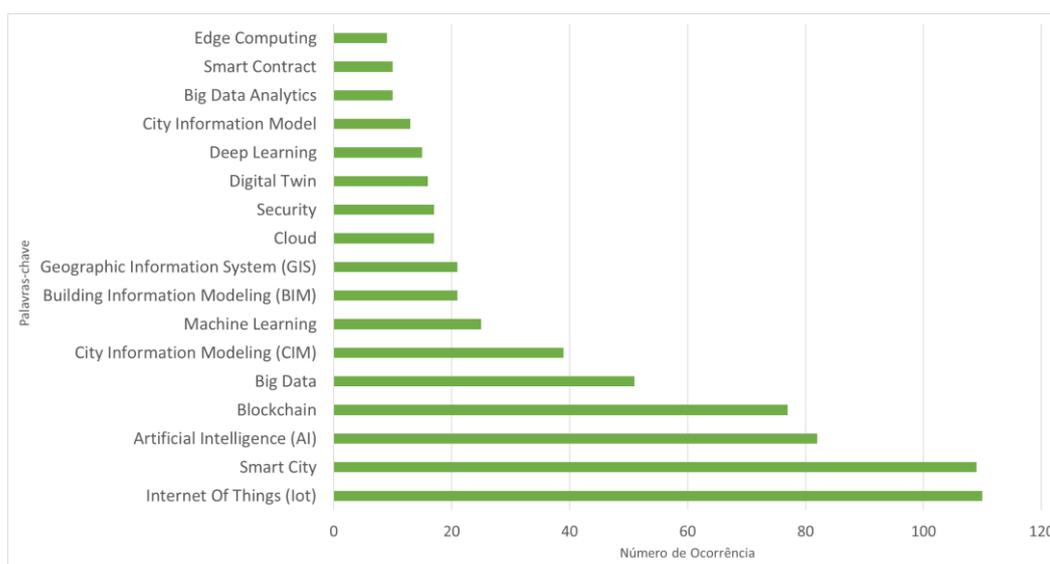
Figura 3 – Visualização das palavras-chaves tratados em rede



Fonte: Autora, 2023.

A figura 4 apresenta as palavras-chaves com maior número de ocorrências nos artigos analisados, reforçando as palavras como IoT, Smart City (Cidades Inteligentes), Inteligência Artificial, Blockchain, Big Data, CIM, BIM e GIS. Grande parte das pesquisas ainda estão associadas a conceituação do CIM como ferramenta, e também possuem uma conexão direta nas pesquisas sobre as Smart Cities, principalmente porque os modelos de informação podem ser usados para prever o crescimento das cidades, identificar as áreas críticas que precisam de planejamento adequado, além de otimizar a gestão das cidades e simular diferentes cenários para a tomada de decisão.

Figura 4 – Visualização das palavras-chaves por número de ocorrência



Fonte: Autora, 2023.

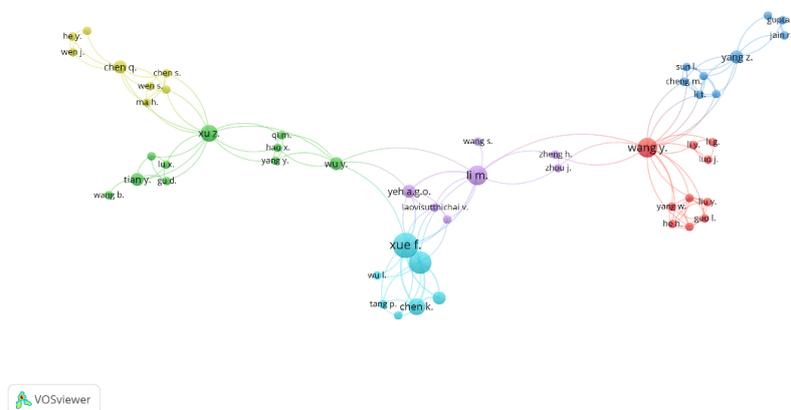
Destaca-se também as palavras chaves associadas as novas tecnologias, e aplicações de Inteligência Artificial como *Machine Learning* e *Deep Learning* gestão urbana, como urban governance, urban data (dados urbanos), urban management (gestão urbana), urban planning (planejamento urbano), urban regulation (regulação urbana). Reforça também as palavras chaves que podem ser de extrema relevância para os processos de governança, como a associação das palavras com dados urbanos, como data integration (integração de dados), data model (modelo de dados), big data, urban analysis (análises urbanas), e os digital twins (gêmeos digitais).

