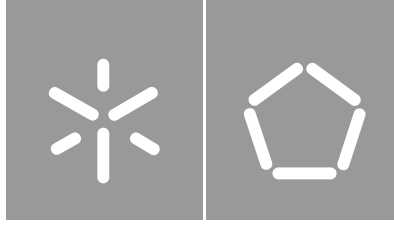




Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Adriana Faria Salles

Integração da Avaliação da Sustentabilidade Urbana no conceito City Information Modelling



Universidade do Minho

Escola de Engenharia

Adriana Faria Salles

**Integração da Avaliação da
Sustentabilidade Urbana no conceito
City Information Modelling**

Dissertação de Mestrado
Construção e Reabilitação Sustentáveis

Trabalho efetuado sob a orientação do
**Professor Doutor Luís Manuel Bragança de Miranda
e Lopes**

DIREITOS DO AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.



**Atribuição
CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

AGRADECIMENTOS

Este trabalho marca o início de um recomeço de vida. Foi com muita dedicação, empenho, sorrisos e lágrimas que cheguei até aqui, e contei com apoio de muitas pessoas para que tudo isso fosse possível. Gostaria de demonstrar minha gratidão a todas as pessoas que direta, ou indiretamente fizeram parte desse percurso.

Ao Professor Luís Bragança agradeço pela orientação e disponibilidade para elaboração desta dissertação. Muito obrigada pelos conselhos, ensinamentos, questionamentos, correções no uso do Português PT, todos estes foram contributos muito valiosos para a conclusão deste trabalho.

Aos meus amores, Manuel, Nuno e Matheus dedico este trabalho. Vocês são minha força! Ao meu marido, Manuel, um agradecimento especial por ser meu companheiro, por me apoiar nas minhas decisões, por me acompanhar nas aventuras da vida, e por estar ao meu lado sempre. Aos meus filhos, Nuno e Matheus, agradeço por ser a mãe de vocês! Vocês me fazem querer ser uma pessoa melhor todos os dias, e mesmo quando penso que não tenho forças, vocês estão sempre a me mostrar que tenho mais força do que imaginava.

Um agradecimento especial à minha amiga, que o mestrado me presenteou, Arlen Gutierrez. Obrigada por me ajudar quando mais precisei!

Aos meus pais agradeço por todo apoio que sempre me deram. Mesmo com toda a distância que nos separa, vocês estão sempre presentes na minha vida. Obrigada por me incentivarem e apoiarem as minhas decisões.

E por último, mas não menos importante, gostaria de agradecer ao meu amigo, Arthur Brito, por te me apresentado a sustentabilidade!

DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

RESUMO

As cidades estão em constante transformação, são mecanismos vivos que se adaptam e transformam muito rapidamente. Em contrapartida, a gestão pública das cidades não acompanha com a mesma velocidade seus processos de transformação. Dentro deste contexto, torna-se necessária a utilização de ferramentas de gestão e planeamento urbano que respondam a essas demandas de transformação e que estejam alinhadas com o desenvolvimento urbano sustentável. Neste sentido, as tecnologias de informação e comunicação trazem diferentes soluções para dar respostas às crescentes necessidades de planeamento e gestão urbanas. Dentre as diversas soluções existentes, o *City Information Modelling* – CIM aparece como um conceito para modelagem da informação de espaços urbanos. A proposta do CIM é ter as informações em um modelo digital que possibilite uma melhor integração dos interlocutores e facilite a troca de informação. Assim, planeamento, operação e manutenção dos espaços urbanos podem ser feitos de forma eficiente, inteligente e sustentável.

A fim de analisar a incorporação de critérios de avaliação da sustentabilidade urbana em modelos digitais de informação, o presente estudo escolheu a metodologia SBTool^{PT} Urban (*Sustainable Building Tool*) propondo um método de cálculo de seus indicadores e parâmetros através do CIM. O objetivo do estudo consiste em desenvolver uma plataforma CIM capaz de realizar estes cálculos, tendo como resultado a proposta de um método. Por forma a validar o método proposto, foram analisados todos os indicadores e parâmetros do SBTool^{PT} Urban e verificada a possibilidade de cada um deles ser calculado através do CIM. Os indicadores e parâmetros foram classificados como “SIM”, “NÃO” ou “PARCIALMENTE” e foi feita a aplicação do método em um deles, o I9 – Distribuição de espaços verdes, para exemplificação. A análise concluiu que dos 52 parâmetros, dentre os 41 indicadores, pelo menos 28 parâmetros podem ser calculados através do método proposto e mais 6 podem parcialmente.

Pretende-se que o método proposto sirva como base para novos estudos de integração da avaliação da sustentabilidade urbana com modelos digitais de informação. Além disso, espera-se que o método auxilie na adoção de sistemas de avaliação da sustentabilidade, nomeadamente o SBTool^{PT} Urban, através da automatização do cálculo dos seus indicadores e parâmetros, facilitando o processo de avaliação, tomadas de decisão e a integração entre os diversos interlocutores.

Palavras-chave City Information Modelling, desenvolvimento sustentável, avaliação da sustentabilidade urbana, SBTool^{PT} Urban, modelos de informação

ABSTRACT

Cities are in constant transformation; they are living mechanisms that adapt and transform very quickly. On the other hand, the public management of cities does not follow their transformation processes with the same speed. Within this context, it is necessary to use management and urban planning tools that respond to these transformation demands and are aligned with sustainable urban development. In this regard, information and communication technologies bring different solutions to the growing urban planning and management needs. Among the various existing solutions, City Information Modeling – CIM emerges as a concept for modeling the information of urban spaces. CIM's proposal is to have the information in a digital model that allows better stakeholder integration and facilitates information exchange. Thus, urban space planning, operation, and maintenance are done efficiently, intelligently, and sustainably.

To analyze the incorporation of urban sustainability assessment criteria into digital information models, this study chose the SBTool^{PT} Urban methodology (Sustainable Building Tool), proposing a method for calculating its indicators and parameters through the CIM. This study aims to develop a CIM platform capable of performing these calculations, resulting in the proposal of a method. In order to validate the proposed method, all the indicators and parameters of the SBTool^{PT} Urban were analyzed and the possibility of each one of them being calculated through the CIM was verified. The indicators and parameters were classified as “YES”, “NO” or “PARTIALLY”, then the method was applied to one of them, I9 – Distribution of green spaces, as an example. The analysis concluded that of the 52 parameters, among the 41 indicators, at least 28 parameters can be calculated through the proposed method and another 6 can be partially calculated.

It is intended that the proposed method will serve as a basis for further studies on the integration of urban sustainability assessment with digital information models. In addition, it is expected that the method will help in the adoption of sustainability assessment systems, namely the SBTool^{PT} Urban, by automating the calculation of its indicators and parameters, facilitating the evaluation process, decision-making, and integration between the various stakeholders.

Keywords: City Information Modelling, sustainable development, urban sustainability assessment, SBTool^{PT} Urban, information modelling

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
LISTA DE ABREVIACÕES.....	xiii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento da proposta	1
1.2 Contexto e relevância do tema.....	2
1.3 Objetivos.....	4
1.4 Estruturação do trabalho	5
2 ESTADO DA ARTE.....	7
2.1 Desenvolvimento urbano sustentável	7
2.2 Indicadores da sustentabilidade urbana	9
2.3 Sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana.....	11
2.3.1 LEED Neighborhood Development (LEED ND)	11
2.3.2 BREEAM Communities (BREEAM CM).....	13
2.3.3 SNTool	14
2.3.4 SBTool ^{PT} Urban	18
2.4 City Information Modelling.....	21
2.4.1 Conceitos.....	21
2.4.2 Aplicações do CIM: Casos de Estudo da Literatura e Exemplos Práticos	23
2.4.2.1 Casos de Estudo da Literatura	24
2.4.2.2 Exemplos Práticos	26
2.5 Plataformas para implementação do CIM	29
2.5.1 BIM	29
2.5.2 GIS	30

2.5.3 Interoperabilidade	31
2.5.4 Software Comercial	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 Considerações gerais	34
3.2 Definição de ferramentas BIM e GIS para composição do CIM	35
3.2.1Autodesk Revit.....	35
3.2.2CADMAPPER.....	36
3.2.3Dynamo	37
3.3 Identificação dos indicadores do SBTool ^{PT} Urban	37
4 MÉTODO PROPOSTO.....	39
4.1 Descrição do método	39
4.2 Classificação dos indicadores e parâmetros do SBTool ^{PT} Urban	42
4.2.1Análise dos indicadores	45
4.3 Estudo de caso: aplicação do método.....	88
5 CONCLUSÕES, CONTRIBUTOS E PERSPETIVAS FUTURAS.....	93
5.1 Conclusões e principais contributos.....	93
5.2 Perspetivas para trabalhos futuros.....	96
REFERÊNCIAS	97
ANEXO.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01. Níveis de exposição a material particulado em suspensão nas áreas urbanas Adaptado de The Sustainable Development Goals Report 2022 (2022.....	02
Figura 02. Estrutura de avaliação da metodologia SBTool ^{PT} Urban Adaptado de Bragança (2017).....	19
Figura 03. Ilustração Helsinki 3D (City of Helsinki, 2019).....	27
Figura 04. Virtual Singapore – análise do potencial de produção de energia solar (Singapore Government, 2021).....	28
Figura 05. Integração BIM e GIS dentro do conceito CIM (X. Xu et al., 2014).....	32
Figura 06. Plataforma CIM proposta.....	39
Figura 07. Imagem aérea da zona selecionada para caso de estudo.....	89
Figura 08. Caracterização das áreas verdes de acordo com o parâmetro criado <i>IsGreenArea</i>	90
Figura 09. Caracterização da informação na rotina do Dynamo.....	90
Figura 10. Cálculo da percentagem de áreas verdes P_{EV}	91
Figura 11. Normalização e escala qualitativa.....	92
Figura 12. Zona selecionada para caso de estudo.....	103
Figura 13. Informações e visualização prévia.....	104

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 01. Estrutura LEED ND versão 4 Adaptado de LEED ND v4 Checklist (USGBC, 2022).....	12
Tabela 02. Estrutura BREEAM CM Adaptado de BREEAM Communities Technical Manual (BRE, 2012).....	13
Tabela 03. Estrutura SNTool Adaptado de iisBE (2019).....	15
Tabela 04. Estrutura da metodologia SBTool ^{PT} Urban Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	19
Tabela 05. Escala de avaliação qualitativa Adaptada de Bragança & Mateus (2018).....	41
Tabela 06. Classificação dos parâmetros.....	42
Tabela 07. Lista de verificação para cálculo do Índice do Potencial de Captação Solar Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	45
Tabela 08. Lista de verificação para cálculo do Índice do Potencial de Captação Solar Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	46
Tabela 09. Lista de verificação para cálculo do Índice de Promoção da Conectividade Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	47
Tabela 10. Lista de verificação para cálculo do Índice de Monitorização Ambiental Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	53
Tabela 11. Lista de verificação para cálculo do Índice de Eficiência Energética em espaços públicos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	54
Tabela 12. Lista de verificação para cálculo do Índice de desempenho do sistema de Gestão Centralizada de Energia Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	55
Tabela 13. Lista de verificação para cálculo do Índice de Consumo de Água Potável Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	56
Tabela 14. Lista de verificação para cálculo do Índice de gestão de efluentes e permeabilização de solos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	58
Tabela 15. Lista de verificação para cálculo do Índice de Desempenho do Sistema de Gestão Centralizado de Água Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	59
Tabela 16. Percentagem de Materiais Sustentáveis em Espaços Públicos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	60

Tabela 17. Lista de verificação para cálculo do Índice de valorização de RCD Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	62
Tabela 18. Lista de verificação para cálculo do Índice de Gestão de RSU Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	62
Tabela 19. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade do Ar Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	64
Tabela 20. Lista de verificação para cálculo do Índice de Conforto Térmico Exterior Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	66
Tabela 21. Lista de verificação para cálculo do Índice de Redução da Poluição Sonora Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	66
Tabela 22. Lista de verificação para cálculo do Índice de Redução da Poluição Luminosa Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	67
Tabela 23. Lista de verificação para cálculo do Índice de Segurança nas Ruas Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	68
Tabela 24. Lista de verificação para cálculo do Índice de Riscos e Planos de Evacuação Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	69
Tabela 25. Tabela de cálculo do Índice de Proximidade a Serviços Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	70
Tabela 26. Tabela de cálculo do Índice de Proximidade a Equipamentos de Lazer Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	71
Tabela 27. Lista de verificação para cálculo do Índice de Promoção de Hortas Comunitárias Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	73
Tabela 28. Lista de verificação para cálculo do Índice de Acessibilidade a Transportes Públicos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	74
Tabela 29. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade dos Transportes Públicos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	74
Tabela 30. Lista de verificação para cálculo do Índice de Acessibilidade Pedestre Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	75
Tabela 31. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade da Rede de Ciclovias Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	76
Tabela 32. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade dos Espaços Públicos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	79

Tabela 33. Lista de verificação para cálculo do Índice de Valorização do Património Adaptada de Guia de Avaliação SBTool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	81
Tabela 34. Lista de verificação para cálculo do Índice de Participação dos Vários Elementos da Sociedade no Projeto Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)....	82
Tabela 35. Lista de verificação para cálculo do Índice de Viabilidade Económica Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	83
Tabela 36. Lista de verificação para cálculo do Índice de Diversidade de Usos Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	83
Tabela 37. Lista de verificação para cálculo do Índice de Promoção da Economia Local Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	84
Tabela 38. Lista de verificação para cálculo do Índice de Sustentabilidade do Edificado Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	85
Tabela 39. Lista de verificação para cálculo do Índice de Utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação Adaptada de Guia de Avaliação SBtool ^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018).....	86
Tabela 40. Resultado da classificação dos parâmetros.....	87

LISTA DE ABREVIações

BIM – Building Information Modelling

BREEAM – Building Research Establishment's Environmental Assessment Method

CAD – Computer-aided Design

CIM – City Information Modelling

CityGML – City Geography Markup Language

CSI – City Sustainability Index

GIS – Geographic Information System

iSBE – International Initiative for a Sustainable Building Environment

IFC – Industry Foundation Classes

IoT – Internet of Things

ITU – International Telecommunication Union

LEED – Leadership in Energy and Environmental Design

NUA – New Urban Agenda

ODS – Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

SBTool – Sustainable Building Tool

SNTool – Sustainable Neighborhood Tool

SC – Smart Cities

SDGs – Sustainable Development Goals

1 INTRODUÇÃO

Este primeiro Capítulo tem o propósito de introduzir o tema objeto de estudo, fazendo um enquadramento da proposta, bem como o contexto e relevância do tema. Em seguida são identificados os objetivos desta dissertação e apresenta-se a estrutura do trabalho.

1.1 Enquadramento da proposta

Datando da revolução neolítica, os primeiros assentamentos humanos surgiram com o advento da agricultura e da produção de alimentos. Viver em aglomerados sempre trouxe inúmeros benefícios aos seres humanos, que vão desde o acesso aos bens públicos, alimentos, abrigo até à proteção e segurança dos habitantes. Desde o início, as cidades têm sido impulsionadoras de evoluções tecnológicas, palco de manifestações sociais e culturais, e também do intercâmbio de bens, pessoas e ideias (Bosker, 2022). Em contrapartida, a expansão das áreas urbanas contribui substancialmente para a redução dos recursos naturais, bem como para destruição do meio ambiente (Yigitcanlar, 2019).

Tendo em vista a importância das cidades para os seres humanos, bem como os impactos causados pela vida urbana, entende-se a razão pela qual o desenvolvimento urbano sustentável está na ordem do dia. Cada vez mais presente nos relatórios internacionais e políticas públicas, a sustentabilidade urbana exerce um papel fundamental no combate às mudanças climáticas (Sharifi, 2021). Considera-se até que não há outra alternativa para o desenvolvimento urbano que não tenha a sustentabilidade como principal objetivo (Yigitcanlar, 2019).

Toda esta atenção dada ao desenvolvimento urbano sustentável também se reflete no interesse pelo desenvolvimento de indicadores, métodos, ferramentas e sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana (Sharifi, 2021). Estes por sua vez, são excelentes instrumentos auxiliares na implementação das práticas sustentáveis, oferecendo a urbanistas e legisladores assistência nos processos de tomada de decisão, identificação de áreas prioritárias, transparência nos processos, além da possibilidade de monitorização e de medição dos resultados (Salati et al., 2022; Sharifi, 2021).

Entretanto, a implementação de sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana é muitas vezes um processo moroso, burocrático e complicado. Além disso, para superar os desafios impostos pelo desenvolvimento sustentável é preciso que haja uma mudança nas formas de planejar e gerir as

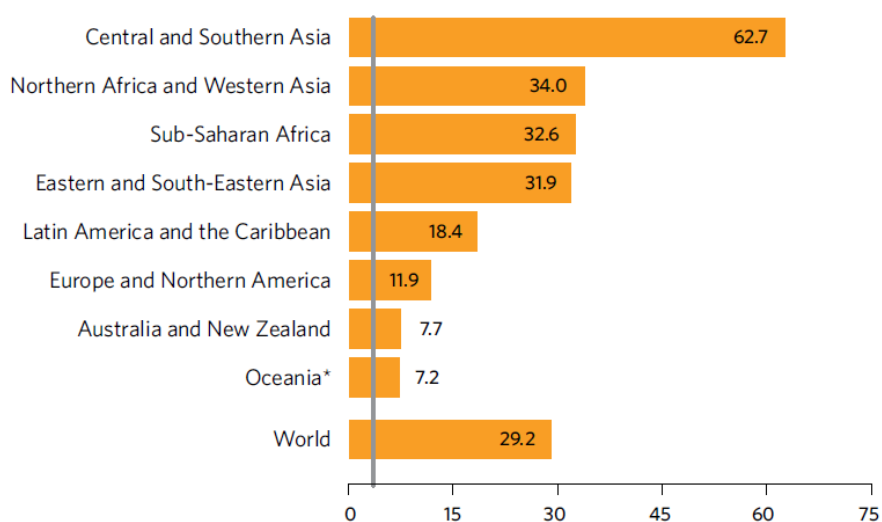
idades, de modo que sejam mais eficientes e inovadoras (Sharifi, 2019). Neste sentido, a utilização de soluções inteligentes, que integrem tecnologias de informação e comunicação e que sejam facilitadoras dos processos, é uma alternativa para a implementação das práticas sustentáveis nas cidades.

1.2 Contexto e relevância do tema

O mundo está cada vez mais urbanizado. De acordo com as Nações Unidas, metade da população mundial vive hoje em centros urbanos. Em 2050, a expectativa é que aproximadamente 70% da população mundial viverá em cidades (United Nations, 2021). No contexto europeu este número é ainda maior, e estima-se que a população urbana seja em torno de 85% da população europeia (European Commission, 2020).

Além desta concentração populacional, também é nas cidades que a maior parte das atividades humanas acontecem, e como consequência, o maior consumo de recursos naturais, emissão de poluentes (Figura 01) e geração de resíduos (Ketzler et al., 2020). É de se notar que, apesar de ocuparem apenas 3% do território do planeta, as cidades consomem entre 60 a 80% de energia e são responsáveis por 70% da emissão de gases de efeito estufa relacionados com a atividade humana (United Nations, 2019).

Annual exposure to particulate matter (PM_{2.5}) in urban areas, three-year average from 2017 to 2019 (micrograms per cubic metre)



* Excluding Australia and New Zealand.

Note: The vertical line represents WHO's new air quality guidelines value for particulate matter (PM_{2.5}) of 5 micrograms or less per cubic metre.

Figura 01. Indicadores de poluição do ar | Adaptado de The Sustainable Development Goals Report (2022)

Dentre os grandes desafios enfrentados pelas cidades em todo mundo destacam-se a rápida transformação, o aumento populacional, o consumo de recursos, a emissão de poluentes, o combate à pobreza, às desigualdades sociais e às mudanças climáticas, além da implementação de estratégias para descarbonização. Estes temas estão na ordem do dia e aparecem presentes nas agendas de gestores urbanos.

Se por um lado as cidades são grandes emissoras de poluentes e consumidoras de recursos, por outro são impulsionadoras de evoluções. Isto faz com que apresentem um imenso potencial para implementação de estratégias voltadas ao desenvolvimento sustentável, ao promoverem a integração de diferentes setores de atividade, o investimento em infraestruturas mais complexas, além de terem uma escala suficiente para implementação de projetos pilotos (European Commission, 2020). Ainda, o ciclo de vida dos espaços urbanos é muito maior que o ciclo de vida dos edifícios, desta forma as intervenções feitas dentro de um contexto urbano serão mais duradouras e conseqüentemente, terão um maior impacto, seja ele positivo ou negativo.

Neste sentido, para que os desafios sejam superados e os objetivos do desenvolvimento da humanidade sejam alcançados é preciso que as cidades atuem como vetores de transformação. Esta ambição é tema de dois programas das Nações Unidas: os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS ou SDGs, em inglês), particularmente o Objetivo 11 - Cidades e Comunidades Sustentáveis, e a Nova Agenda Urbana (*New Urban Agenda* - NUA). Ambos indicam o papel que as cidades exercem no desenvolvimento sustentável e resiliente, na melhoria da qualidade de vida e saúde de seus habitantes, e também na proteção do meio ambiente (United Nations (Habitat III), 2017). Entretanto, combater os desafios e alcançar os objetivos de desenvolvimento urbano sustentável é complexo, moroso e requer a intervenção empenhada de muitos e diferentes interlocutores. Desafios e objetivos são interdependentes, uma vez que, as cidades são baseadas em múltiplos sistemas que estão interligados e dependem uns dos outros (Gil, 2020).

Para lidar com a complexidade das respostas às questões referidas e ao mesmo tempo estar alinhada com os objetivos da Nova Agenda Urbana (NUA) e do desenvolvimento sustentável, a gestão e planeamento das cidades deve envolver todos os intervenientes, atuando de modo transversal, com políticas transparentes, com ferramentas apropriadas e informações acessíveis. Assim, a adoção de tecnologias de informação e comunicação facilitam a troca de informação entre os diversos

intervenientes, melhorando a gestão e o planeamento urbano e tornando as cidades mais inteligentes, resilientes e sustentáveis (Morphet & Morphet, 2019).

Alinhados com estas premissas, os modelos de informação urbana, nomeadamente o *City Information Modelling* (CIM), são capazes de armazenar e fornecer dados de forma eficaz e transparente. Quando são inseridos critérios de análise da sustentabilidade urbana nos modelos de informação, as avaliações são mais precisas, rápidas e geridas com maior facilidade. Assim, integrar a análise da sustentabilidade urbana num modelo CIM pode trazer grandes benefícios, tais como, uma maior adoção dos sistemas de avaliação, a facilidade de implementação destes e a sua utilização como ferramenta de tomada de decisão.

1.3 Objetivos

A integração de sistemas de informação com ferramentas de avaliação da sustentabilidade urbana tem aparecido como tema de recentes estudos. Pedro et al. (2018) estudaram a aplicação do sistema americano LEED (*Leadership in Energy and Environmental Design*) *Neighborhood Development* para avaliar os subdistritos da cidade de Lisboa, utilizando a modelagem GIS como ferramenta de suporte ao processo. Posteriormente, os mesmos autores testaram combinar o uso de outro sistema de avaliação da sustentabilidade urbana, o britânico BREEAM (*Building Research Establishment's Environmental Assessment Method*) *Communities*, com ferramentas GIS. Mais uma vez tendo como caso de estudo a cidade de Lisboa, a proposta foi identificar as áreas com prioridade de intervenção para implementação de práticas sustentáveis, esta identificação teve o suporte do GIS e os critérios do BREEAM (Pedro et al., 2019). Nos dois estudos, os autores concluíram que a utilização de ferramentas GIS com sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana pode auxiliar processos de tomada de decisão, bem como indicar potenciais áreas para intervenção e implementação de práticas sustentáveis.

Um outro estudo que mostra a integração da sustentabilidade urbana com modelos de informação é a dissertação de mestrado de Sirakova (2018). A autora desenvolveu uma ferramenta para análise térmica do espaço urbano no conceito de CIM. Para validação da ferramenta, a autora escolheu a Estação da Trindade do Metro, da cidade do Porto, e a praça ao redor. Como conclusão, a autora indica que a ferramenta proposta pode ser utilizada para processos de tomada de decisão na avaliação do conforto térmico urbano.

O ponto comum entre os três trabalhos acima referidos está em agregar nos modelos digitais de informação critérios de avaliação da sustentabilidade urbana, de modo a facilitar os processos de análise e de tomadas de decisão e, ao mesmo tempo, promover a sustentabilidade urbana. Alinhado a estes princípios, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a possibilidade de automatização dos cálculos dos indicadores da metodologia SBTool^{PT} Urban utilizando o CIM como modelo digital de informação. O resultado é a proposta de um método de cálculo tendo como ferramenta o CIM. A escolha pelo SBTool^{PT} Urban foi motivada pelo facto de que é uma metodologia aberta e adaptável, alinhada com os principais sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana e com indicadores de sustentabilidade nacionais e internacionais. Ademais, é uma metodologia adaptada ao contexto português.

O desenvolvimento do método foi feito em quatro etapas. A primeira etapa consiste na composição da plataforma CIM onde foram integrados os parâmetros para cálculo dos indicadores do SBTool^{PT} Urban. Para tal, foi feito um estudo para identificação das ferramentas capazes de atender à modelação dos espaços urbanos. A segunda etapa consiste na identificação dos indicadores que podem ser calculados através do modelo digital. A terceira etapa é a programação do modelo para cálculo dos indicadores. E por fim, é apresentado o processo de cálculo através do modelo. De modo a validar e exemplificar a utilização do método, é feita a seleção de um indicador do SBTool^{PT} Urban para ser calculado no modelo CIM.

A proposta é que o método seja aplicado em novos estudos de integração da avaliação da sustentabilidade urbana com modelos de informação. Espera-se ainda que o método seja um facilitador da implementação da metodologia SBTool^{PT} Urban, através da automatização do cálculo dos seus indicadores, de modo a tornar o processo de avaliação mais célere, além de auxiliar os processos de tomada de decisão e a integração entre os diversos interlocutores.

1.4 Estruturação do trabalho

O trabalho apresenta-se estruturado em cinco Capítulos, a saber:

- Capítulo 1:

Enquadramento do trabalho, contextualização e justificativa do tema, descrição dos objetivos do estudo.

- Capítulo 2:

Este Capítulo apresenta o contributo das cidades para o desenvolvimento sustentável, bem como as ferramentas que auxiliam no processo de implementação de estratégias de sustentabilidade no espaço urbano. Além disso, é feito o enquadramento do estado atual do desenvolvimento do conceito de CIM, suas aplicabilidades e exemplos de implementação pelo mundo.

- Capítulo 3:

Aqui está detalhada a metodologia adotada para o desenvolvimento do método para automatização do cálculo dos indicadores do SBTool^{PT} Urban. Também estão descritos os processos adotados para determinação das ferramentas, e para a avaliação dos indicadores que podem ser calculados com o uso do modelo CIM.

- Capítulo 4:

Neste Capítulo é apresentado o método proposto para automatização do cálculo dos indicadores do SBTool^{PT} Urban. A validação e exemplificação do método proposto é feita através de sua aplicação ao cálculo de um indicador.

- Capítulo 5:

Por fim, o último Capítulo traz as conclusões do trabalho e as perspectivas de investigação futura para o desenvolvimento do método proposto.

2 ESTADO DA ARTE

Este Capítulo apresenta a revisão da literatura relacionada com a sustentabilidade urbana. Mostra-se a importância das cidades para o desenvolvimento sustentável e os principais instrumentos de avaliação e medição, tais como, indicadores e sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana. Além disso, é apresentado o conceito de *City Information Modelling*, bem como seu atual estado de desenvolvimento.

2.1 Desenvolvimento urbano sustentável

O conceito de desenvolvimento sustentável ganhou projeção mundial com o Relatório de Brundtland, onde se definiu que o desenvolvimento sustentável é aquele que “responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de resposta das gerações futuras às suas próprias necessidades” (WCED, 1987). Antes porém, Allen (1980) definiu o desenvolvimento sustentável como aquele que satisfaz as necessidades humanas e promove a melhoria na qualidade de vida, sob a condição de que os ecossistemas e espécies sejam utilizados a níveis em que mantenham sua capacidade de se regenerar. Estes dois conceitos estabelecem uma relação entre a qualidade de vida e a preservação dos ecossistemas que, aliada ao desenvolvimento económico, formam as três dimensões da sustentabilidade (Mori & Christodoulou, 2012).

Conforme indicado na secção 1.2 do capítulo anterior, as cidades possuem um papel fundamental no desenvolvimento sustentável. São, ao mesmo tempo, grandes consumidores de energia e recursos, geradores de resíduos e poluentes, mas são também os locais onde se pode atuar de forma eficaz no combate às mudanças climáticas, bem como na implantação de medidas sustentáveis. De acordo com Ahern (2011), os desafios da sustentabilidade serão ganhos ou perdidos nas cidades. Assim, para serem consideradas sustentáveis, as cidades devem manter o equilíbrio entre as atividades económicas, o crescimento populacional, infraestruturas e serviços, poluição e geração de resíduos, ao mesmo tempo, devem limitar ao máximo os impactos negativos causados ao meio ambiente. (Hiremath et al., 2013). Ainda segundo os autores, o desenvolvimento sustentável urbano é caracterizado pelo equilíbrio entre o desenvolvimento das áreas urbanas e a proteção do meio ambiente, mantendo a equidade nos salários, empregos, habitações, serviços básicos e infraestrutura, e transportes. Entender as cidades como sistemas, assim como, as relações entre pessoas, suas atividades e o meio ambiente é a chave para alcançar o desenvolvimento urbano sustentável (Ahvenniemi et al., 2017).

O tema da sustentabilidade urbana vem ganhando atenção com um considerável aumento de publicações e pesquisas nas últimas décadas (Sharifi, 2021). É notável o esforço que tem sido feito no desenvolvimento de indicadores, métodos, ferramentas e sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana (Sharifi, 2021). Também se nota um crescente interesse por parte de planeadores urbanos, autarcas e gestores públicos na temática da sustentabilidade urbana. Desde a cimeira do Rio de Janeiro, em 1992, Agenda 21, onde se reconheceu a significância das cidades para o desenvolvimento sustentável, diversas outras cimeiras vêm discutindo e reiterando a importância do tema, é o caso do Acordo de Paris, a Agenda 2030 das Nações Unidas e a Nova Agenda Urbana (Sharifi et al., 2021).

De modo a avaliar, estabelecer prioridades e comunicar as ações ligadas ao desenvolvimento sustentável, muitos planeadores e gestores urbanos utilizam ferramentas de avaliação da sustentabilidade. Estas ferramentas também auxiliam no envolvimento e empenho dos diversos intervenientes na procura pela sustentabilidade urbana. Neste contexto, os indicadores possuem um papel fundamental na avaliação da sustentabilidade, uma vez que através deles é possível medir e extrair as informações referentes à implementação de práticas sustentáveis nas áreas urbanas (Hiremath et al., 2013). Entretanto, os sistemas possuem diversas abordagens, critérios e indicadores, o que muitas vezes é um problema quando se busca um olhar mais holístico sobre os desafios e demandas urbanas (Ahvenniemi et al., 2017).

Nesta procura pela sustentabilidade urbana, muitas cidades têm investido em tecnologias digitais, que entregam soluções mais ou menos integradas, aumentando a eficiência das operações urbanas e tornando as cidades mais 'inteligentes' e sustentáveis (Marsal-Llacuna et al., 2015). Este termo, 'cidades inteligentes' ou '*smart cities*' (SC) tem sido cada vez mais usado dentro do planeamento urbano, e muitas vezes é associado à melhoria da qualidade das cidades e de seus planos.

De acordo com União Internacional de Telecomunicações (*International Telecommunication Union – ITU*), o conceito de cidade inteligente e sustentável está relacionado com as "cidades que são inovadoras e utilizam tecnologias de informação e comunicação para promover a qualidade de vida, eficiência nas operações urbanas, garantindo o atendimento das necessidades presentes e futuras, respeitando os aspetos económicos, sociais, ambientais e culturais" (International Telecommunication Union, 2015). Em termos gerais, as cidades inteligentes são aquelas que utilizam as tecnologias de informação e comunicação em favor do planeamento e das operações urbanas, conectando serviços e utilizadores de forma a oferecer melhores infraestruturas e qualidade de vida aos seus habitantes.

Ainda se poderia dizer que, estas cidades são mais bem planeadas, mais interativas, mais resilientes e sustentáveis.

No contexto nacional Português, o Plano de Ação para Transição Digital (Conselho de Ministros n.º30/2020, 2020) define as estratégias para a transição digital do país, com foco em três pilares: capacitação digital das pessoas, transformação digital das empresas e digitalização do Estado. Uma das medidas previstas neste último é a definição e implementação da Estratégia Nacional de Smart Cities – *From Smart Cities to Smart Nation* (Conselho de Ministros n.º30/2020, 2020). O Despacho no. 1369-A/2022 cria um grupo de trabalho para apresentar uma proposta de Estratégia Nacional para as Cidades Inteligentes, no âmbito do Plano de Ação para Transição Digital, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros no. 30/2020. Com base em tecnologias digitais, a estratégia pretende ser o instrumento para “proporcionar serviços públicos mais centrados nas pessoas, inclusivos, sustentáveis e interoperáveis (...), contribuindo para a transição digital da administração local” (Diário da República, 2022).

Alinhado com os objetivos das cidades inteligentes, o conceito de *City Information Modelling* (CIM) aparece como um dos componentes destas cidades. Segundo Almeida & Andrade (2018), para implantação de uma cidade inteligente plena é preciso uma visão sistémica das redes de informação, estabelecendo-se uma visão holística de um modelo de informação da cidade, este modelo seria o CIM. Kehmlani (2016) propõe que CIM é uma das componentes tecnológicas que proporcionará o acontecimento das *smart cities* (SC).

2.2 Indicadores da sustentabilidade urbana

Um indicador é uma característica específica, observável e mensurável que pode ser usada para demonstrar alterações ou progressos para se alcançar um objetivo específico. O indicador deve ser claro, específico e com foco (UN Women, 2010). Indicadores podem ser considerados como parâmetros ou valores que fornecem a informação acerca de um fenómeno, cujo propósito é demonstrar como um sistema está a funcionar (Hiremath et al., 2013).

Indicadores de sustentabilidade urbana são ferramentas que permitem mensurar os impactos e desempenhos económicos, sociais e ambientais das cidades (Yigitcanlar & Dur, 2010). Estas ferramentas vêm sendo desenvolvidas tanto para indicar o nível de sustentabilidade de uma cidade,

quanto permitir que as cidades comparem as melhores soluções e encontrem as melhores práticas (Ahvenniemi et al., 2017). São auxiliares no diagnóstico de problemas, identificação de áreas prioritárias para intervenções e seu monitoramento, além de serem um método comprovado para impulsionar a sustentabilidade urbana (Science for Environment Policy, 2018). Em termos conceituais, os indicadores podem auxiliar a estruturação e entendimento de problemas, interpretação de tendências e soluções, e implementação de políticas sustentáveis. Um sistema de indicadores pode servir como legitimador de políticas existentes (Holden, 2013). Tendo em consideração que a sustentabilidade urbana está relacionada não só aos fatores ambientais, mas também aos sociais e econômicos, os indicadores urbanos também devem estar relacionados com estes (Mega & Pedersen, 1998).

Existem diversos conjuntos indicadores e índices relacionados à sustentabilidade urbana. Estes, podem variar em função do propósito fundamental, abordagem para medir a sustentabilidade, a escala de aplicação e a seleção dos indicadores. Desta forma, gestores urbanos devem primeiramente entender o propósito para o qual os indicadores podem ser utilizados para então poder escolher quais são os mais adequados (Science for Environment Policy, 2018).

Mori & Christodoulou (2012) propõe a criação de um Índice de Sustentabilidade da Cidade (*City Sustainability Index – CSI*) baseado nos principais indicadores/índices em termos de aplicabilidade para sustentabilidade urbana. O CSI proposto por estes autores deve satisfazer os seguintes critérios: considerar o tripé da sustentabilidade pela perspectiva do conceito de sustentabilidade, considerar os efeitos em outras áreas além da ambiental, deve ter o propósito original de avaliar a sustentabilidade da cidade, e por último, deve ter a capacidade de avaliar as cidades em todo mundo de maneira equitativa.

De modo a promover uma abordagem holística e integrada ao desenvolvimento urbano sustentável, a ISO (*International Organization for Standardization*) desenvolveu uma série de normas, que incluem indicadores para os serviços e qualidade de vida das cidades (ISO 37120), indicadores para cidades inteligentes (ISO 37122) e indicadores para cidades resilientes (ISO 37123). Dentre as três destaca-se a ISO 37120 como uma contribuição para a sustentabilidade urbana. Esta norma serve como referência para os indicadores de alguns sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana, como é o caso do SBTool^{PT} Urban.

2.3 Sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana

Os sistemas de avaliação da sustentabilidade são ferramentas que auxiliam no processo de implementação das estratégias sustentáveis, quer seja na escala do edifício, quer seja na urbana. Através deles é possível reunir as informações, reportá-las e verificar o perfil sustentável de um empreendimento, bem como utilizá-las num processo de tomada de decisão durante as diferentes etapas da construção, projeto e operação de edifícios e áreas urbanas (Bragança et al., 2010). Estes sistemas começaram por atuar na escala do edifício, mas nos últimos anos expandiram-se para a escala urbana. Diversos estudos corroboram o facto de que a avaliação da sustentabilidade urbana não deve ser feita analisando edifícios isoladamente ou uma síntese de edifícios, é preciso ter uma visão mais abrangente e holística das cidades (Ameen et al., 2014; Gil & Duarte, 2013; Haapio, 2012).