### 3.2 Visualização das redes de colaboração e citação e proveniência dos artigos

As análises de coocorrência no VOSviewer são usadas para identificar a frequência com que os termos aparecem juntos em um conjunto de documentos. Essa técnica é uma forma de análise de redes que permite identificar e visualizar as relações entre termos com base em sua frequência de coocorrência (VOSviewer, 2023).

Na figura 5 é possível identificar as redes de coautoria de artigos publicados sobre o tema, onde é possível identificar principais autores e suas colaborações. Para cada autor é possível analisar a lista de coautores em seus artigos relevantes. A imagem apresenta principalmente a colaboração existente entre os autores asiáticos. Verificando a existência de grupos de pesquisas que colaboram entre si, o que permite entender a dinâmica da pesquisa sobre CIM e identificar os possíveis líderes de publicação.

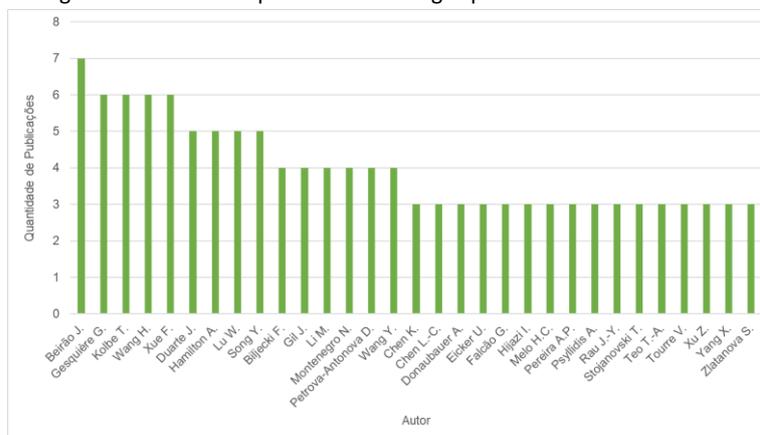
Figura 5 – Visualização das principais coautorias entre os artigos



Fonte: Autora, 2023.

A figura 6 apresenta um gráfico no qual é possível identificar os principais autores que publicaram sobre o tema dentro dos artigos analisados. Beirão J., Gesquière G. Kolbe T. Wang H e Xue. F, aparecem como autores do maior número de documentos analisados, foram considerados para a construção deste gráfico apenas os autores com mais de três artigos publicados.

Figura 6 – Gráfico da quantidade de artigos publicados com cada autor.



Fonte: Autora, 2023.

As maiores concentrações de estudos acontecem na China e em países do continente europeu, demonstrando que esta relação pode ocorrer devido a disponibilidade de informações e dados, que sem dúvidas é maior em países desenvolvidos. Isso ocorre por diversas razões, incluindo o fato de que os países desenvolvidos têm sistemas mais avançados de coleta, armazenamento e análise de dados, além de possuir recursos financeiros para investir em novas tecnologias, assim como nas infraestruturas necessárias para o processamento de dados urbanos.

O crescimento urbano rápido que a China tem experimentado nas últimas décadas, resultam em um conjunto maior de desafios relacionados ao planejamento urbano e gestão. Diante disso, ferramentas como CIM podem ser valiosas para auxiliar no enfrentamento desses problemas, a China tem investido em pesquisas nesta área, como pode ser reforçado pela

quantidade de artigos publicados. O investimento em tecnologia, permite pesquisas mais avançadas e o desenvolvimento de soluções com aplicações do CIM. A China também possui uma forte rede de instituições de pesquisa e universidades que estão trabalhando nesta área, o que leva a uma produção mais ampla de artigos e pesquisas sobre o assunto.