Na escala urbana, estes métodos de avaliação podem facilitar os processos de tomada de decisão, melhorando a transparência e assertividade destes, e possibilitam aos planeadores urbanos e legisladores rastrear os progressos na implementação da sustentabilidade. Além disso, promovem oportunidades para os diferentes intervenientes ao definir a estratégia sustentável de um empreendimento, principalmente durante as fases de planeamento e projeto (Sharifi, 2021).

Existe um grande número de sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana em todo o mundo, e inúmeras pesquisas têm sido feitas dentro desta temática. De modo geral, para se mensurar a sustentabilidade urbana a abordagem mais comum é o agrupamento de indicadores sob certos critérios, dentro dos aspetos económico, social e ambiental (Cohen, 2017). Dentre os diversos sistemas existentes pelo mundo, com foco em áreas urbanas, destacam-se aqui, o americano LEED *Neighborhood Development*, o inglês BREEAM *Communities*, a metodologia internacional SBTool (*Sustainable Building Tool*), que deu origem ao SNTool (*Sustainable Neighborhood Tool*) e sistema nacional SBTool^{PT} Urban.

2.3.1 LEED Neighborhood Development (LEED ND)

Lançado em 2009 pelo United States Green Building Council (USGBC), o sistema de avaliação LEED Neighborhood Development (LEED ND) pretende abranger as necessidades e particularidades de bairros e espaços urbanos, auxiliando comunidades a alcançarem as metas de sustentabilidade (USGBC, 2022). Tendo em consideração a importância que bairros e comunidades exercem dentro do

espaço urbano, o uso de ferramentas como o LEED ND pode auxiliar no desenvolvimento sustentável das cidades.

O sistema está dividido em três categorias principais, uma categoria de inovação e uma última de prioridades regionais. Cada categoria possui pré-requisitos, que são obrigatórios, e créditos que fornecem uma pontuação a ser atribuída ao projeto, sumarizados na Tabela 01.

Tabela 01. Estrutura LEED ND versão 4 | Adaptado de LEED ND v4 Checklist (USGBC, 2022) - Continua

Categoria	Pré-requisito/ Crédito	Nome	Pontuação
Localização inteligente e conexões	Pré-requisito	Localização inteligente	Obrigatório
	Pré-requisito	Espécies ameaçadas e comunidade ecológicas	Obrigatório
	Pré-requisito	Conservação de zonas húmidas e cursos d'água	Obrigatório
	Pré-requisito	Conservação de terras agrícolas	Obrigatório
	Pré-requisito	Evitar planícies de inundação	Obrigatório
	Crédito	Localizações preferenciais	10 pontos
	Crédito	Remediação de solo contaminado	2 pontos
	Crédito	Acesso à trânsito de qualidade	7 pontos
	Crédito	Instalações para bicicletas	2 pontos
	Crédito	Proximidade entre residência e locais de trabalho	3 pontos
	Crédito	Proteção de taludes	1 ponto
	Crédito	Projeto de terreno para conservação de habitat ou zonas húmidas e cursos d'água	1 ponto
	Crédito	Restauro de habitat ou zonas húmidas e cursos d'água	1 ponto
	Crédito	Gestão a longo prazo da conservação de habitat ou zonas húmidas e cursos d'água	1 ponto
Padrões e projeto do bairro	Pré-requisito	Ruas andáveis	Obrigatório
	Pré-requisito	Desenvolvimento compacto	Obrigatório
	Pré-requisito	Comunidade conectada e aberta	Obrigatório
	Crédito	Ruas andáveis	9 pontos
	Crédito	Desenvolvimento compacto	6 pontos
	Crédito	Bairros com uso misto	4 pontos
	Crédito	Tipos de residência e valor acessível	7 pontos
	Crédito	Parques de estacionamento com pegada reduzida	1 ponto
	Crédito	Comunidade conectada e aberta	2 pontos
	Crédito	Instalações de trânsito	1 ponto
	Crédito	Gestão da demanda de transportes	2 pontos
	Crédito	Acesso a espaços cívicos e públicos	1 ponto
	Crédito	Acesso a instalações de recreação	1 ponto
	Crédito	Acessibilidade e desenho universal	1 ponto
	Crédito	Envolvimento e alcance da comunidade	2 pontos
	Crédito	Produção local de alimentos	1 ponto
Crédito	Linhas de arborização e sombreamento da paisagem de rua	2 pontos	
Crédito	Escolas no bairro	1 ponto	
Infraestrutura verde e edifícios	Pré-requisito	Edifícios verdes certificados	Obrigatório
	Pré-requisito	Mínimo desempenho energético dos edifícios	Obrigatório
	Pré-requisito	Redução do uso de água no interior das edificações	Obrigatório
	Pré-requisito	Prevenção da Poluição das Atividades de Construção	Obrigatório
	Crédito	Edifícios verdes certificados	5 pontos
	Crédito	Otimização do desempenho energético dos edifícios	2 pontos
	Crédito	Redução do uso de água no interior das edificações	1 ponto

Tabela 01. Estrutura LEED ND versão 4 | Adaptado de LEED ND v4 Checklist (USGBC, 2022) - Continuação

Categoria	Pré-requisito/ Crédito	Nome	Pontuação
	Crédito	Redução do uso de água nas áreas externas	2 pontos
	Crédito	Reutilização do edificado	1 pontos
	Crédito	Preservação de recursos históricos e reuso adaptativo	2 pontos
	Crédito	Minimizar perturbação do local	1 ponto
	Crédito	Gestão de águas pluviais	4 pontos
	Crédito	Redução do efeito de ilha de calor	1 ponto
	Crédito	Orientação solar	1 ponto
	Crédito	Produção de energia renovável	3 pontos
	Crédito	Aquecimento e arrefecimento distrital	2 pontos
	Crédito	Infraestrutura de eficiência energética	1 ponto
	Crédito	Gestão de águas residuais	2 pontos
	Crédito	Reciclagem e reuso da infraestrutura	1 ponto
	Crédito	Gestão de resíduos sólidos	1 ponto
	Crédito	Redução da poluição luminosa	1 ponto
Inovação e processos	Crédito	Inovação	Até 5 pontos
	Crédito	Profissional Credenciado LEED	1 ponto
Prioridade regional	Crédito	Créditos de prioridade regional	Até 4 pontos

2.3.2 BREEAM Communities (BREEAM CM)

BREEAM Communities (BREEAM CM) foi lançado inicialmente em 2008 pelo BRE Global no Reino Unido, e em 2012 a ferramenta passou por um processo de aperfeiçoamento, após avaliação dos utilizadores. É também uma ferramenta de avaliação da sustentabilidade para empreendimentos de maior escala, como bairros, comunidades e áreas urbanas. A metodologia pretende estimular o processo colaborativo, envolvendo projetistas, comunidade, autoridades locais, empreendedores, de forma a auxiliá-los na implementação de estratégias sustentáveis no projeto e construção (BRE, 2013).

Para avaliação da sustentabilidade através do BREEAM CM existem critérios de avaliação do desempenho que são organizados em cinco categorias. Os critérios possuem diferentes pesos, de acordo com a relevância de cada aspeto específico no total dos valores do sistema. A Tabela 02 ilustra o sistema de categorias e pesos do BREEAM CM.

Tabela 02. Estrutura BREEAM CM | Adaptado de BREEAM Communities Technical Manual (BRE, 2012) - Continua

Categoria	Questões	Peso	Créditos disponíveis	Valor para cada crédito
Governança	GO 01 – Plano para consulta	2.3%	1	2.3%
	GO 02 – Consulta e compromisso	3.5%	2	1.7%
	GO 03 – Revisão de projeto	2.3%	2	1.2%
	GO 04 – Gestão comunitária de instalações	1.2%	3	0.4%

Tabela 02. Estrutura BREEAM CM | Adaptado de BREEAM Communities Technical Manual (BRE, 2012) - Continuação

Categoria	Questões	Peso	Créditos disponíveis	Valor para cada crédito
Bem-estar económico e social	SE 01 – Impacto Económico	8.9%	2	4.4%
	SE 02 – Necessidades e prioridades demográficas	2.7%	1	2.7%
	SE 03 – Avaliação do risco de inundações	1.8%	2	0.9%
	SE 04 – Poluição sonora	1.8%	3	0.6%
	SE 05 – Provisão de moradia	2.7%	2	1.4%
	SE 06 – Entrega de serviços, instalações e amenidades	2.7%	7	0.4%
	SE 07 – Domínio público	2.7%	2	1.4%
	SE 08 – Microclima	1.8%	3	0.6%
	SE 09 – Serviços	0.9%	3	0.3%
	SE 10 – Adaptação às mudanças climáticas	2.7%	3	0.9%
	SE 11 – Infraestrutura verde	1.8%	4	0.5%
	SE 12 – Parque de estacionamento local	0.9%	1	0.9%
	SE 13 – Gestão de risco de inundações	1.8%	3	0.6%
	SE 14 – Arquitetura vernacular local	0.9%	2	0.5%
	SE 15 – Projeto inclusivo	1.8%	2	0.9%
	SE 16 – Poluição luminosa	0.9%	3	0.3%
	SE 17 – Treinamento e capacidades	5.9%	3	2%
Recursos e energia	RE 01 – Estratégia energética	4.1%	11	0.4%
	RE 02 – Edifícios e infraestrutura existentes	2.7%	2	1.4%
	RE 03 – Estratégia de água	2.7%	1	2.7%
	RE 04 – Edifícios sustentáveis	4.1%	6	0.7%
	RE 05 – Materiais de baixo impacto	2.7%	6	0.5%
	RE 06 – Eficiência de recursos	2.7%	4	0.7%
	RE 07 – Emissões de carbono no transporte	2.7%	1	2.7%
Uso do solo e ecologia	LE 01 – Estratégia ecológica	3.2%	1	3.2%
	LE 02 – Uso do solo	2.1%	3	0.7%
	LE 03 – Poluição da água	1.1%	3	0.4%
	LE 04 – Aprimoramento do valor ecológico	3.2%	3	1.1%
	LE 05 – Paisagem	2.1%	5	0.4%
	LE 06 – Captação de águas pluviais	1.1%	3	0.4%
Transporte e movimento	TM 01 – Análise dos transportes	3.2%	2	1.6%
	TM 02 – Ruas seguras e atrativas	3.2%	4	0.8%
	TM 03 – Rede de ciclovias	2.1%	1	2.1%
	TM 04 – Acesso ao transporte público	2.1%	4	0.5%
	TM 05 – Instalações para bicicletas	1.1%	2	0.5%
	TM 06 – Instalações para transporte público	2.1%	2	1.1%

2.3.3 SNTool

O SNTool é um sistema voluntário de avaliação e certificação da sustentabilidade na escala urbana, desenvolvido pela associação sem fins lucrativos iSBE (*International Initiative for a Sustainable Building Environment*). Pode ser utilizado por municípios, organizações não governamentais, e projetistas, para avaliar o desempenho de áreas urbanas com base nos critérios de sustentabilidade.

O sistema faz um enquadramento genérico de avaliação, com uma variedade de indicadores máxima de 160 e mínima de 34, atualmente. A determinação da quantidade de indicadores é de acordo com

as necessidades e condições locais. O sistema está montado de modo que, independentemente da quantidade de indicadores selecionados, o somatório dos pesos é sempre 100%. O sistema de pesos quase-objetivo está baseado na extensão, intensidade e duração dos impactos, e assim permite que a ferramenta seja facilmente adaptada às condições locais, trazendo uma maior flexibilidade na sua aplicação (iiSBE, 2019). A tabela 03 ilustra a estrutura mínima de indicadores do SNTTool.

Tabela 03. Estrutura SNTTool | Adaptado de iiSBE (2019) - Continua

CRITÉRIOS		INDICADORES	
A. Contexto e vulnerabilidades	A1. Previsão das alterações climáticas na região	A1.1. Previsão de alterações nas temperaturas de verão no ambiente regional	Previsão de alterações nas temperaturas de verão no ambiente regional sob IPCC RCP 2.5 e RPC 6.0 cenários para 2050
	A2. Vulnerabilidade a eventos de inundações	A2.2. Percentagem máxima de edifícios expostos a maiores danos causados por inundações fluviais	Percentagem máxima de edifícios com estrutura ou maioria de componentes interiores expostos a maiores danos causados por inundações fluviais
	A3. Vulnerabilidade a eventos de ventanias	A3.1. Edifícios sujeitos a maiores danos causados por ventanias	Edifícios com estrutura ou maiores componentes secundários expostos a maiores danos causados por ventanias
	A6. Vulnerabilidade a terremotos	A6.1. Edifícios sujeitos a maiores danos causados por terremotos	Edifícios com componentes estruturais sujeitos a maiores danos causados por terremotos
B. Sistemas urbanos construídos	B1. Estrutura e forma urbana	B1.4. Densidade residencial	Rácio entre o total da população residencial relativa a área total de intervenção para todos os empreendimentos residenciais na área local
		B1.7. Diversidade urbana	Índice de diversidade urbana
		B1.8. Conservação do solo	Área de solo não desenvolvida com valor ecológico ou agrícola/ área do bairro
	B2. Infraestrutura de transporte	B2.1. Distância andável a transportes públicos por área de residentes	Típica distância andável para uma amostra de edifícios residenciais até a paragem de transporte público mais próxima
		B2.2. Distância andável a transportes públicos para trabalhadores e estudantes	Típica distância andável para principais espaços educacionais e locais de trabalho até a paragem de transporte público mais próxima para uma amostra de residentes
		B2.4. Extensão e conectividade de ciclovias separadas do tráfego de veículos	Comprimento agregado de ciclovias separadas do tráfego de veículos na área por 1000 residentes
		B2.6. Parque na rua e em parques de estacionamento cobertos relativos a população local	Rácio entre estacionamento na rua e parques de estacionamento cobertos relativo ao total da população residente e que trabalha na área

Tabela 03. Estrutura SNTool | Adaptado de iiSBE (2019) - Continuação

CRITÉRIOS		INDICADORES	
	B3. Outras infraestruturas locais	B3.2. Disponibilidade e acesso a sistema público de coleta e tratamento de esgoto	Disponibilidade e acesso a sistema público de coleta e tratamento de esgoto para todos edifícios permanentes na área
		B3.4. Disponibilidade e acesso a sistemas públicos de telecomunicações	Disponibilidade e acesso a sistemas públicos de telecomunicações para todos edifícios permanentes na área
		B3.5. Disponibilidade e acesso a infraestrutura de energias renováveis	Disponibilidade e acesso a fornecedores público ou privado de energias renováveis para todos os edifícios permanentes na área
C. Economia	C1. Estrutura e valor económicos	C1.2. Disponibilidade de residências com aluguel acessível	Porcentagem da média salarial do menor quintil da população usado para pagamento de aluguel
		C3. Custos e investimentos	
		C3.1. Provisão de unidades de habitação social	Adequabilidade do financiamento anual para unidades de habitação social em relação ao total de investimento em unidades de habitação
		C3.3. Custos de operação de energia para edifícios públicos	Custos operacionais agregados de energia por área útil
D. Energia	D1. Energia não renovável agregada	D1.7. Demanda de energia primária para aquecimento de edifícios residenciais	Rácio entre a média do total de consumo de energia primária para aquecimento de edifícios pelo valor mínimo local (%)
		D1.10. Demanda de energia primária para arrefecimento de edifícios não residenciais	Rácio entre a média total de consumo de energia primária para arrefecimento de edifícios não residenciais pelo valor mínimo local (%)
		D1.11. Demanda de energia primária para AQS em edifícios residenciais	Rácio entre a média total de consumo de energia primária para AQS em edifícios residenciais pelo valor mínimo local (%)
	D2. Energia renovável e descarbonizada	D2.1. Parcela de energia renovável gerada no local, relativa ao total final de consumo de energia para operação de todos os edifícios	Consumo total anual de energia renovável gerada no local/ consumo anual total de energia térmica
		D2.4. Parcela de energia renovável gerada no local, relativa ao total de consumo de energia primária para operação dos edifícios	Consumo anual de energia primária proveniente de fontes renováveis de energia geradas no local/ consumo anual de energia primária
		D2.7. Parcela de energia renovável gerada no local, relativa ao total final de consumo de energia elétrica	Consumo anual total de energia elétrica proveniente de fontes renováveis de energia geradas no local/ consumo total anual de energia elétrica
E. Recursos não renováveis	E1. Água potável, águas pluviais e águas residuais	E1.5. Consumo de água potável por unidade residencial	Consumo anual de água potável por unidade residencial

Tabela 03. Estrutura SNTTool | Adaptado de iiSBE (2019) - Continuação

CRITÉRIOS		INDICADORES	
	E3. Consumo, reuso e manutenção de recursos	E3.1. Consumo de materiais provenientes de recursos não renováveis para construção e renovação de edifícios	Consumo agregado de materiais provenientes de recursos não renováveis para construção ou renovação de edifícios
	F2. Impactos ambientais	F2.5. Efeito de ilha de calor na área	Aumento do aquecimento atmosférico local durante o verão
	F3. Qualidade ambiental no exterior	F3.1. Concentração de partículas <2.5 µm (PM2.5) no período de um ano	Número de dias no ano que excedem o limite diário
		F3.11. Condições de ruído ambiente no período noturno	Proporção da população exposta a níveis não recomendados de ruído noturno
	F4. Emissões Atmosféricas	F4.2. Agregado de emissões de provenientes do uso de energia primária em operações de edifícios	Emissões equivalentes de CO2 por área útil por ano
		F4.5. Agregado de emissões anuais de GHG provenientes do uso de veículos particulares	Agregado de emissões de GHG provenientes do combustível de veículos particulares
G. Aspectos Sociais	G1. Segurança e acessibilidade	G1.1. Acessibilidade e uso de edifícios chave por pessoas com deficiência física	Percentagem de edifícios chave público, comercial e residencial que são acessíveis para uso por pessoas com deficiência física
		G1.4. Facilidade no acesso e uso de transporte público por pessoas com deficiência física	Características dos transportes públicos para facilitar o acesso à pessoas com deficiência física, como autocarros com piso baixo e entradas largas
	G2. Tráfego e mobilidade	G2.1. Acesso à serviços de transporte público	Percentagem de habitantes que estão entre uma distância andável de 400 metros de pelo menos uma paragem de transporte público
		G2.4. Qualidade das vias pedonais e rede de ciclovias	Total de metros de passeio dedicado ao caminho de peões e ciclovias por 100 habitantes
	G4. Instalações e serviços públicos e privados	G4.1. Proximidade de locais de serviços chave para residentes	Percentagem de edifícios residenciais localizados numa distância andável de 300 m de locais de serviços chave
		G4.2. Disponibilidade de uma diversa variedade de bens e serviços na área	Número de diferentes tipos de lojas, comércio e serviços por hectare na área
G4.3. Disponibilidade e proximidade a serviços públicos chave		Percentagem de habitantes que estão numa distância andável de 800 metros para, pelo menos, 3 serviços público chave	

2.3.4 SBTTool^{PT} Urban

É um sistema voluntário, voltado para escala urbana, onde são quantificados diversos indicadores considerados os mais importantes na avaliação das questões ambientais, sociais e económicas. Adaptado à realidade portuguesa, a Associação iiSBE Portugal, em cooperação com outras instituições nacionais, desenvolveu o SBTTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018). O sistema de certificação acontece na etapa de projeto, sendo avaliada em dois momentos possíveis: projeto preliminar e projeto detalhado (Bragança, 2017). A metodologia pode ser aplicada tanto no planeamento de novas áreas urbanas como na requalificação ou regeneração de áreas existentes (Bragança & Mateus, 2018). Conforme descrito no Guia de Avaliação os objetivos gerais da metodologia são:

“Avaliar a organização do espaço urbano e as condições que proporciona para os seus utilizadores; garantir a preservação do meio ambiente no meio urbano; salvaguardar a qualidade de vida dos habitantes em meio urbano; promover o desenvolvimento económico do território; suportar as decisões das equipas de projeto na adoção de soluções mais sustentáveis de planeamento urbano” (Bragança & Mateus, 2018).

É uma metodologia original que considerou em sua elaboração métodos internacionais de avaliação e certificação da sustentabilidade urbana, nomeadamente o SBTTool, BREEAM Communities e LEED ND. Além disso, foi estruturada com base nas diferentes estratégias políticas (nacionais, europeias e internacionais) e indicadores de sustentabilidade aplicáveis à realidade portuguesa (Bragança, 2017). A avaliação está estruturada na hierarquia Dimensão – Categoria - Indicador (Figura 02), onde o primeiro nível se refere às três dimensões fundamentais da sustentabilidade (Ambiental, Social e Económica), em seguida as categorias reúnem os indicadores correspondentes, e o último nível, dos indicadores, aponta para os impactos relacionados com aspetos específicos de cada categoria (Bragança, 2017). O processo de avaliação é feito em três etapas: na primeira etapa é feita a quantificação do desempenho ao nível dos indicadores. Na segunda etapa é quantificado o desempenho das categorias, dimensões do desenvolvimento sustentável e quantificação do Nível de Sustentabilidade (NS). Na última etapa é feito o preenchimento do Certificado de Sustentabilidade (Bragança & Mateus, 2018).



Figura 02. Estrutura de avaliação da metodologia SBTool^{PT} Urban | Adaptado de Bragança (2017)

A metodologia apresenta um total de 39 indicadores, distribuídos entre 12 categorias no âmbito das 3 dimensões (ambiental, social e económica). Além disso, existe um critério extra, com duas categorias e mais dois indicadores. No total, 41 indicadores compõem o sistema, que está sumarizado na Tabela 04.

Tabela 04. Estrutura da metodologia SBTool^{PT} Urban | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

DIMENSÃO	CATEGORIA	INDICADOR	PARÂMETRO
DA - Ambiental	C1 – Forma Urbana	I1 – Planeamento Solar Passivo	Índice de potencial de captação solar
		I2 – Potencial de Ventilação	Índice do potencial de ventilação
		I3 – Rede Urbana	Índice de interseções reais Índice de promoção da conectividade
	C2 – Uso do Solo e Infraestruturas	I4 – Aptidão Natural do Solo	Percentagem de solo apropriado à sua aptidão natural
		I5 – Densidade e Flexibilidade de Usos	Percentagem de eficiência do uso de solo
			Percentagem de área com flexibilidade de usos
		I6 – Reutilização de Solo Urbano	Percentagem de solo contaminado
		I7 – Reutilização do Edificado	Percentagem de construções existentes que serão reutilizadas
	I8 – Rede de Infraestruturas Técnicas	Percentagem de otimização de infraestruturas técnicas	
	C3 – Ecologia e Biodiversidade	C3 – Ecologia e Biodiversidade	I9 – Distribuição de Espaços Verdes
I10 – Conectividade de Espaços Verdes			Percentagem de espaços verdes conectados

Tabela 04. Estrutura da metodologia SBTool^{PT} Urban | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

DIMENSÃO	CATEGORIA	INDICADOR	PARÂMETRO
		I11 – Vegetação Autóctone	Percentagem de Vegetação Autóctone
		I12 – Monitorização Ambiental	Índice de monitorização ambiental
	C4 - Energia	I13 – Eficiência Energética	Índice de eficiência energética em espaços públicos
		I14 – Energias Renováveis	Percentagem de energia consumida proveniente de energias renováveis produzidas localmente
		I15 – Gestão Centralizada de Energia	Índice de desempenho do sistema de gestão centralizadas de energia
	C5 – Água	I16 – Consumo Eficiente de Água Potável	Índice de consumo de água potável
		I17 – Gestão de Efluentes	Percentagem de áreas de infiltração Índice de gestão de efluentes e permeabilidade do solo
		I18 – Gestão Centralizada da Água	Índice de desempenho do sistema de gestão centralizada de água
	C6 – Materiais e Resíduos	I19 – Materiais de Baixo Impacte	Percentagem área/volume de materiais sustentáveis nos espaços públicos
		I20 – Resíduos de Construção e Demolição	Percentagem de incorporação de inertes reciclados Índice de valorização de RCD
		I21 – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos	Índice de gestão de RSU
DS - Social	C7 – Conforto Exterior	I22 – Qualidade do Ar	Índice de qualidade do ar
		I23 – Conforto Térmico Exterior	Percentagem de espaços que proporcionam conforto térmico exterior Índice de conforto térmico exterior
		I24 – Poluição Acústica	Índice de redução da poluição sonora
		I25 – Poluição Luminosa	Índice de redução da poluição luminosa
	C8 – Segurança	I26 – Segurança nas Ruas	Índice de segurança nas ruas
		I27 – Riscos Naturais e Tecnológicos	Índice de riscos e planos de evacuação
	C9 – Amenidades	I28 – Proximidade a Serviços	Índice de proximidade de serviços
		I29 – Equipamentos de Lazer	Índice de proximidade de equipamentos de lazer
		I30 – Produção Local de Alimentos	Índice de produção local de alimentos Índice de promoção de hortas comunitárias
	C10 – Mobilidade	I31 – Transportes Públicos	Índice de acessibilidade a transportes públicos Índice de qualidade dos transportes públicos
		I32 – Acessibilidade Pedestre	Índice de acessibilidade pedestre
		I33 – Rede de Ciclovias	Índice de qualidade da rede de ciclovias
	C11 – Identidade Local e Cultural	I34 – Espaços Públicos	Índice de espaços públicos abertos Disponibilidade de espaços públicos por habitante Índice de qualidade dos espaços públicos
		I35 – Valorização do Património	Índice de valorização do património

Tabela 04. Estrutura da metodologia SBTool^{PT} Urban | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

DIMENSÃO	CATEGORIA	INDICADOR	PARÂMETRO
		I36 – Inclusão e Integração Social	Percentagem de habitações para integração e inclusão social Índice de participação dos elementos da sociedade
DE - Económica	C12 – Emprego e Desenvolvimento Económico	I37 – Viabilidade Económica I38 – Economia Local I39 – Empregabilidade	Índice de viabilidade económica Índice de diversidade de usos Índice de promoção da economia local Percentagem de emprego no local
Critérios Extras/ Avaliação complementar	C13 – Edifícios C14 - Ambiente	I40 – Edifícios Sustentáveis I41 – Gestão Ambiental	Índice de sustentabilidade do edificado Índice de utilização de tecnologias de informação e comunicação

Apesar de ser uma metodologia aberta e adaptada ao contexto local, fazer uma avaliação da sustentabilidade urbana através do SBTool^{PT} Urban é um processo moroso e muitas vezes ineficiente. Além disso, ao se fazer uma alteração no projeto é preciso refazer todo o processo de avaliação, o que desencoraja as equipas de projeto a melhorarem o desempenho sustentável do empreendimento. Assim, tornar o processo mais célere e eficiente é importante para aumentar a sua adesão por parte dos projetistas, comunidade, autoridades locais e empreendedores em Portugal.

A sustentabilidade urbana é tema recorrente nas agendas de autarcas, legisladores, gestores e planeadores urbanos, e também pesquisadores. Por forma a auxiliar a implementação de práticas sustentáveis, tem sido constante o desenvolvimento e aprimoramento de ferramentas de avaliação da sustentabilidade urbana. Estas ferramentas também ajudam a estabelecer prioridades de atuação nos espaços urbanos, comunicar as ações ligadas ao desenvolvimento sustentável, além de promoverem o envolvimento e a participação dos diversos intervenientes na procura pela sustentabilidade urbana. Integrar essas ferramentas às emergentes tecnologias de informação e comunicação promove um aumento na eficiência das operações urbanas e auxilia nos processos de transição digital das cidades, tornando-as mais ‘inteligentes’ e sustentáveis.

2.4 City Information Modelling

2.4.1 Conceitos

O conceito de *City Information Modelling* – CIM possui diversas abordagens e definições na literatura. De modo geral, está alinhado ao uso de informações geoespaciais juntamente com ferramentas digitais

(Gil, 2020). Para Kehmlani (2016), uma das primeiras pessoas a utilizar o acrônimo CIM, o conceito de CIM é análogo ao de BIM (*Building Information Modelling*), porém aplicado à escala urbana. Ainda segundo a autora, o modelo inteligente de cidade deve ser similar aos modelos inteligentes de edifícios e infraestruturas, com informações suficientemente detalhadas capazes de simular vários aspetos da cidade, tais como informações de tráfego, uso de energia, impactos causados por desastres naturais (Kehmlani, 2016).

Stojanovski et al. (2020) considera que o conceito de CIM justapõe os sistemas de informação geográfica (GIS), com o desenho assistido por computador (CAD) e modelação da informação da construção (BIM), sendo a base para criação de ferramentas digitais para planeamento e projeto de cidades inteligentes. Para Xu et al. (2014) o conceito de CIM é inspirado no de BIM, e deve incluir todos os aspetos de informação das cidades, além de ser um método para organizar estas informações. Para tal, estabeleceram a integração de BIM e GIS, onde as informações acerca dos edifícios são disponibilizadas através do BIM e as externas ao edifício são disponibilizadas pelo GIS.

Almeida & Andrade (2018), após avaliação de vários autores, consideram o conceito de CIM como sendo: "um modelo de conhecimento baseado em computação envolvendo processos, políticas e tecnologias e que permite que múltiplas partes interessadas colaborem no desenvolvimento de uma cidade sustentável, participativa e competitiva".

Dall'O' et al. (2020) consideram que o CIM é o mais recente avanço do BIM e destacam o potencial da ferramenta para análise de componentes da cidade, para criação e visualização de modelos tridimensionais ricos em informação. Também ressaltam os benefícios para as câmaras municipais tomarem decisões baseadas em modelos realísticos, além das possibilidades de uso da ferramenta para gestão, monitorização, controlo e manutenção do setor de energia, quer seja na produção, armazenamento, distribuição, ou análise de consumos.

Stojanovski (2018) propõe que o CIM deve vincular as qualidades das cidades que se podem experimentar em três dimensões, com o processo de planeamento e desenvolvimento, regulamentações e projetos. Integrando conhecimento sobre teorias e histórias da forma urbana, métodos de observação e medição, bem como a compreensão dos sistemas naturais em ambientes urbanos.

Ao discutir o planeamento das cidades futuras, Thompson et al. (2016) consideram que se a cidade inteligente pode ser entendida como a transferência da cidade da era analógica para a digital, então o

CIM é a aplicação prática deste processo digital, para a gestão e planeamento do futuro das cidades com a colaboração de seus cidadãos e intervenientes.

Sirakova (2018) propõe que o modelo CIM pode ser considerado como um processo contínuo em desenvolvimento e renovação, assim como as cidades, que são organismos vivos em processo de transformação.

Para Wang & Tian (2021), CIM é uma síntese orgânica de modelos tridimensionais e informações urbanas, a partir da integração de BIM, GIS e IoT (*the Internet of Things*), além outras tecnologias. Os autores enumeram quatro principais características do CIM: multidimensionalidade, visualização, abertura e percepção. Os autores concluem que os modelos de informação das cidades devem ser baseados na integração de dados em várias escalas espaciais, e acrescentam que BIM, GIS e IoT são as tecnologias chave para o uso do CIM.

Apesar de não existir um consenso com relação ao conceito de CIM, a literatura demonstra um entendimento da equivalência ao conceito de BIM, porém aplicado às cidades, e uma tendência em relacionar CIM com a integração entre BIM e GIS (Souza & Bueno, 2022; Z. Xu et al., 2021). Alinhando-se à esta tendência, este estudo considerou o CIM como a integração de ferramentas BIM e GIS.

Mesmo que o termo CIM ainda não seja totalmente adotado por urbanistas, planeadores, pesquisadores e a indústria de software, é de se notar que tem ganho atenção. Isto pode ser evidenciado pelo crescimento no números de pesquisas publicadas sobre o tema recentemente, considerando esta tendência é de se esperar que o interesse continue a crescer (Gil, 2020; Omrany et al., 2022; Souza & Bueno, 2022; Z. Xu et al., 2021). Assim, considera-se que o tema é relevante e que estudar a incorporação de critérios de avaliação da sustentabilidade urbana no conceito CIM pode contribuir para o desenvolvimento do conceito.

2.4.2 Aplicações do CIM: Casos de Estudo da Literatura e Exemplos Práticos

Da mesmo modo que o BIM, o conceito de CIM pode ser aplicado nas diversas etapas do ciclo de vida das cidades: desde o planeamento e projeto, passando pela construção, operação e manutenção (Z. Xu et al., 2021). A grande vantagem está em permitir que os diversos intervenientes tenham acesso a uma base de dados organizada, dinâmica e que facilite a comunicação entre eles.

Em seu estudo, Omrany et al. (2022) identificaram nove principais áreas de estudo para implementação do CIM, a saber: gestão de desastres naturais, construção de modelos urbanos de energia, gestão de instalações urbanas, gestão de infraestruturas urbanas, sistemas de administração territorial, melhorias na qualidade dos microclimas urbanos, desenvolvimento de *digital twins* e cidades inteligentes, melhoria no envolvimento da sociedade, projetos de paisagismo urbano. O estudo aponta também as principais vantagens da aplicação do CIM em cada um dos domínios destacados, concluindo que o CIM oferece melhorias nos processos de tomadas de decisão no planeamento urbano e também nos projetos.

2.4.2.1 Casos de Estudo da Literatura

A literatura apresenta diversas iniciativas para a implementação do CIM. Em sua revisão sistemática, Souza & Bueno (2022) identificam uma série de estudos em diversas partes do mundo com potenciais aplicações do CIM, principais ferramentas e tecnologias utilizadas. Os estudos identificados pelas autoras apresentam as mais diversas aplicações do uso do CIM, desde análise energética para ajustes na produção e armazenamento de energia, outros com foco em infraestrutura de redes de abastecimento de água, energia e redes de esgoto, avaliação de ventilação, exposição solar, áreas verdes. Alguns utilizaram os modelos urbanos para avaliar processos de tomada de decisão, auxílio a políticas regulatórias, apoio ao planeamento de projetos urbanos com participação popular. Também foram identificados estudos de avaliação de riscos, tais como terremotos, incêndios, impactos de inundações, precipitações extremas, elevação do nível do mar.

Z. Xu et al. (2021) apresentam as típicas aplicações do CIM dentro do ciclo de vida das cidades, indicando para cada fase alguns casos de estudo. Na fase de planeamento e projeto, os autores indicam o caso de Helsinquia, na Finlândia, e também de Xiong'na, na China, em ambos os casos a aplicação do CIM seria para apoio dos processos de tomada de decisão no planeamento urbano. Para a fase de construção, os autores trazem o caso de South New Town, em Nanjing, China, neste caso a utilização do CIM se deu para monitoramento e gestão do progresso da construção. E por último, os autores destacam dois casos do uso do CIM na operação e manutenção, o da Universidade Tecnológica de Nanyang, Singapura, onde o modelo CIM auxilia na melhoria energética dos edifícios existentes, e o de Angers, na França, em que a finalidade do modelo CIM é para melhoria na eficiência da gestão pública de serviços (iluminação, água, resíduos, estacionamento, transportes).

Ao identificarem os nove principais domínios de aplicação do CIM, Omrany et al. (2022) enumeram uma série de estudos relacionados com a aplicação do CIM. Na gestão de desastres naturais, os autores indicam o uso do CIM para desenvolvimento de estratégias para resiliência urbana, análise e mitigação de riscos associados a terremotos, gestão de combate a incêndios e riscos de inundações. Na construção de modelos urbanos de energia, destacam o uso da ferramenta para tomada de decisão, bem como para avaliação de cenários para produção de energia. Na gestão de instalações urbanas, foram identificadas três principais áreas para implementação do CIM: gestão inteligente, com a utilização de tecnologias de informação e comunicação, reconstrução de áreas pós-conflitos e preservação de património e áreas históricas. Na gestão de infraestruturas urbanas, os autores indicam uma série de estudos que utilizaram modelos para gestão de infraestruturas e destacam a abordagem integrada do CIM nesta gestão. No domínio da administração de territorial, os autores trazem exemplos do uso de BIM, GIS para digitalização de sistemas de administração territorial e também para incorporar dados cadastrais em modelos tridimensionais. Os autores também destacam a adoção do CIM para melhoria de microclimas urbanos e nos projetos paisagísticos das cidades, com exemplos de estudos que evidenciam o uso da ferramenta para avaliar a qualidade de vida dos cidadãos, promoção de melhores práticas para desenvolvimento urbano e exemplos de infraestrutura verde para melhoria de microclimas e promoção da resiliência urbana. Diversos estudos apresentados pelos autores corroboram o facto do CIM ter um papel fundamental na transição digital das cidades, sobretudo na implementação das *digital twins* urbanas. Na área social, os exemplos fornecidos demonstram como o CIM pode ser empregue para promoção da qualidade de vida nas cidades, especialmente na avaliação de espaços urbanos amigáveis ao envelhecimento da população.

Apesar da literatura demonstrar uma ligação entre CIM e a sustentabilidade urbana, a presente análise não encontrou estudos que utilizaram o CIM para automatizar o cálculo dos sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana. Em contrapartida, existem algumas iniciativas no uso do GIS e sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana, bem como o uso do BIM para avaliar a sustentabilidade das edificações. Pedro et al. (2018) e Pedro et al. (2019) estudaram o uso do GIS para avaliar alguns critérios de dois sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana, o LEED ND, no estudo de 2018, e BREEAM CM, em 2019.