Entretanto, é importante ressaltar que a disponibilidade de dados urbanos não é uniforme em todo mundo, até mesmo dentro dos países desenvolvidos. A China hoje é o país mais populoso do mundo, isso significa que há uma grande quantidade de dados urbanos gerados diariamente em suas cidades. Nas últimas décadas a China tem investido muito em tecnologia, incluindo sistemas de coleta e processamento de dados, com isso a ascensão de tecnologias como o Big Data e a inteligência artificial auxiliou no aumento da capacidade de coletar e analisar os dados urbanos em tempo real.

O governo chinês também tem um papel significativo na coleta e no gerenciamento de dados urbanos, devido os processos de controle governamental, no qual o governo tem acesso a informações que não são disponibilizadas pelo público geral, o que permite a coleta de dados com mais eficácia do que em outros países. O governo tem incentivado a coleta e a análise dos dados urbanos com o objetivo de melhorar a qualidade de vida da população, além de aumentar a eficiência dos serviços públicos.

Destaque-se também a crescente de artigos publicados na Alemanha, que possui uma forte tradição em pesquisas e inovação em várias áreas, incluindo tecnologias de informação e comunicação, o planejamento urbano é uma área importante no país, com muitas cidades históricas que precisam ser gerenciadas e modernizadas, governos locais tem investido em soluções CIM para processos de gestão. Reforça-se a importância da sustentabilidade, principalmente em alguns países europeus, como a Alemanha é um líder global em políticas ambientais e sustentáveis, o CIM se tornou uma ferramenta importante para auxiliar no desenvolvimento das cidades.

### **3.3 Identificação das áreas de pesquisa**

Durante a pesquisa verificou-se a heterogeneidade de publicações. Optou-se inicialmente por dividir os trabalhos em grupos de acordo com os principais tópicos elencados no decorrer da leitura dos resumos, e da análise realizada sobre as palavras chaves. Estas categorizações ocorreram para unir os assuntos mais abordados em cada um dos artigos, e que refletem o estudo do CIM associado as Cidades Inteligentes.

Foram agrupados em Conceituação (Artigos que apresentam em sua estrutura revisões bibliográficas referentes a terminologia de CIM, Modelos de Informação e *Digital Twins*), Integração (Artigos que apresentam conceitos relacionados a interoperabilidade BIM e GIS, integração entre CityGML e IFC), Modelagem e Dados Urbanos (Construção de Modelos, modelos simulações, Potencialidades do uso do CIM, Estudos de Caso, e que apresentem formas de aquisição e visualização de dados urbanos) e Gestão Urbana e Cidades Inteligentes (Artigos que estejam diretamente ligados ao planejamento urbano e aos processos de gerenciamento de ativos da cidade) e Tecnologias Emergentes (Artigos que tenham a aplicação clara de determinada tecnologia, como o uso de IA, IoT, Blockchain e Big Data).

A conceituação é uma fase importante da pesquisa, principalmente pelo CIM ainda ser um paradigma em desenvolvimento, e apresentar em seu conceito uma ramificação de

conexões necessárias. Mesmo sendo um termo relativamente recente, o CIM ganha espaço nas pesquisas científicas, assim como para os desenvolvedores de plataformas e softwares. Diversos autores têm buscado uma resposta para esse paradigma, Khemlani (2005), Gil, Beirão, Montenegro e Duarte (2010), Hisham (2010), Gil, Almeida e Duarte (2011), Stavric et al. (2012), Stojanovski (2013), Xu, Ding, Luo e Ma (2014), Thompson et al. (2016), Almeida e Andrade (2018), Jaime (2019) dentre outros.

A interoperabilidade aparece nos artigos associados principalmente a vinculação de “dados” e integradas a composição semântica dos dados, a associação de GIS, CAD e BIM. Assim como a integração de metadados. Com foco em processos de colaboração e processos de automatização. Foram identificados os artigos que apresentam conceitos relacionados a interoperabilidade BIM e GIS, integração BIM e CIM e interoperabilidade entre CityGML e IFC, apresentação de novas tecnologias e tendências.