No caso do uso do BIM e sistemas de avaliação da sustentabilidade, a revisão da literatura apresentou várias propostas relacionadas ao tema (Carvalho et al., 2020; Dall'O' et al., 2020). Em seu estudo, Carvalho et al. (2019) analisaram o uso do BIM para otimizar os sistemas de avaliação da

sustentabilidade, tendo como estudo de caso a metodologia SBTTool^{PT} – H, os resultados apresentaram a possibilidade de avaliar 24 de 25 critérios usando o BIM. Alwan et al. (2015) estudaram o uso do BIM para avaliação dos créditos do sistema LEED, os autores concluíram que é possível uma integração do BIM com o LEED e conseguiram avaliar 14 créditos, em um total de 35, diretamente dos modelos BIM.

2.4.2.2 Exemplos Práticos

Apesar do conceito de CIM ser considerado relativamente novo, não existir um consenso acerca dele e ainda estar em fase de desenvolvimento, algumas cidades em várias partes do mundo já apresentam iniciativas dentro de um modelo CIM.

A primeira delas aqui apresentada e, muito provavelmente a pioneira, é a cidade de Helsínquia, na Finlândia. Desde os anos 1980, a cidade vem construindo seu modelo tridimensional e ao longo dos anos o modelo foi-se expandindo não somente em sua área de abrangência, mas também na quantidade de informações adicionadas (City of Helsinki, 2019).

O CIM de Helsínquia utiliza um modelo realístico de alta qualidade, criado através de nuvens de pontos, fotografias aéreas e modelos informatizados dos edifícios, e um modelo semântico que possui as informações das entidades e suas relações e tem como base a linguagem de modelos para sistemas geográficos CityGML (City of Helsinki, 2019; Z. Xu et al., 2021). Enquanto o modelo real pode ser utilizado para diversos serviços *online*, uma vez que está disponível em uma plataforma *web* e também em aplicação móvel que suporte realidade aumentada ou realidade virtual, é através do modelo semântico que são feitas análises, tais como, consumo de energia, gases de efeito estufa, impactos ambientais relacionados com o tráfego automóvel, dentre outras.

Os modelos estão disponíveis para o público, que podem utilizá-los para recolha de dados, base para projetos urbanos, e desta forma o modelo pode ser atualizado constantemente, sendo esta uma das principais vantagens do programa Helsinki 3D (Z. Xu et al., 2021). A Figura 03 ilustra o funcionamento e diversos intervenientes do modelo CIM de Helsínquia.

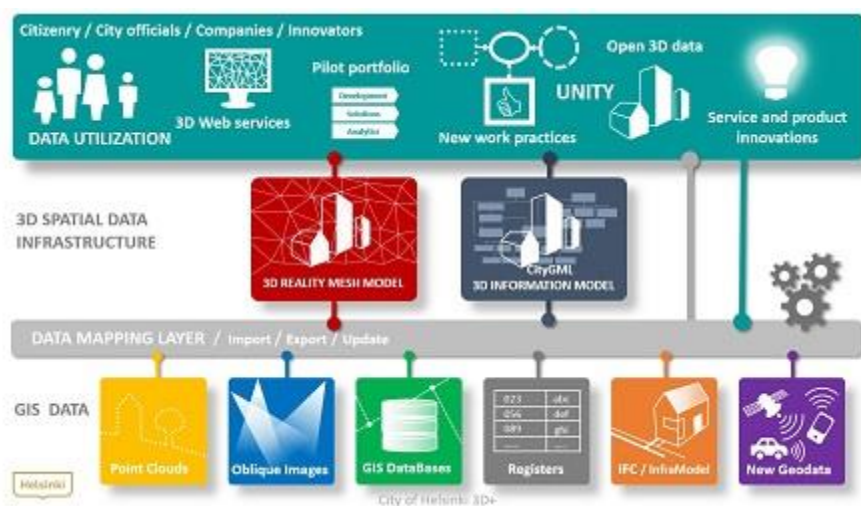


Figura 03. Ilustração Helsinki 3D (City of Helsinki, 2019)

Em linha com o CIM de Helsínquia, Singapura lançou recentemente um modelo dinâmico tridimensional, juntamente com uma plataforma colaborativa de dados, incluindo mapas tridimensionais da cidade. Denominado *Virtual Singapore*, o projeto é liderado pela Fundação Nacional de Pesquisa (NRF – sigla em inglês), além disso o consórcio é formado pela Autoridade Territorial de Singapura (SLA – sigla em inglês) e a Agência Governamental de Tecnologia (GovTech). O projeto ainda está em fase de desenvolvimento e espera-se que, quando concluído, seja utilizado pelos setores público, privado e de investigação e desenvolvimento. A plataforma permite a colaboração das partes interessadas, auxiliando nos processos de tomada de decisão, comunicação e visualização, melhoria na acessibilidade através da identificação de rotas acessíveis para deficientes e idosos, planeamento urbano e análise do potencial para produção de energia solar (Singapore Government, 2021).

O *Virtual Singapore* foca quatro áreas de atuação: *Virtual Experimentation*, com ferramentas para experimentação e testes virtuais; *Virtual Test-bedding*, usado para validar a provisão de serviços; *Planning and Decision-Making*, uma plataforma holística e integrada que possibilita melhores tomadas de decisão e desenvolvimento de aplicações analíticas; *Research and Development*, permite que os investigadores desenvolvam novas tecnologias e ferramentas tridimensionais (Singapore Government, 2021). Dentro da plataforma é possível se obter vários dados e análises, como, por exemplo, a análise do potencial de produção energética, através da implantação de painéis solares nas coberturas dos edifícios de uma zona da cidade, ilustrada pela Figura 04.

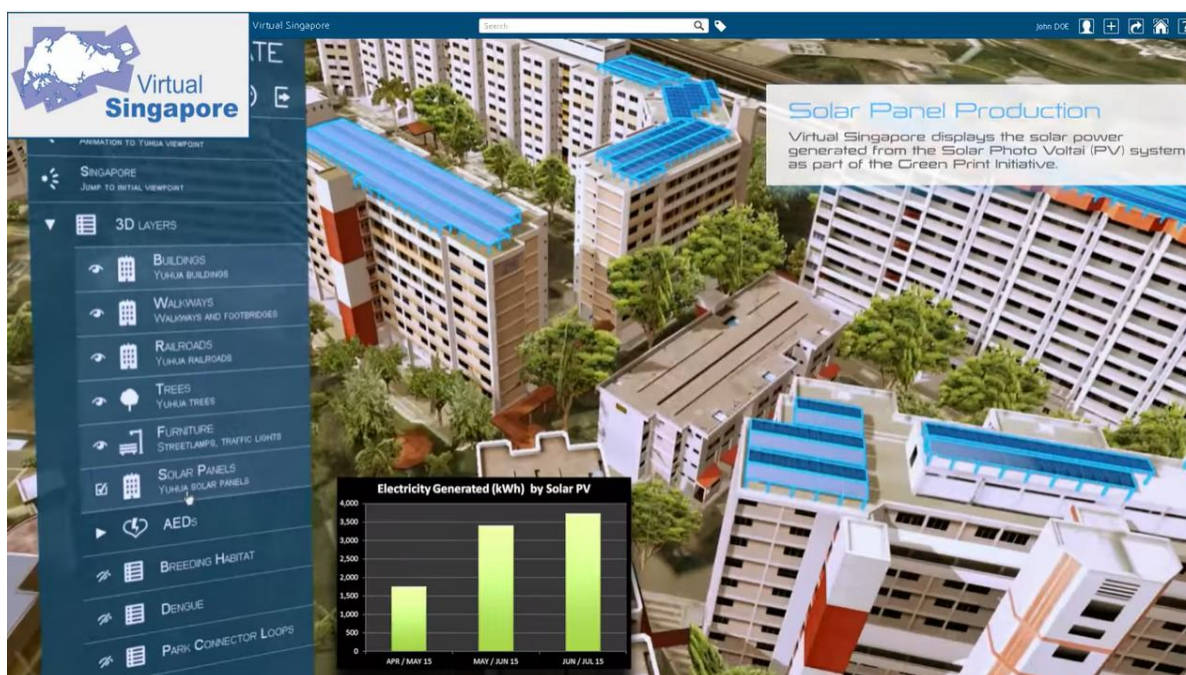


Figura 04. Virtual Singapore – análise do potencial de produção de energia solar (Singapore Government, 2021)

Outro exemplo de implementação do CIM foi o consórcio formado em Londres, em 2001. A Crossrail Ltd (CRL) foi formada para implantar um dos maiores projetos de infraestrutura da época: uma linha de comboio que faria a ligação leste - oeste de Londres. Tendo em vista a complexidade do projeto e o envolvimento de diversos parceiros e intervenientes, que necessitavam trabalhar colaborativamente de diferentes locais, houve a necessidade de se criar uma infraestrutura para gestão dos dados e da informação. Todo o projeto foi feito com modelação tridimensional desde o início e utilizou diferentes técnicas para levantamento de dados e infraestruturas existentes (Bentley, 2013). Neste caso, o conceito CIM foi aplicado numa escala de um projeto de infraestrutura, baseado na modelação tridimensional das infraestruturas existentes, gestão e interpolação de dados, participação de diferentes intervenientes e projetos colaborativos.

Montreal, Washington, Zurique, Berlim são outros exemplos de cidades que também estão a utilizar as modelagens tridimensionais integradas à bases de dados (IoT, redes sociais, etc.) de modo a facilitar o monitoramento de sistemas, tais como energia, água, bem como identificar padrões de tráfego, tendências sociais, entre outras (Kehmlani, 2016).

2.5 Plataformas para implementação do CIM

Da mesma forma que o conceito de CIM possui diversas abordagens na literatura, também não há uma definição única a respeito da plataforma CIM. Beirão (2014) descreve uma metodologia de uso de uma plataforma CIM, onde relata que esta deve ser aberta, acessível e interativa para todos os usuários, sejam eles planejadores urbanos ou cidadãos. Almeida & Andrade (2018) alinham-se com esta abordagem ao definir o conceito CIM, enfatizando a colaboração entre as múltiplas partes interessadas.

Para Stojanovski (2018), a plataforma CIM deve permitir a avaliação das múltiplas escalas da cidade, além de ser uma ferramenta para projeto e planejamento, provendo suporte para a análise urbana, onde morfologistas e projetistas possam partilhar propriedades, características e a relação ou inter-relação dos diversos elementos urbanos. Beirão et al. (2012) corroboram com essa avaliação ao fazer a proposta de uma plataforma CIM que é, ao mesmo tempo, uma plataforma de projeto e de análise, e que pode ser utilizada interactivamente entre a equipa de projeto para discussão e propostas.

Bi et al. (2020) propuseram uma plataforma CIM através da integração de BIM, GIS e tecnologia IoT. Para estes autores a plataforma CIM é um novo tipo de infraestrutura da cidade moderna e um importante contributo na construção de cidades inteligentes. Além disso, deve promover a digitalização espacial da cidade e integração de dados, tecnologias e negócios e diversos campos de atuação.

Apesar das diferentes abordagens, alguns pontos são comuns na caracterização da plataforma CIM: interatividade, colaboração, interoperabilidade, partilha de informações entre os diversos intervenientes, integração entre BIM e GIS.

2.5.1 BIM

O BIM é uma metodologia de trabalho, que envolve processos, políticas e tecnologias de forma a promover uma gestão holística da informação em um ambiente digital (Carvalho et al., 2019; Ryder Alliance, 2022). Na construção, esta metodologia é baseada em modelos inteligentes, integrados, com dados multidisciplinares que reproduzem digitalmente o ambiente construído em todo seu ciclo de vida. Muito mais que uma representação tridimensional, os modelos BIM trazem consigo as informações de todos os componentes de uma construção, e permitem a partilha destas de modo transparente, com o envolvimento de todos os intervenientes do processo (Liu et al., 2017).

Dentro dos modelos BIM são definidos parâmetros que caracterizam a relação entre os objetos/componentes da construção, tais como, vigas, portas, janelas, tubagens, etc. Estes objetos apresentam níveis de informação, sendo a designação mais utilizada o *Level of Development* (LOD). Cada LOD contém uma determinada quantidade e tipo de informação presente no modelo e os LODs variam conforme o propósito do modelo e a fase de projeto, começando com o LOD 100, para projetos conceituais, até LOD 500, num modelo *as-built* (Carvalho et al., 2019).

A integração dos diferentes modelos é feita dentro de uma plataforma BIM, e para que exista interoperabilidade entre os modelos e *software* é preciso estabelecer normas para troca genérica de informações, tais como o *Industrial Foundation Class* (IFC). Por ser um formato aberto, IFC tornou-se uma das ferramentas para troca de informações mais utilizadas no mundo (Liu et al., 2017).

2.5.2 GIS

O GIS é um sistema de informações georreferenciadas, ou seja, as informações do GIS apresentam a localização ou a informação espacial de determinado dado (Liu et al., 2017). O sistema é capaz de criar, gerenciar e mapear diversos tipos de dados, conectando dados a mapas, ao integrar dados de localização com informações descritivas. O sistema auxilia o entendimento de padrões, relações e contexto geográfico (Esri, 2022).

No caso do GIS, uma das normas para troca de informações é o *City Geography Markup Language* (CityGML). A norma CityGML define um modelo conceitual e formato de troca de informações de modelos urbanos tridimensionais, facilitando a integração entre dados geográficos e diversas aplicações, dentre elas, o BIM (Open Geospatial Consortium, 2022).

Os objetos do CityGML também apresentam níveis de informações, aqui designados como *Level Of Detail* (LOD). O LOD0 traz informações das regiões e paisagem, LOD1 cidade e região urbana; LOD2 cidade, distrito e projeto; LOD3 distrito, arquitetura (exteriores) e pontos de referências; LOD4 pontos de referências e arquitetura (interiores edifícios). Quanto maior o nível de detalhe, maior a complexidade, precisão, resolução e menores dimensões dos objetos do modelo (Liu et al., 2017).

2.5.3 Interoperabilidade

A interoperabilidade pode ser definida como a capacidade de um sistema computacional ou um *software* em trocar e fazer uso de informações (Institution of Civil Engineers, 2018; Santos, 2010). Tanto no BIM como CIM a troca de informações entre os diferentes sistemas é um ponto crucial, uma vez que as informações contidas nos modelos precisam ser intercambiadas e utilizadas.

No contexto CIM, é crucial que haja interoperabilidade entre o BIM e o GIS, tendo em consideração que a revisão da literatura demonstrou uma tendência em integrar BIM e GIS para compor uma plataforma CIM. Esta integração é possível, porém, ainda é um processo complicado e desafiador, uma vez que BIM e GIS possuem diferentes tipos de protocolos e foram desenvolvidos para diferentes propósitos (Dall'O' et al., 2020). Enquanto o modelo BIM é uma representação tridimensional, com inserção das informações detalhadas inerentes às características do edifício, o GIS é um sistema de armazenamento de dados georreferenciados. De modo geral, as principais diferenças e incompatibilidades entre BIM e GIS estão na finalidade para que cada ferramenta é utilizada, nos focos de aplicação, nos estágios de desenvolvimento, nas escalas espaciais, nos sistemas de coordenadas, nas representações geométricas e semânticas, nos níveis de pormenorização no armazenamento e métodos de acesso das informações (Liu et al., 2017).

A interoperabilidade dos sistemas é feita através de protocolos abertos, normalizados, que podem ser utilizados em diferentes plataformas e interfaces (buildingSMART International, 2022). Tanto o BIM quanto o GIS possuem protocolos abertos para intercâmbio das informações, dentre os quais se destaca o IFC para o BIM e o CityGML para o GIS, como os mais populares e representativos (Liu et al., 2017).

Dall'O' et al. (2020) indica que para se fazer a integração entre BIM e GIS deve-se considerar a integração entre IFC e CityGML. X. Xu et al. (2014) propuseram uma subdivisão da estrutura da cidade para facilitar a gestão da informação, dentro desta subdivisão mapearam a origem dos dados, IFC ou CityGML, para fazer a integração entre os protocolos (Figura 05). Em sua revisão sistemática da literatura, Zhu & Wu (2022) identificaram que a conversão de dados IFC em CityGML como sendo a mais utilizada para integração GIS e BIM. Porém, os autores salientam que este caminho (IFC-CityGML) ainda é problemático, tanto na conversão da geometria quanto na transferência semântica.

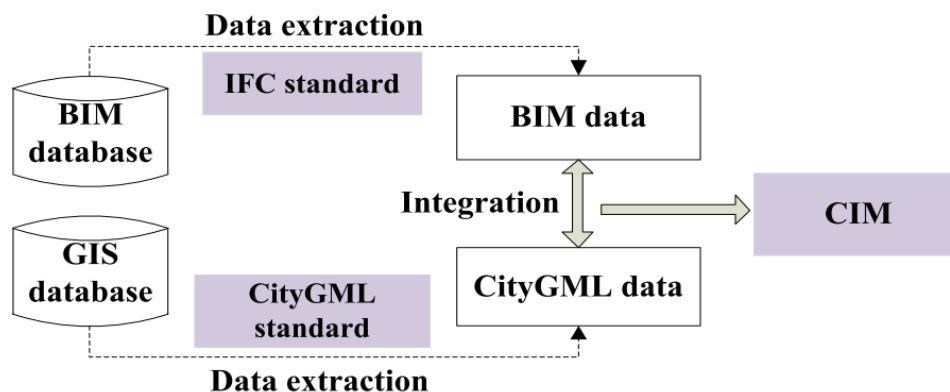


Figura 05. Integração BIM e GIS dentro do conceito CIM (X. Xu et al., 2014)

A integração entre os protocolos IFC e CityGML é um dos caminhos, para se integrar BIM e GIS e construir uma plataforma CIM. Contudo, o processo ainda não garante a total troca de dados sem nenhuma perda de informações durante a importação, exportação e análise de dados. Neste sentido, a construção da plataforma CIM deve ter em consideração a integração de BIM e GIS e ao mesmo tempo garantir a manutenção das informações no modelo.

2.5.4 Software Comercial

Ainda que o acrônimo CIM não seja amplamente utilizado pela indústria de *software*, já começam a aparecer algumas soluções comerciais oferecidas como tecnologias CIM, dentro do conceito da integração BIM e GIS. Alguns exemplos destas soluções são o ArcGIS City Engine, Autodesk Revit e Infracore, além de soluções oferecidas pela empresa de *software* Bentley.

Desenvolvido pela Esri, o ArcGIS City Engine é um *software* de modelagem 3D para criação de ambientes urbanos baseado em dados GIS. Pode ser utilizado para análise de áreas urbanas com modelos realísticos, avaliação de regulamentos e políticas de zoneamento, avaliação de potencial solar, criação de camadas de desenho tridimensionais.