Os modelos de dados urbanos 3D estão sendo usados para diversas análises e em diversos aplicativos, principalmente para os estudos urbanos baseados em datadriven. Dentro de dados é importante destacar a questão da informação, Isikdag et al. (2007) apresenta conceitos relacionados a dados integrados, e que para construção de modelos de informação o primeiro nível e a determinação da informação (isto é, se ela é textual, numérica, geométrica ou espacial), além da quantidade e a forma da informação (arquivo, banco de dados) e o uso da informação. A partir do momento que se determina a necessidade o uso da informação, a segunda ação seria selecionar o método apropriado para conseguir integrar as camadas de dados.

Psyllidis et al. (2022) apresentam que parte da complexidade apresentada nas cidades contemporâneas referem-se à quantidade de dados que refletem no desempenho de cada sistema urbano. A medida que as cidades produzem mais dados, mais complexas elas se tornam, principalmente por exigir sistemas mais sofisticados para o gerenciamento e análise desses dados. As cidades inteligentes dependem diretamente desses dados, como através da instalação de sensores, com semáforos inteligentes, sistemas de transporte público mapeados e integrados, além de sensores que podem monitorar a qualidade do ar, e até mesmo os padrões climáticos de determinada região.

As cidades precisam desenvolver sistemas robustos de gerenciamento de dados e empregar analistas de dados qualificados para que essa quantidade de dados não seja inutilizada. Reforçando a importância da segurança dos dados, pois quando maior a quantidade de dados maior o potencial de violação.

Dentre as estratégias para o gerenciamento de dados urbanos, incluem os processos de coletas, armazenamento, análise e compartilhamento dos dados, à vista disso é importante definir os requisitos de infraestrutura, quais serão as políticas de privacidade e segurança do uso e disseminação dos dados. A coleta de dados relevantes também faz parte deste processo, existem diversas fontes de coleta de dados, como os sensores, sistema de monitoramento, as redes sociais dentre outros. Entretanto, a coleta requer atenção principalmente para evitar a sobrecarga de informações e garantir que os processos de análise sejam eficazes.

O armazenamento dos dados é outro fator importante, é necessário armazenar os dados de forma segura e confiável, com a utilização de servidores seguros, criptografias, sistemas de blockchain e a realização de backups regulares. O blockchain é uma tecnologia de registro distribuído que permite a criação de registros imutáveis e seguros. As informações

armazenadas em um blockchain não podem ser alteradas ou excluídas, garantindo a integridade dos dados.

A análise de dados é um passo essencial para a gestão dos dados urbanos. Pois é através da análise que é possível obter insights que podem auxiliar nas tomadas de decisões e na resolução dos problemas (CAI et al., 2021).

A publicação e disseminação das informações é algo extremamente relevante, e que isso ocorra de forma transparente, o que pode auxiliar na construção de confiança entre os atores envolvidos, além de aumentar a colaboração entre as partes interessadas, sendo fundamental o envolvimento da comunidade no processo de gerenciamento, como através de políticas e consultas públicas aos grupos interessados.

Sem dúvidas é importante a discussão sobre os gêmeos digitais que é um conceito futuro da digitalização dos elementos, processos e sistemas de entidades físicas para criar e aplicar simulações digitais de modelos.

As otimizações da capacidade dos serviços de informação da cidade podem ajudar no processo de modernização das cidades, além de processos aos avanços tecnológicos podem efetivamente resolver uma série de problemas das cidades, além de auxiliar em questões urbanas específicas de determinadas cidades, como também aumentar a sua competitividade (GU, et al. 2020; ESSIEN, et al. 2021).

Dentre os pilares que definem o conceito de cidade está a governança inteligente, que se baseia em ferramentas baseadas em IA e incorporadas ao conceito de gêmeos digitais, para permitir uma melhor comunicação com os atores da cidade, e as explicações dos processos urbanos. Entretanto analisa uma lacuna existente no desenvolvimento de tecnologias e ferramentas baseada em IA que permitam solucionar problemas urbanos, ou atuar como ferramenta importante. Nas pesquisadas destacam que o papel da formação da sustentabilidade foi comprovado.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com base na avaliação deste estudo, pode-se concluir que os modelos de informação podem impactar nas atitudes e no comportamento dos atores da cidade, e que as ferramentas tecnológicas podem educar as pessoas e principalmente motiva-las a serem partes dessa construção, tanto dos modelos de informações de cidades, como de futuramente de cidades mais inteligentes, o que as torna facilitadoras do processo de planejamento urbano. São fundamentais abordagens estratégicas para introduzir ferramentas que possibilitem esse processo. As ferramentas podem desempenhar um papel vital para a construção de cidades resilientes, sustentáveis e inteligentes, principalmente pelo fato de visualização dos desafios que a cidade terá ao longo do tempo. As ferramentas de dados, visualização e monitoramento são ferramentas de apoio aos processos de gestão, e sem dúvidas geram mudanças comportamentais em todos os atores urbanos.