Os programas da Autodesk Revit e Infracore suportam modelos tridimensionais urbanos. Ainda que não sejam propriamente *software* CIM, já existem casos de estudo em Copenhaga, Barcelona e em projetos como o sul coreano U-city (*Ubiquitous Eco-City Planning*), onde que os modelos urbanos foram desenvolvidos com estas ferramentas (Dall'O' et al., 2020; Kim et al., 2009). A empresa Bentley também apresenta soluções CIM, com modelos urbanos de larga escala em projetos nas cidades de

Montreal, Helsínquia, Londres e Singapura (Bentley, 2013; Dall'O' et al., 2020). Entretanto, estas soluções ainda estão em fase de maturação e ainda possuem alguns problemas de interoperabilidade entre sistemas.

O CIM é um conceito em desenvolvimento bastante promissor. Tanto os casos da literatura, quanto a sua implementação em cidades a volta do mundo, demonstraram a viabilidade e os benefícios de sua aplicação. Ainda existem desafios, principalmente com relação a criação de uma plataforma, interoperabilidade entre as ferramentas, protocolos e normas. Entretanto, as crescentes pesquisas têm demonstrado uma convergência de conceitos e possibilidades de implementação.

3 METODOLOGIA

Neste Capítulo encontra-se descrita a metodologia de trabalho utilizada para o desenvolvimento da proposta objeto do presente estudo.

3.1 Considerações gerais

A fim de avaliar a integração da sustentabilidade urbana no conceito CIM, o presente trabalho selecionou a metodologia SBTTool^{PT} Urban como sistema de avaliação da sustentabilidade urbana, e fez uma revisão da literatura para se definir o conceito o City Information Modelling, bem como, as ferramentas aplicáveis ao objetivo do estudo. Conforme descrito na secção 1.3, do Capítulo 1, o objetivo deste estudo é desenvolver um método para automatizar os cálculos dos indicadores da metodologia SBTTool^{PT} Urban, tendo o CIM como modelo digital de informação. Para tal, foram seguidas as etapas descritas a seguir:

- Revisão bibliográfica para definição do conceito de CIM e seu estado atual do desenvolvimento;
- Revisão do Estado-da-Arte para definição de ferramentas BIM e GIS para composição da plataforma CIM a ser utilizada no desenvolvimento do método;
- Identificação dos indicadores do SBTTool^{PT} Urban que potencialmente podem ser calculados através do CIM;
- Caso de estudo para exemplificação do método proposto.

Para entendimento do conceito CIM, primeiramente foi feita uma revisão da literatura simples, através de pesquisas em bases de dados científicas. Utilizando-se das bases de dados do *Web of Science*, *Scopus*, *Science direct*, *Research Gate* e *Google Scholar* foram feitas pesquisas com as palavras-chave 'city information modelling', 'smart cities', 'sustainable cities', 'digital twins' e '3D city model'. Além disso, foram feitas pesquisas com os termos 'BIM', 'BIM and sustainability assesment'.

Conforme apresentado no Capítulo 2 deste trabalho, o conceito do CIM possui diferentes abordagens na literatura, verificando-se que as mais recentes pesquisas demonstram uma tendência em associar o CIM a partir da integração do BIM com GIS (Souza & Bueno, 2022; Z. Xu et al., 2021). Em linha com esta tendência, este trabalho considera a integração de BIM e GIS para construção de um modelo CIM.

3.2 Definição de ferramentas BIM e GIS para composição do CIM

Para a construção da plataforma CIM o primeiro passo é fazer a integração entre BIM e GIS, onde as informações dos edifícios serão fornecidas pelo BIM e as áreas exteriores, pelo GIS. A depender do tipo de informação que se pretende extrair de um modelo CIM, diversos programas podem ser utilizados para composição de uma plataforma. A dificuldade está na interoperabilidade do sistema, garantindo a manutenção das informações pretendidas e a integração dos dados.

As ferramentas propostas por este estudo levaram em consideração as dificuldades de interoperabilidade entre sistemas, bem como a garantia da manutenção das informações. Assim, a proposta é ter um único modelo BIM com a área urbana a ser estudada e todas as informações (GIS) necessárias para avaliação da sustentabilidade do SBTTool^{PT} Urban. Ou seja, o modelo a ser utilizado para avaliação precisa conter as informações dos edifícios e da área urbana em estudo, com suas ruas, avenidas, áreas verdes, calçadas, rede de ciclovias, etc.

O presente estudo analisou as diversas ferramentas disponíveis para definir aquelas que seriam utilizadas. A avaliação levou em consideração os seguintes critérios:

- Estudos prévios associando o uso do BIM e do GIS e sistemas de avaliação da sustentabilidade;
- Flexibilidade e adaptabilidade da ferramenta para cálculo dos critérios do SBTTool^{PT} Urban;
- Relação entre a ferramenta analisada (do BIM e do GIS) e o CIM;
- Disponibilidade de acesso: acesso gratuito ou acesso pago.

Seguindo os critérios acima relacionados foram selecionadas 3 ferramentas para a composição da plataforma CIM: Autodesk Revit (BIM), CADMAPPER (GIS) e a ferramenta de programação Dynamo, que irá calcular os indicadores do SBTTool^{PT} Urban.

3.2.1 Autodesk Revit

O Autodesk Revit é um software BIM desenvolvido para arquitetos, engenheiros e construtores criarem modelos construtivos de alta qualidade e com elevado nível de informações. O Revit pode ser utilizado para modelar formas, estruturas e sistemas em três dimensões, com parâmetros precisos, facilitando o processo de documentação dos projetos, unindo equipas e melhorando a eficiência dos fluxos de

trabalho e de informação (Autodesk Inc, 2022). É capaz de armazenar dados relacionados com o planeamento e custos do projeto, além de facilitar a verificação durante os diferentes estágios de ciclo de vida do projeto (Sirakova, 2018).

Diversos estudos apontam para o Autodesk Revit como uma das plataformas BIM mais utilizadas no setor da construção (Carvalho et al., 2020). Também foram encontrados na literatura estudos que utilizaram o Autodesk Revit para análise de critérios de sistemas de avaliação da sustentabilidade (Alwan et al., 2015; Carvalho et al., 2020, 2021; Dall'O' et al., 2020; Jalaei & Jrade, 2015). Além disso, ao se utilizar a ferramenta de programação visual Dynamo com o Revit, é possível criar rotinas de cálculos para avaliação dos critérios de sustentabilidade.

3.2.2 CADMAPPER

O CADMAPPER é uma ferramenta online, com uma base de dados aberta que permite a importação de áreas urbanas tridimensionais e também a criação de mapas de cidades. A ferramenta transforma os dados provenientes de fontes abertas e de domínio público, tais como OpenStreetMap, NASA e USGS (*United States Geological Survey*). É uma ferramenta gratuita para áreas até 1 km² (CADMAPPER LLC, 2022).

A ferramenta é compatível com diversos programas, e os mapas tridimensionais possuem informação das alturas das edificações para algumas localizações. Os mapas criados a partir do CADMAPPER, podem ser inseridos no Autodesk Revit, e por possuírem diferentes camadas de desenho permitem a criação de modelos com as informações urbanas.

O CADMAPPER apresenta inúmeras vantagens, é uma ferramenta gratuita, de fácil utilização, permite a criação de áreas urbanas dentro do Autodesk Revit com celeridade, além de utilizar dados atualizados provenientes de fontes abertas e de domínio público. A desvantagem é que o modelo construído a partir do CADMAPPER apresenta poucas informações detalhadas, necessitando uma maior interação do utilizador. Por outro lado, após o mapa tridimensional ser criado dentro do Autodesk Revit, as informações adicionais podem ser inseridas conforme a necessidade de utilização, deixando o modelo mais fácil de trabalhar.

3.2.3 Dynamo

O Dynamo é uma ferramenta de programação visual, com uma interface que pretende ser acessível tanto para programadores como para não programadores. Oferece aos usuários a capacidade de criar visualmente inscrições de comportamento, definir personalizações de peças lógicas e criar inscrições usando várias linguagens de programação textual. A ferramenta trabalha tanto em modo “*stand-alone*”, sem a necessidade de interação com outro *software*, ou como um *plug-in*, como no caso de ser utilizada dentro do Revit (Autodesk Inc, 2021).

O Dynamo permite ao usuário trabalhar dentro do processo de programação visual, enquanto conecta elementos para definir as relações e sequências de ações que compõem algoritmos personalizados. A sua aplicação vai desde o processamento de dados até a criação de geometrias (Autodesk Inc, 2021). É uma ferramenta flexível, que apresenta inúmeras possibilidades de programação, o que a faz totalmente adaptável às necessidades de cada utilizador. Como *plug-in* do Autodesk Revit, o Dynamo permite a criação de rotinas ou programas que irão executar algum tipo, ou vários tipos, de atividades em sequência no Revit. Nestas rotinas ou programas podem ser inseridos os critérios para avaliação dos indicadores do SBTTool^{PT} Urban, por exemplo. Tendo em vista a flexibilidade da ferramenta, bem como as possibilidades de criação de rotinas e programação, o Dynamo foi selecionado como a ferramenta para fazer os cálculos dos indicadores e compor a plataforma CIM para este estudo.

3.3 Identificação dos indicadores do SBTTool^{PT} Urban

Uma vez definido o conceito de CIM, e as ferramentas a serem utilizadas na composição da plataforma CIM para cálculo dos indicadores do SBTTool^{PT} Urban, a etapa seguinte é avaliação do potencial destes serem calculados através do modelo. Para tanto, é feita uma análise teórica de cada indicador e seus parâmetros. Nesta análise foram verificados os critérios para cálculo dos indicadores, descritos no Guia de Avaliação do SBTTool^{PT} Urban, a metodologia de cálculo de cada um deles e a possibilidade de estes serem inseridos num modelo digital de informação. Ainda se teve em consideração a existência de casos análogos na literatura, ou seja, a utilização de modelos digitais de informação para avaliar critérios semelhantes aos dos indicadores do SBTTool^{PT} Urban. A partir desta análise os indicadores foram classificados como ‘SIM’, ‘NÃO’ ou ‘PARCIALMENTE’, relativamente à possibilidade de serem avaliados através de um modelo de informação CIM.

Um indicador é considerado 'SIM' com base no tipo de dado a ser inserido no modelo tridimensional, a viabilidade de modelar e aceder à informação, e casos similares na literatura. Um indicador é considerado 'NÃO' quando a informação necessária não pode ser modelada, quando não foi encontrado nenhum caso de estudo relacionado para confirmar a viabilidade, ou quando o cálculo do critério não irá beneficiar do uso do CIM. 'PARCIALMENTE' são aqueles em que a maioria dos critérios pode ser calculada através do modelo, mas existem um ou dois que não podem.

4 MÉTODO PROPOSTO

Este Capítulo dedica-se a apresentar o método proposto para automatização dos cálculos dos indicadores do SBTTool^{PT} Urban. Além disso, é feita a demonstração da aplicação do método a um dos indicadores.

4.1 Descrição do método

A primeira etapa do método é a construção da plataforma CIM. De acordo com os critérios apresentados no Capítulo 3, a plataforma CIM proposta neste trabalho é composta pelo *software* Autodesk Revit (BIM), com a integração das áreas urbanas através do CADMAPPER (GIS) e o Dynamo é a ferramenta que irá efetuar os cálculos dos parâmetros do SBTTool^{PT} Urban. Assim, o acesso à informação é feito num mesmo ambiente (Autodesk Revit), de forma a minimizar a perda de dados e problemas com interoperabilidade entre sistemas. A Figura 06 ilustra esquematicamente esta proposta.

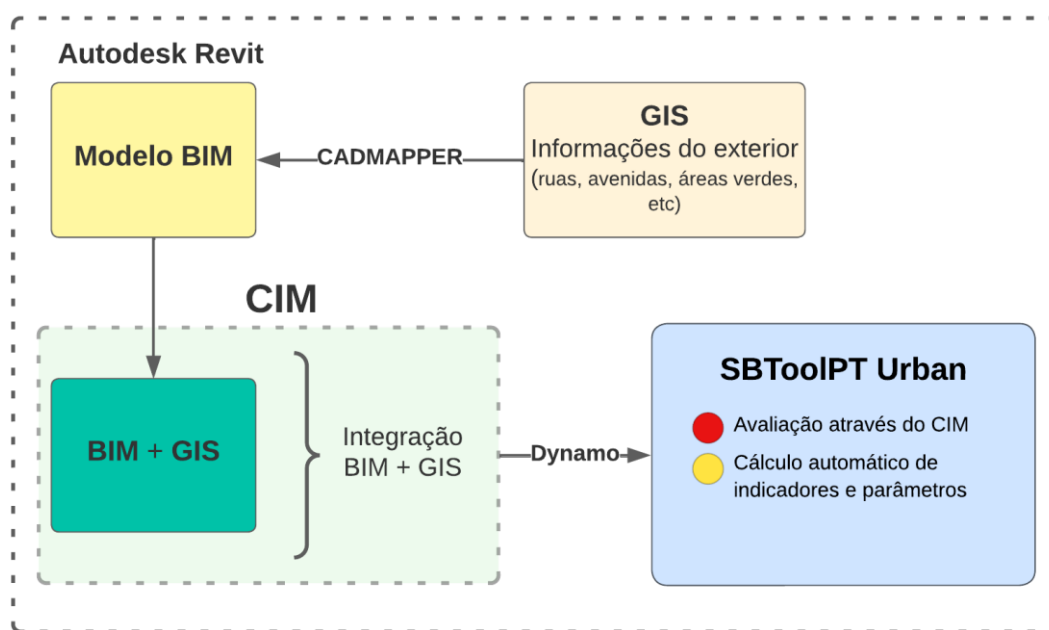


Figura 06. Plataforma CIM proposta

Uma vez definido o ambiente de trabalho, é necessário fazer a coleta dos dados a serem inseridos no modelo digital. Assim como no processo BIM, o CIM também exige uma interação maior dos interlocutores numa etapa inicial de projeto. Nesta etapa, a quantidade de informações a serem

inseridas no modelo são grandes, em contrapartida, a etapa de extração e avaliação das informações do modelo é muito mais célere e incorre em menos erros. De modo geral, os três elementos necessários à avaliação do SBTool^{PT} Urban são a planta geral da área urbana ou do projeto de planeamento urbano, o regulamento do plano de urbanização local e outros documentos referentes à estratégia urbana adotada na área em questão. Portanto, estes três elementos são o ponto de partida para a fase de modelação dos dados.

A segunda etapa do processo é a fase de modelação dos dados coletados. A planta geral da área urbana é inserida no modelo através do CADMAPPER, e inicia-se o processo de caracterização da área urbana, que deve ser feita de acordo com os critérios do SBTool^{PT} Urban. Devem ser definidas as propriedades dos parâmetros, setorizações de áreas e nomes, a criação parâmetros personalizados para os materiais, topografia e informações de projeto, e também os parâmetros compartilhados de acordo com os dados necessários para avaliação que será feita pelo Dynamo.

Após a fase de modelação, o cálculo dos parâmetros é feito através do Dynamo em duas fases. A primeira é quantificação dos parâmetros de avaliação do indicador, onde será feita a programação do cálculo de acordo com os critérios estabelecidos pelo SBTool^{PT} Urban. Para cada parâmetro/ indicador a ser calculado é preciso estabelecer uma rotina de programação diferente, bem como os parâmetros personalizados e compartilhados do Revit para estes dados. Ao nível de cada indicador é feita a quantificação dos parâmetros de avaliação e depois os parâmetros são normalizados. Cada indicador possui uma metodologia de cálculo de seus parâmetros, e o cálculo resulta em índices ou percentagens. Os cálculos são feitos a partir de uma relação matemática ou lista de verificação com atribuição de pontos.

A segunda fase é a normalização dos parâmetros, e segundo Bragança & Mateus (2018) o objetivo da normalização é:

“fixar um valor adimensional que exprima o desempenho da área urbana em estudo, em relação aos desempenhos de referência; resolver o problema de alguns parâmetros de avaliação serem do tipo ‘quanto maior, melhor’ e outros do tipo ‘quanto maior, pior’; e evitar os efeitos de escala na agregação de indicadores.” (p.6).

Para a normalização é utilizada a equação de Diaz-Balteiro (Equação 1):

$$\bar{P}_i = \frac{P_i - P_{*i}}{P_{*i} - P_{*i}} \forall i$$

Onde:

\bar{P}_i é o resultado da normalização do parâmetro i

P_i é o valor resultante da quantificação

P^*i representa o nível de melhor prática

$P * i$ representa o nível de prática convencional

Através desta equação os valores dos parâmetros são convertidos em uma escala adimensional, onde 0 (zero) representa o nível de prática convencional e 1 (um) o nível de melhor prática. Caso o desempenho de um parâmetro seja superior ao da melhor prática ou inferior à prática convencional, o valor normalizado será um valor superior a 1 ou inferior a 0, respetivamente. Nesses casos, a fim de se evitarem distorções na agregação dos parâmetros ou indicadores, os valores normalizados deverão estar entre -0,2 e 1,2 (Bragança & Mateus, 2018). Os parâmetros são normalizados através de uma rotina de programação do Dynamo.

Após a normalização, os valores são convertidos numa escala qualitativa, onde E representa o nível menos sustentável, D a prática convencional, A melhor prática e A+ o nível mais sustentável. Esta escala também é obtida automaticamente através do Dynamo.

Tabela 05. Escala de avaliação qualitativa | Adaptada de Bragança & Mateus (2018)

Escala Qualitativa	Valor normalizado
A ⁺	$\bar{P} > 1,00$
A	$0,70 < \bar{P} \leq 1,00$
B	$0,40 < \bar{P} \leq 0,70$
C	$0,10 < \bar{P} \leq 0,40$
D	$0,00 < \bar{P} \leq 0,10$
E	$\bar{P} < 0,00$

Conforme descrito na secção 2.3.4, do Capítulo 2, o processo de avaliação da sustentabilidade proposto pela metodologia SBTool^{PT} Urban é composto por três fases: a quantificação do desempenho do indicador, quantificação do desempenho ao nível das várias categorias e dimensões, determinação do Nível de Sustentabilidade (NS), e por último é feito o preenchimento do Certificado de Sustentabilidade (Bragança & Mateus, 2018). O âmbito da proposta deste trabalho é a primeira fase do processo de avaliação da sustentabilidade da metodologia SBToolPT Urban, quantificação do

desempenho ao nível de cada indicador. Entretanto, após a quantificação dos indicadores é possível extrair as folhas de cálculo com os resultados que alimentarão as etapas subsequentes do processo: quantificação ao nível das categorias, dimensões e quantificação do Nível de Sustentabilidade (NS), e emissão do certificado de sustentabilidade.