Diante disso, a construção de uma plataforma de Modelagem da Informação da Cidade, percorre principalmente os campos do gerenciamento digital dos ativos urbanos, que precisam apoiar uma gestão colaborativa entre diversos departamentos, setores da sociedade e atores, além de permitir a participação pública e dinâmica da população.

O CIM pode ser uma tendência relevante para as cidades inteligentes, principalmente por ser uma ferramenta importante de promoção da informação e gestão inteligente de cidades.

O CIM integra todos os modelos espaciais urbanos, desde da integração do BIM, até as funções de visualização, análise e parametrização de dados. Além do modelo ser uma grande base de dados, no qual é possível obter informações para melhorar o desenvolvimento das cidades.

A partir desta pesquisa foi possível obter uma visão geral das pesquisas sobre a relação entre os o CIM e as cidades inteligentes, além de identificar algumas lacunas existentes na literatura, atendendo assim aos objetivos propostos inicialmente.

Ao analisar os artigos foi possível verificar que alguns autores propõem caminhos diferentes para a adoção dos modelos de informação de cidades e que existem diversos caminhos propostos que podem ser seguidos para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

A análise sistemática dos artigos permitiu identificar algumas lacunas na literatura, principalmente nos artigos relacionados ao grupo de gestão urbana, no qual alguns autores compreendem uma visão ainda simplista e limitada dos modelos de informação aplicadas as cidades, apenas como a reprodução de um ambiente em forma digital tridimensional. O que conforme a bibliografia é uma versão limitada da aplicação e utilização desses modelos, no qual a tecnologia de gêmeos digitais e a construção de modelos de informações de cidades está voltada para a digitalização de componentes, produtos e sistemas físicos com a geração de modelos computacionais, e assim replicar a realidade por meio de simulações das condições de uso e operação das cidades.

Mesmo que grande parte das pesquisas ainda sejam de cunho teórico e exploratório sobre os conceitos do CIM, ou de outros termos como os gêmeos digitais e as cidades inteligentes, a exploração parcial da construção de modelos para testes tem se desenvolvido principalmente nos últimos dois anos, com o objetivo de criar soluções para o desenvolvimento de modelos de informação. Neste caso destaca-se a importância da redução de custo e tempo na produção de informações geográficas, que para muitos estudos e construção de modelos ainda é um problema, as novas tecnologias mostram grandes possibilidades referentes as ações transformadoras do espaço urbano que elas podem trazer.

Ao se tratar de banco de dados urbanos é fundamental que todos os dados possuam informação que sejam lidas e interpretadas por processos de “machine learning”, cada informação deve ter qualidade e garantia de confiabilidade desta informação. E parte das pesquisas devem se desenvolver nesta área, com o objetivo de melhores plataformas para aquisição e visualização de dados.

## 5 Referências

ALIZADEHSALEHI, S. E YITMEN, I. Digital twin-based progress monitoring management model through reality capture to extended reality technologies (DRX). Smart and Sustainable Built Environment Emerald Publishing Limited, Vol. ahead-of-print, 2021.

ALMEIDA, F. A. S.; ANDRADE, M. L. V. X. Considerações sobre o conceito de City Information Modeling. In: InSitu – Revista Científica do Programa de Mestrado Profissional em Projeto, Produção e Gestão do Espaço Urbano, 4(1), São Paulo, 2018, p. 21-38.

BEIRÃO, J. N.; MENDES, L. e CELANI, G. 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, v. 10, n. 2, p. 101-112, jul./dez. 2015.