4.2 Classificação dos indicadores e parâmetros do SBTool^{PT} Urban

Os indicadores e parâmetros do SBTool^{PT} Urban foram analisados e classificados de acordo com o seu potencial para serem calculados através do modelo CIM. A Tabela 06 apresenta os resultados desta análise, e as seguintes subsecções contêm a explicação da classificação dos indicadores e seus parâmetros de cálculo. Para cada parâmetro foi verificada a metodologia de cálculo proposta pelo SBTool^{PT} Urban, se é uma relação matemática ou lista de verificação, o tipo de informação necessária a ser fornecida pelo modelo e o tipo de dado a ser inserido no modelo. De modo geral, os índices obtidos a partir da relação matemática têm potencial para serem calculados através do modelo. Já os índices calculados a partir das listas de verificação nem sempre podem ser calculados através do modelo, uma vez que nem todas as informações podem ser obtidas através dos dados fornecidos pelo modelo.

Tabela 06. Classificação dos parâmetros - Continua

CATEGORIA	INDICADOR	PARÂMETRO	METODOLOGIA DE CÁLCULO SBTool ^{PT} Urban	POSSIBILIDADE DE CÁLCULO PELO CIM
C1 – Forma Urbana	I1 – Planeamento Solar Passivo	Índice de potencial de captação solar	Lista de verificação	SIM
	I2 – Potencial de Ventilação	Índice do potencial de ventilação	Lista de verificação	SIM
	I3 – Rede Urbana	Índice de interseções reais	Relação matemática	SIM
		Índice de promoção da conectividade	Lista de verificação	SIM
C2 – Uso do Solo e Infraestruturas	I4 – Aptidão Natural do Solo	Percentagem de solo apropriado à sua aptidão natural	Relação matemática	SIM
	I5 – Densidade e Flexibilidade de Usos	Percentagem de eficiência do uso de solo	Relação matemática	SIM
		Percentagem de área com flexibilidade de usos	Relação matemática	SIM

Tabela 06. Classificação dos parâmetros - Continuação

CATEGORIA	INDICADOR	PARÂMETRO	METODOLOGIA DE CÁLCULO SBTool ^{PT} Urban	POSSIBILIDADE DE CÁLCULO PELO CIM
	I6 – Reutilização de Solo Urbano	Percentagem de solo contaminado	Relação matemática	SIM
	I7 – Reutilização do Edificado	Percentagem de construções existentes que serão reutilizadas	Relação matemática	SIM
	I8 – Rede de Infraestruturas Técnicas	Percentagem de otimização de infraestruturas técnicas	Relação matemática	SIM
C3 – Ecologia e Biodiversidade	I9 – Distribuição de Espaços Verdes	Percentagem de espaços verdes	Relação matemática	SIM
	I10 – Conectividade de Espaços Verdes	Percentagem de espaços verdes conectados	Relação matemática	SIM
	I11 – Vegetação Autóctone	Percentagem de Vegetação Autóctone	Relação matemática	SIM
	I12 – Monitorização Ambiental	Índice de monitorização ambiental	Lista de verificação	NÃO
C4 - Energia	I13 – Eficiência Energética	Índice de eficiência energética em espaços públicos	Lista de verificação	PARCIALMENTE
	I14 – Energias Renováveis	Percentagem de energia consumida proveniente de energias renováveis produzidas localmente	Relação matemática	SIM
	I15 – Gestão Centralizada de Energia	Índice de desempenho do sistema de gestão centralizadas de energia	Lista de verificação	PARCIALMENTE
C5 – Água	I16 – Consumo Eficiente de Água Potável	Índice de consumo de água potável	Lista de verificação	PARCIALMENTE
	I17 – Gestão de Efluentes	Percentagem de áreas de infiltração	Relação matemática	SIM
		Índice de gestão de efluentes e permeabilidade do solo	Lista de verificação	NÃO
	I18 – Gestão Centralizada da Água	Índice de desempenho do sistema de gestão centralizada de água	Lista de verificação	PARCIALMENTE
C6 – Materiais e Resíduos	I19 – Materiais de Baixo Impacte	Percentagem área/volume de materiais sustentáveis nos espaços públicos	Relação matemática	SIM
	I20 – Resíduos de Construção e Demolição	Percentagem de incorporação de inertes reciclados	Relação matemática	SIM
		Índice de valorização de RCD	Lista de verificação	NÃO
	I21 – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos	Índice de gestão de RSU	Lista de verificação	NÃO
C7 – Conforto Exterior	I22 – Qualidade do Ar	Índice de qualidade do ar	Lista de verificação	NÃO
	I23 – Conforto Térmico Exterior	Percentagem de espaços que proporcionam conforto térmico exterior	Relação matemática	SIM
		Índice de conforto térmico exterior	Lista de verificação	SIM

Tabela 06. Classificação dos parâmetros - Continuação

CATEGORIA	INDICADOR	PARÂMETRO	METODOLOGIA DE CÁLCULO SBTtool ^{PT} Urban	POSSIBILIDADE DE CÁLCULO PELO CIM
	I24 – Poluição Acústica	Índice de redução da poluição sonora	Lista de verificação	NÃO
	I25 – Poluição Luminosa	Índice de redução da poluição luminosa	Lista de verificação	NÃO
C8 – Segurança	I26 – Segurança nas Ruas	Índice de segurança nas ruas	Lista de verificação	NÃO
	I27 – Riscos Naturais e Tecnológicos	Índice de riscos e planos de evacuação	Lista de verificação	NÃO
C9 – Amenidades	I28 – Proximidade a Serviços	Índice de proximidade de serviços	Lista de números de serviços e distâncias	SIM
	I29 – Equipamentos de Lazer	Índice de proximidade de equipamentos de lazer	Lista de números de serviços e distâncias	SIM
	I30 – Produção Local de Alimentos	Índice de produção local de alimentos	Relação matemática	SIM
		Índice de promoção de hortas comunitárias	Lista de verificação	NÃO
C10 – Mobilidade	I31 – Transportes Públicos	Índice de acessibilidade a transportes públicos	Lista de verificação	SIM
		Índice de qualidade dos transportes públicos	Lista de verificação	PARCIALMENTE
	I32 – Acessibilidade Pedestre	Índice de acessibilidade pedestre	Lista de verificação	PARCIALMENTE
	I33 – Rede de Ciclovias	Índice de qualidade da rede de ciclovias	Lista de verificação	PARCIALMENTE
C11 – Identidade Local e Cultural	I34 – Espaços Públicos	Índice de espaços públicos abertos	Relação matemática	SIM
		Disponibilidade de espaços públicos por habitante	Relação matemática	SIM
		Índice de qualidade dos espaços públicos	Lista de verificação	SIM
	I35 – Valorização do Património	Índice de valorização do património	Lista de verificação	NÃO
	I36 – Inclusão e Integração Social	Percentagem de habitações para integração e inclusão social	Relação matemática	SIM
		Índice de participação dos elementos da sociedade	Lista de verificação	NÃO
C12 – Emprego e Desenvolvimento Económico	I37 – Viabilidade Económica	Índice de viabilidade económica	Lista de verificação	NÃO
	I38 – Economia Local	Índice de diversidade de usos	Lista de verificação	SIM
		Índice de promoção da economia local	Lista de verificação	NÃO
	I39 – Empregabilidade	Percentagem de emprego no local	Relação matemática	NÃO
C13 – Edifícios	I40 – Edifícios Sustentáveis	Índice de sustentabilidade do edificado	Lista de verificação	NÃO
C14 - Ambiente	I41 – Gestão Ambiental	Índice de utilização de tecnologias de informação e comunicação	Lista de verificação	NÃO

4.2.1 Análise dos indicadores

11 - Planeamento Solar Passivo

O objetivo do primeiro indicador é promover o planeamento solar passivo, de modo a reduzir os consumos energéticos dos edifícios ao potenciar o uso de energias endógenas (Bragança & Mateus, 2018). O indicador possui um parâmetro de cálculo que é o Índice de potencial de captação solar, (I_{PCS}) calculado através da lista de verificação com atribuição de pontos. Os critérios da lista de verificação deste parâmetro estão relacionados com a percentagem de exposição solar do edificado, e com o sombreamento através de vegetação caducifólia, conforme indicado na Tabela 07.

Tabela 07. Lista de verificação para cálculo do Índice do Potencial de Captação Solar | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{FR} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Conceção de polígonos de implantação e orientação do edificado maximizando a sua exposição solar:	
1.1	Menos de 25% do edificado apresenta exposição solar adequada;	0
1.2	Entre 25% e 50% do edificado apresenta exposição solar adequada;	5
1.3	Entre 50% e 75% do edificado apresenta exposição solar adequada;	10
1.4	Entre 75% e 90% do edificado apresenta exposição solar adequada;	15
1.5	Mais de 90% do edificado apresenta exposição solar adequada.	20
2	Introdução de vegetação caducifólia de porte adequado à altura do edificado, promovendo os sombreamentos no Verão, minimizando-os no Inverno:	
2.1	Menos de 25% do edificado apresenta sombreamentos no Verão através de vegetação caducifólia;	0
2.2	Entre 25% e 50% do edificado apresenta sombreamentos no Verão através de vegetação caducifólia;	5
2.3	Entre 50% e 75% do edificado apresenta sombreamentos no Verão através de vegetação caducifólia;	10
2.4	Entre 75% e 90% do edificado apresenta sombreamentos no Verão através de vegetação caducifólia;	15
2.5	Mais de 90% do edificado apresenta sombreamentos no Verão através de vegetação caducifólia.	20
(max. 40 pontos) $I_{PCS} = \sum_i =$		(I_{PCS})

Estes são parâmetros possíveis de serem calculados num modelo BIM. O Autodesk Revit permite a avaliação da exposição solar dos edifícios, assim como o sombreamento promovido pelas árvores ou edifícios existentes nas imediações. Tao & Qian (2015) apresentaram um estudo de caso de avaliação da exposição solar, ventilação e consumo de energia de um complexo de edifícios através do BIM. A pontuação da lista pode ser obtida através de uma rotina de cálculo no Dynamo.

I2 – Potencial de Ventilação

O segundo indicador também está relacionado ao planeamento bioclimático, com o objetivo de promover a ventilação adequada no contexto urbano, e assim, potenciar a ventilação natural nos edifícios (Bragança & Mateus, 2018). O parâmetro de cálculo deste indicador é o Índice do Potencial de Ventilação (I_{PV}), que assim como o anterior, é calculado através de uma lista de verificação com atribuição de pontos. Os critérios da lista estão relacionados com a distribuição, implantação e orientação do edificado e análise dos ventos dominantes, conforme apresentado na Tabela 08:

Tabela 08. Lista de verificação para cálculo do Índice do Potencial de Captação Solar | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{FR} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Distribuição do edificado de modo a proporcionar a formação de canais de ventilação urbana:	
1.1	Pelo menos 30% da área livre não construída permite a formação de canais de ventilação urbana;	5
1.2	Entre 45% e 60% da área livre não construída permite a formação de canais de ventilação urbana;	10
1.3	Mais de 60% da área livre não construída permite a formação de canais de ventilação urbana.	20
2	Conceção de polígonos de implantação e orientação do edificado de acordo com os ventos dominantes, de modo a promover a ventilação natural interior dos edifícios:	
2.1	Pelo menos 25% da extensão de fachadas apresentará boa exposição aos ventos dominantes;	5
2.2	Entre 25% e 50% da extensão de fachadas apresentará boa exposição aos ventos dominantes.	10
(max. 30 pontos) $I_{PV} = \sum_i =$		(I_{PV})

Estudos de Luo et al.(2017) e de Sabri et al.(2019) demonstraram a viabilidade do cálculo destes critérios através de modelos urbanos. Da mesma forma que o indicador anterior, a pontuação da lista de verificação é calculada através do Dynamo.

I3 – Rede Urbana

Com o objetivo de facilitar a circulação e deslocações pedonais e cicláveis, através da promoção de conectividade entre vias (Bragança & Mateus, 2018), o terceiro indicador é calculado através de dois parâmetros: Índice de Intersecções Reais (I_{IR}) e Índice de Promoção da Conectividade (I_{PC}). O resultado do indicador, Índice de Rede Urbana (I_{RU}), é obtido através da ponderação dos dois parâmetros, I_{IR} e I_{PC} :

$$\overline{I_{RU}} = \frac{I_{IR} \times 60\% + I_{PC} \times 40\%}{100\%}$$

O I_{IR} (intersecções/km²) é calculado através da relação entre o número de intersecções reais e a área de intervenção do plano (km²).

$$I_{IR} = \frac{NIR}{A_{IP}}$$

I_{IR} = Índice de Intersecções Reais (intersecções/ km²)

NIR = Número de intersecções reais

A_{IP} = Área de Intervenção do Plano (km²)

Este cálculo pode ser feito através do modelo BIM ao se determinar as vias do projeto, e seus pontos de intersecção. O uso do Dynamo possibilita criar uma rotina de cálculo que irá avaliar o número de intersecções/km². Já o I_{PC} é calculado através de uma lista de critérios com pontos atribuídos, como mostra a Tabela 09.

Tabela 09. Lista de verificação para cálculo do Índice de Promoção da Conectividade | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{FR} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Hierarquização das vias da área de desenvolvimento, em pelo menos 2 níveis – vias de distribuição e vias locais.	10
2	Desenho da rede de vias em esquema de grelha.	10
3	Deve ser evitada a criação e a extensão de becos sem saída:	
3.1	Não existem becos sem saída;	10
3.2	No caso da existência de becos sem saída, estes não têm mais de 60m de comprimento.	5
4	Existência de pelo menos uma rua de atravessamento não motorizada, intersectando ou terminando no limite do projeto a cada 120 m.	20
5	80% das intersecções de vias apresentam distância inferior a 400 m.	10
6	O comprimento dos quarteirões entre as vias locais e as de distribuição não excede os 300m.	20
7	Existência de pelo menos uma rua principal de comércio e serviços (média de pelo menos 1 estabelecimento por cada 400 m).	10
8	60% das ruas apresentam um declive inferior a 7%.	20
(max. 110 pontos) $I_{PC} = \sum =$		(I_{PC})

Os critérios da lista de verificação são mensuráveis e possíveis de serem obtidos através de um modelo de informação. Neste caso, também é possível aplicar uma rotina de cálculo no Dynamo que irá atribuir os pontos a cada um dos critérios. A ponderação entre o I_{IR} e I_{PC} também é feita no Dynamo.

I4 – Aptidão Natural do Solo

O objetivo deste indicador é avaliar o uso do solo de acordo com a sua aptidão natural, para tal é preciso avaliar os três instrumentos de gestão territorial: Plano Diretor Municipal (PDM), Plano de Urbanização (PU) e o Plano de Pormenor (PP) (Bragança & Mateus, 2018). Para cálculo do I4 é necessário ter o somatório das áreas apropriadas à aptidão natural do solo em relação à Área de intervenção do plano:

$$P_{ANS} = \frac{A_{PAN}}{A_{IP}} \times 100\%$$

P_{ANS} = Percentagem de Aptidão Natural do Solo (%)

A_{PAN} = Somatório das áreas apropriadas à sua aptidão natural (m²)

A_{IP} = Área de Intervenção do Plano (m²)

A identificação das áreas é feita através do Plano Diretor Municipal (PDM) ou outro Plano de nível superior, e os requisitos do plano podem ser inseridos no modelo através de programação feita pelo Dynamo (Villaschi et al., 2022). Após inserção dos requisitos do PDM, é preciso atribuir ao modelo as propriedades de cada área de aptidão. Uma vez atribuídas as propriedades, estas podem ser identificadas e calculadas através do Dynamo (Carvalho et al., 2019).

I5 – Densidade e Flexibilidade de Usos

O quinto indicador tem como objetivo “promover a redução da expansão da ocupação de solo à área mínima indispensável à satisfação das necessidades do local” (Bragança & Mateus, 2018). Por forma a cumprir este objetivo, existem dois parâmetros a serem calculados: Percentagem de Eficiência do Uso de Solo (P_{EUS}) e a Percentagem de Áreas com Flexibilidade de Usos (P_{FU}). Após o cálculo destes

indicadores é feita a ponderação entre eles para se chegar ao Índice de Densidade de Flexibilidade de Usos (I_{DFU}):

$$I_{DFU} = \frac{P_{EUS} \times 45\% + P_{FU} \times 55\%}{100\%}$$

O primeiro parâmetro é calculado através da relação entre o número de habitantes estimados e a área de implantação, este cálculo pode ser feito através do Dynamo.

$$E_{US} = \frac{H_P}{A_E} \times 100\%$$

E_{US} = Percentagem de eficiência do Uso do Solo (P_{EUS})

H_P = Número de habitantes estimados (hab.)

A_E = Área de implantação de edifícios (m²)

O segundo parâmetro também é obtido através de uma relação matemática. Aqui o cálculo é o somatório de áreas flexíveis para diversos usos pela área de intervenção do plano:

$$P_{FU} = \frac{\sum A_F}{A_{IP}} \times 100\%$$

P_{FU} = Percentagem de Áreas com Flexibilidade de Usos (%)

$\sum A_F$ = Somatório de áreas flexíveis para diversos usos (m²)

A_{IP} = Área de Intervenção do plano (m²)

Para tal, é preciso identificar no modelo através da caracterização dos parâmetros de informações do projeto e criar uma rotina de cálculo no Dynamo que identifique as áreas flexíveis e faça a relação com a área de intervenção. A ponderação também é feita através do Dynamo.

16 – Reutilização de Solo Urbano

Este indicador também tem como objetivo a conter a expansão urbana, através da reutilização de áreas construídas e reabilitação de solos contaminados (Bragança & Mateus, 2018). O parâmetro de cálculo

do indicador é a Percentagem de Área de Solo Contaminado Reutilizado (P_{ASCR}), obtida através da relação entre a Área de solo contaminado reutilizado (A_{SCR}) pela Área de solo contaminado (A_{SC}):

$$P_{ASCR} = \frac{A_{SCR}}{A_{SC}} \times 100\%$$

P_{ASCR} = Percentagem de Área do Solo Contaminado Reutilizado (%)

A_{SCR} = Área de solo contaminado reutilizado (m²)

A_{SC} = Área de solo contaminado (m²)

Por forma a calcular o P_{ASCR} através do modelo, primeiramente deve-se caracterizar toda a área de solo contaminado e identificar a percentagem que será reutilizada. A partir desse momento, é possível criar uma rotina de cálculo no Dynamo para resolução da equação matemática. O Dynamo faz a identificação das áreas caracterizadas no modelo, que serão os dados de entrada e o resultado é o dado de saída.

17 – Reutilização do Edificado

Tendo em vista as vantagens da reabilitação de edifícios, o 17 pretende promover-las em detrimento das construções novas, de modo a conservar a herança histórica e o património edificado (Bragança & Mateus, 2018). Para este indicador, deverá ser calculada a Percentagem de Construções existentes que foram ou serão reutilizadas e reabilitadas (P_{CRR}) através da relação entre a Área de construção reutilizada e reabilitada, ou a reutilizar e a reabilitar, pela área total de construção existente ou a intervencionar:

$$P_{CRR} = \frac{CRR}{TCE} \times 100\%$$

P_{CRR} = Percentagem de área construída reutilizada e reabilitada ou a Reutilizar e a Reabilitar (%)

CRR = Área de construção reutilizada e reabilitada ou a reutilizar e a reabilitar (m²)

TCE = Área total de construção existente ou a intervencionar (m²)

O cálculo é feito como o do indicador anterior, com a caracterização dos edifícios no modelo e identificação dos que serão reabilitados. O resultado também é fornecido pela rotina de cálculo do Dynamo.