BEIRÃO, J. N.; MONTENEGRO, N.; ARROBAS, P. “City Information Modeling: parametric urban models including design support data”. In: Conferência da Rede Lusófona de Morfologia Urbana. Anais Eletrônicos, Lisboa, 2012.

CAI, Y.; HUANG, H.; WANG, K.; ZHANG, C.; FAN, L.; GUO, F. Selecting Optimal Combination of Data Channels for Semantic Segmentation in City Information Modelling (CIM). *Remote Sens.* 2021, **13**, 1367.

CAPDEVILA, I.; ZARLENGA, M.I. Smart city or smart citizens? The Barcelona case. *Journal of Strategy and Management*, v. 8, n.3, p. 266-282, 2015.

DANTAS, H.S, SOUSA, J.M, MELO, H. C. The importance of city information modeling (CIM) for cities' sustainability IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., Institute of Physics Publishing, 2019.

DAWOOD, N; RAHIMIAN, F; SEYEDZADEH, S; SHEIKHKHOSHKAR, M. Enabling the development and implementation of Digital Twins. Proceedings of the 20th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality. Tesside University Press, Middlesbrough, 2020.

DRESCH, A; LACERDA, D. P.; ANTUNES JUNIOR, J. A. V. **Design Science Research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia.** Porto Alegre: Bookman, 2015.

FAHIMNIA, B., SARKIS, J., DAVARZANI, H. Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics.* 162, 101-114, 2015.

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.

GIFFENDER, R.; FERTNER, C.; KRAMAR, H.; KALASEK, R.; PICHLER-MILANOVIĆ, N.; MEIJERS, E. Smart cities: ranking of european medium-sized cities. Centre Of Regional Science At The Vienna University Of Technology. Vienna, 2007. Disponível em: <http://www.smart-cities.eu>. Acesso em: 5 nov. 2017.

HISHAM, A. The new trend of CIM. In: Ahmad's Findings. 2010. Disponível em: <http://ahmadfindings.blogspot.com.br/2010/05/new-trend-of-cim.html>. Acesso em: 20 set. 2018.

KHEMLANI, L. Hurricanes and their aftermath: how can technology help?. *AECbytes*, Sep. 2005 (29/09/2005). Disponível em: <http://aecbytes.com/buildingthefuture/2005/HurricaneTechHelp.html>. Acesso em: 21 out. 2017.  
ISIKDAG, U.; ZLATANOVA, S.; UNDERWOOD, J. An opportunity analysis on the future role of BIMs in urban data management. *Urban Reg. Data Manag. UDMS Annu.* (2011), pp. 25-36, 2011.

JAIME, I. S. **As cidades contemporâneas e suas tecnologias: A perspectiva do City Information Modeling.** Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2019.

MATTERN, S. **A city is not a computer: other urban intelligences.** Places Books, Princeton, NJ: Princeton University Press, 2021.

PSYLLIDIS, A., GAO, S., HU, Y. ET AL. Points of Interest (POI): a commentary on the state of the art, challenges, and prospects for the future. *Comput.Urban Sci.* 2, 20 (2022).

STAVRIC, M.; MARINA, O.; MASALA, E.; KARANAKOV, B. From 3D building information modeling towards 5D city information modeling. In: BILLEN, R.; CAGLIONI, M., et al (Ed). *3D Issues in Urban and Enviromental Systems.* Bolonha, Itália: Esculapio, 2012.

STOJANOVSKI, T. City Information Modeling (CIM) and Urbanism: blocks, connections, territories, people and situations. In: *Symposium on Simulation for Architecture and Urban Design, San Diego, Anais eletrônico*, 2013.

STOJANOVSKI, T. City information modelling (CIM) and urban design morphological structure, design elements and programming classes in CIM. *ECAADE 2018 Comput, A BETTER TOMORROW*, pp. 507-516, 2018.

XU, X.; DING, L.; LUO, H.; MA, L. From Building Information Modeling to City Information Modeling. *Journal of Information Technology in Construction*, 16v. 19, p. 292-307, 2014.

XUE, F; WU, L; LU, W. Semantic enrichment of building and city information models: a ten-year review. *Adv. Eng. Inf.*, 47, Article 101245, 2021.