18 – Rede de Infraestruturas Técnicas

O indicador 8 tem como objetivo “promover a minimização dos impactes associados à construção de novas infraestruturas técnicas, através da reutilização das existentes”(Bragança & Mateus, 2018). Por forma a cumprir os objetivos do indicador, é preciso calcular a Percentagem de Otimização de Infraestruturas Técnicas (P_{OIT}). Esta é obtida pela relação entre o comprimento linear de rede aproveitada (reutilizada e reabilitada) (REA) e o comprimento total da rede de infraestruturas técnicas (TRI):

$$P_{OIT} = \frac{REA}{TRI} \times 100\%$$

P_{OIT} = Percentagem de Otimização de Infraestruturas Técnicas (%)

REA = Comprimento de rede existente aproveitada (reutilizada e reabilitada) (m)

TRI = Comprimento total da rede de infraestruturas técnicas (m)

Para este indicador, o cálculo também é feito com a caracterização e identificação das infraestruturas no modelo (novas e a serem reutilizadas) e o uso do Dynamo.

19 – Distribuição de Espaços Verdes

Conforme descrito no Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o objetivo deste indicador é “promover a continuidade ecológica dentro dos centros urbanos” (Bragança & Mateus, 2018). Este indicador foi escolhido para a aplicação do método proposto pelo presente estudo. A metodologia de cálculo está descrita e exemplificada na secção 4.3, deste capítulo.

I10 – Conectividade de Espaços Verdes

Além da conservação da biodiversidade local, o objetivo deste indicador é promover a ligação entre centros de interesses e áreas verdes. De modo a deixar a paisagem natural entrar na cidade, criando áreas para diferentes usos (Bragança & Mateus, 2018). O cálculo é feito através da relação entre a área de espaços verdes conectados em relação à Área de Intervenção do Plano:

$$P_{EVC} = \frac{A_{EVC}}{A_{EV}} \times 100\%$$

P_{EVC} = Percentagem de Espaços Verdes Conectados (%)

A_{EVC} = Área de espaços verdes conectados (m²)

A_{EV} = Total de áreas verdes (m²)

O cálculo deste indicador é feito de modo similar ao do anterior. Primeiramente é feita a caracterização das áreas verdes do projeto, um segundo critério deve ser aplicado, que é o de conexão entre as áreas ou áreas verdes conectadas. Depois é criada uma rotina de cálculo no Dynamo para identificar as áreas e calcular a percentagem de Espaços Verdes Conectados.

I11 – Vegetação Autóctone

Com este indicador pretende-se conservar a flora local através da promoção das espécies autóctones, beneficiando assim, o equilíbrio biológico das paisagens e a diversidade dos recursos genéticos (Bragança & Mateus, 2018). O processo de cálculo deste indicador considera a relação entre a área de espécies verdes autóctones em relação à área total de espaços verdes:

$$P_{VA} = \frac{A_{VA}}{A_{EV}} \times 100\%$$

P_{VA} = Percentagem de Vegetação Autóctone (%)

A_{VA} = Área ocupada por vegetação autóctone (m²)

A_{EV} = Área total de espaços verdes (m²)

Assim como os dois indicadores anteriores, é preciso identificar e caracterizar as áreas verdes do projeto. Depois, é necessário criar um atributo de “espécies autóctones” e identificar no modelo as áreas que possuem este atributo. Por último, é criada a rotina de cálculo no Dynamo.

I12 – Índice de Monitorização Ambiental

Para este indicador, o objetivo é monitorar os aspetos ambientais e divulgá-los, através de um Plano/ Programa de Monitorização (Bragança & Mateus, 2018). A metodologia de cálculo é baseada na pontuação obtida através da lista de verificação apresentada pela Tabela 10:

Tabela 10. Lista de verificação para cálculo do Índice de Monitorização Ambiental | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Existência de plano de monitorização ambiental para a fase de ocupação	Obrigatória
2	Plano de monitorização ambiental para a fase de ocupação, com duração preconizada para:	
2.1	1 – 3 anos;	5
2.2	4 – 6 anos;	10
2.3	7 – 10 anos.	15
3	Áreas abrangidas pelo Plano de Monitorização Ambiental:	
3.1	Recursos hídricos;	5
3.2	Fauna;	5
3.3	Flora;	5
3.4	Ruído;	5
3.5	Qualidade do ar exterior.	5
4	Obrigatoriedade de divulgação de resultados:	
4.1	A informação é distribuída a todos os habitantes (por meio digital ou físico) e está disponível online;	20
4.2	A informação está disponível online.	20
(max. 60 pontos) $I_{MA} = \sum_i =$		(I_{MA})

Este indicador não é possível de ser calculado através do modelo, uma vez que os critérios da lista de verificação não são dados que podem ser adicionados e extraídos de um modelo de construção.

I13 – Eficiência Energética

De acordo com o Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o objetivo deste indicador é “promover a eficiência energética nos espaços públicos, através da redução do consumo energético” (Bragança & Mateus, 2018). O Índice de Eficiência Energética em espaços públicos (I_{EE}) é calculado com base na lista de verificação com pontos atribuídos, como mostra a Tabela 11:

Tabela 11. Lista de verificação para cálculo do Índice de Eficiência Energética em espaços públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Existência de um Plano de Monitorização e Manutenção.	10
2	Existência de iluminação pública LED (semáforos, iluminação exterior, MUPI, entre outros):	
2.1	Menos de 25%;	0
2.2	Entre 25% e 50%;	5
2.3	Entre 50% e 75%;	10
2.4	Mais de 75%.	15
3	Reguladores de Fluxo Luminoso na iluminação pública.	5
4	Diminuição da Luminosidade em períodos noturnos (2h às 5h).	5
5	Controlo dinâmico da iluminação (escolher uma opção):	
5.1	Em toda iluminação pública;	10
5.2	Em semáforos e MUPI's;	5
5.3	Na iluminação exterior.	5
6	Existência de outros equipamentos públicos com classificação energética de, pelo menos, A (se aplicável).	10
(max. 60 pontos) $I_{MA} = \sum_i =$		(I_{MA})

O indicador foi considerado “PARCIALMENTE” pois o primeiro item da lista não pode ser obtido através do modelo. Os outros critérios podem ser calculados pelo modelo, desde que os projetos de especialidades especifiquem estes critérios no modelo. O Autodesk Revit fornece folhas de cálculo com as quantidades e itens especificados no projeto, tais como, controlo dinâmico da iluminação, e o Dynamo é capaz de fazer a verificação de acordo com os critérios especificados na lista.

114 – Energias Renováveis

O objetivo deste indicador é reduzir o consumo de energia primária não renovável através da promoção da produção de energias renováveis (Bragança & Mateus, 2018). O cálculo é feito através da relação entre a previsão da produção local pelo consumo de energia estimada para o projeto:

$$P_{ER} = \frac{P_{LER}}{E_T} \times 100\%$$

P_{ER} = Percentagem de Energia Renovável produzidas localmente (%)

P_{LER} = Produção local de Energias Renováveis (kWh)

E_T = Energia total utilizada ou estimada (kWh)

Para que este indicador seja calculado com o uso do modelo, é preciso inserir os dados relativos à estimativa de consumo de energia e a quantidade de energia que se pretende produzir a partir de fontes renováveis. Uma vez que estes dados estejam inseridos no modelo, o cálculo pode ser feito com o auxílio do Dynamo. Padsala & Coors (2015) utilizaram uma plataforma CIM para fazer avaliações sobre o potencial de produção de energia fotovoltaica e a procura energética dos edifícios em uma área urbana, na cidade de Aldingen, Alemanha.

I15 – Gestão Centralizada de Energia

O indicador I15 tem como objetivo promover os sistemas de controlo da utilização de energia, visando identificar atempadamente possíveis problemas na rede e nos sistemas utilizadores de energia (Bragança & Mateus, 2018). Para calcular este indicador, é preciso fazer a verificação das características do sistema de gestão centralizada de acordo com a Tabela 12:

Tabela 12. Lista de verificação para cálculo do Índice de desempenho do sistema de Gestão Centralizada de Energia | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Implementação de sistema centralizado de gestão de utilização de energia em edifícios públicos e sistemas públicos (sistema <i>smart grid</i>):	
1.1	Medição da utilização de energia elétrica da rede;	10
1.2	Medição da transformação e utilização de Energia Renovável local;	10
1.3	Existência de contadores inteligentes.	10
2	Implementação de sistema centralizado de gestão da utilização de energia das habitações:	
2.1	Medição da utilização de energia elétrica da rede;	10
2.2	Medição da transformação e utilização de Energia Renovável local;	10
2.3	Existência de contadores inteligentes.	10
3	Divulgação pública de resultados:	
3.1	Mensal;	10
3.2	Trimestral;	5
3.3	Anual.	1
4	Desagregação da informação produzida:	
4.1	Desagregação entre energia térmica e elétrica;	10
4.2	Desagregação por tipos de utilização.	10

Tabela 12. Lista de verificação para cálculo do Índice de desempenho do sistema de Gestão Centralizada de Energia | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

5	Existência de objetivos/ metas de gestão de energia.	10
6	Meio de divulgação:	
6.1	A informação é distribuída a todos os habitantes (por meio digital ou físico) e está disponível online;	10
6.2	A informação está disponível online.	5
7	Existência de sistemas de armazenamento de energia.	10
		(max. 95 pontos) $I_{GCE} = \sum_i = (I_{GCE})$

Como apenas os itens 1, 2, 4 e 7 da lista podem ser calculados com o uso do modelo, este indicador foi classificado como “PARCIALMENTE”. Para que o modelo forneça os dados relativos aos itens 1, 2, 4 e 7, é preciso que os critérios a serem avaliados estejam especificados no projeto. A pontuação para cada critério pode ser atribuída através da rotina de cálculo do Dynamo.

I16 – Consumo Eficiente de Água Potável

O objetivo do indicador I16 é promover o consumo consciente de água potável, através da adoção de medidas que auxiliem a diminuição de seu uso e a promoção de práticas de conservação da água (Bragança & Mateus, 2018). Para tal, o projeto deve prever a implementação de medidas de redução do uso de água potável nos espaços públicos, e deve ser calculado o índice de Consumo de Água Potável (I_{CAP}) através da lista de verificação, como mostra a Tabela 13:

Tabela 13. Lista de verificação para cálculo do Índice de Consumo de Água Potável | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) Continua

Lista de Verificação	Pontos	
1	Gestão de consumos de água em espaços públicos:	
1.1	Existência de um sistema de controlo e registo do consumo de água em espaços públicos;	5
1.2	Uso de águas residuais tratadas, águas pluviais ou métodos de limpeza a seco para lavagem de pavimentos/ espaços exteriores;	5
1.3	Depuração da água em lagos e espelhos de água através de sistemas de macrófitas e utilização de águas pluviais para reposição de água;	5
1.4	No caso de existência de instalações sanitárias, existem ou está contemplada a instalação de redutores de consumo de água (nas torneiras de lavatório e autoclismos).	5
2	Gestão de consumos em espaços verdes:	
2.1	Utilização de espécies adaptadas e autóctones com necessidades reduzidas de rega e/ou com maior resistência a períodos de seca;	5

Tabela 13. Lista de verificação para cálculo do Índice de Consumo de Água Potável | Adaptada de Guia de Avaliação SBtoolTM Urban (Bragança & Mateus, 2018) Continuação

2.2	Agrupamento de espécies com necessidades de rega semelhantes;	5
2.3	Reduzir a escorrência superficial através da prática de <i>mulching</i> ;	5
2.4	Colocação de sensores de humidade no solo para gestão das necessidades de rega;	5
2.5	Utilização de água não potável para rega;	5
2.6	Utilização de sistema de rega gota a gota;	5
2.7	Rega em períodos noturnos.	5
3	Estabelecimento de um programa de educação e consciencialização da população local para a diminuição de consumos de água potável e da conservação das fontes de água.	10
(max. 60 pontos) $I_{CAP} = \sum_i =$		(I_{CAP})

Este indicador pode ser “PARCIALMENTE” calculado pelo modelo, já que os critérios item 3 não podem ser adicionados a este. Para os itens 1 e 2, os projetos de especialidades devem incluir os critérios para que possam ser calculados através do modelo e a lista com atribuição de pontos pode ser inserida no Dynamo.

117 – Gestão de Efluentes

A Gestão de Efluentes pretende promover sistemas de tratamento de efluentes com dimensionamento adequado, bem como a recarga das reservas subterrâneas sem contaminações. Desta forma, pretende-se reduzir o risco de inundações e a cargas nos sistemas públicos de drenagem e sistemas de tratamento de efluentes (Bragança & Mateus, 2018). Para cálculo deste indicador, deve-se calcular a Percentagem de Áreas de Infiltração (P_{AI}), através da razão entre as Áreas Permeáveis (A_P) e a Área de Intervenção do Plano (A_{IP}), conforme a equação:

$$P_{AI} = \frac{A_P}{A_{IP}} \times 100\%$$

P_{AI} = Percentagem de Áreas de Infiltração (%)

A_P = Área Permeável (terrenos ajardinados ou com grelhas de arrelvamento (m²))

A_{IP} = Área de Intervenção do Plano (m²)

Este parâmetro pode ser calculado através do modelo de forma similar ao I9, com a determinação das áreas permeáveis do projeto e aplicação de uma rotina de cálculo para a razão destas áreas pela Área de Intervenção do Plano.

Já o Índice de Gestão de efluentes e Permeabilidade do solo (I_{GP}) deve ser estipulado através da pontuação por créditos da lista de verificação, conforme apresentado pela Tabela 14:

Tabela 14. Lista de verificação para cálculo do Índice de gestão de efluentes e permeabilização de solos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{FR} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Elaboração de um Plano de Gestão de Efluentes urbanos e domésticos associados à área afeta, o qual inclui:	
1.1	Pelo menos 80% do volume de efluentes produzidos é tratado localmente;	10
1.2	Sistema de Tratamento local de nível Terciário;	5
1.3	Sistema de Tratamento local de nível Terciário e sistema de desinfecção;	10
1.4	Tratamento de efluentes através de Fito-ETAR's;	10
1.5	Separação entre a rede de escoamento de águas pluviais e a rede de efluentes domésticos,	5
1.6	Recolha separativa de águas pluviais poluídas (zonas de estacionamento e vias) e as não poluídas através de uma rede coletora para pré-tratamento (hidrocarbonetos);	5
1.7	Planeamento de um sistema de recarga de aquíferos subterrâneos com água previamente tratada.	5
2	Elaboração de Plano de Gestão de Águas de Escoamento Superficial nos espaços exteriores públicos, de modo a aumentar a infiltração e percolação, o qual inclui:	
2.1	Valas de retenção;	5
2.2	Coberturas verdes ou reservatórios de aproveitamento de águas pluviais;	5
2.3	Corredores ecológicos;	5
2.4	Rede de recolha e separação de hidrocarbonetos para tratamento de águas residuais oleosas em vias rodoviárias e/ou parques de estacionamento exteriores.	5
(max. 55 pontos) $I_{GP} = \sum =$		(I_{GP})

Apesar de muitos itens da lista poderem constar no modelo do projeto de especialidades, a lista de verificação é baseada em dois planos: o Plano de Gestão de Efluentes e o Plano de Gestão de Águas. É possível que os dados para a criação dos planos estejam presentes no modelo, porém os planos não são gerados pelo modelo e, portanto, o parâmetro foi classificado como “NÃO”.

O Índice de Gestão de Efluentes (I_{GE}) é obtido através da ponderação entre o P_{AI} e o I_{GP} :

$$I_{GE} = \frac{P_{AI} \times 60\% + I_{GP} \times 40\%}{100\%}$$

Como o I_{GP} não é calculado pelo modelo, a ponderação também não pode ser calculada, já que a informação não estará dentro do modelo para que seja feito o cálculo.

118 – Gestão Centralizada da Água

Com este indicador, pretende-se promover os sistemas gerais de controlo dos consumos de água, e ainda divulgar os dados obtidos por forma a consciencializar a população (Bragança & Mateus, 2018). A metodologia de cálculo é baseada na atribuição de pontos apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Lista de verificação para cálculo do Índice de Desempenho do Sistema de Gestão Centralizado de Água
Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Existência de deteção de fugas e perdas de água:	
1.1	Em toda a rede;	20
1.2	Em, pelo menos, 80% da rede;	15
1.3	Em, pelo menos, 50% da rede;	10
1.4	Em, pelo menos, 30% da rede.	5
2	Implementação de um sistema centralizado de gestão de consumos de água em espaços públicos:	
2.1	Monitorização do consumo de água potável;	10
2.2	Monitorização de utilização de águas cinzentas ou pluviais;	10
2.3	Monitorização da captação e reutilização de águas cinzentas ou pluviais.	10
3	Implementação de um sistema centralizado de gestão de consumos de água por tipo de atividade:	
3.1	Monitorização de edifícios públicos;	10
3.2	Monitorização do consumo em edifícios/ infraestruturas de serviços;	10
3.3	Monitorização do consumo em edifícios de habitação;	10
3.4	Monitorização do consumo para agricultura (se existente);	10
3.5	Monitorização do consumo em parques industriais (se existente).	10
4	Existência de objetivos/ metas de gestão de água.	10
5	Meios de divulgação dos resultados:	
5.1	A informação é distribuída a todos os habitantes (por meio digital ou físico) e está disponível online;	10
5.2	A informação está disponível online.	5
6	Periodicidade de divulgação pública de resultados:	
6.1	Mensal;	10
6.2	Trimestral;	5
6.3	Anual.	1
(max. 145 pontos) $I_{GCA} = \sum =$		(I_{GCA})

Os itens 1, 2 e 3 da lista podem ser calculados através do uso do modelo, desde que os critérios estejam identificados no projeto. A atribuição dos pontos pode ser feita com o uso do Dynamo. Entretanto, os itens 4, 5 e 6 não podem ser atribuídos ao modelo, e, assim, o indicador é considerado como “PARCIALMENTE”.

I19 – Materiais de Baixo Impacte

Conforme estabelecido pelo Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o objetivo do indicador é “a redução dos impactes ambientais associados à extração, produção, transporte e utilização de materiais de construção”(Bragança & Mateus, 2018). Para este indicador deve ser calculada a Percentagem de área de Materiais Sustentáveis em espaços públicos (P_{MS}), esta resulta da relação entre o somatório das áreas de utilização de materiais de baixo impacte (M_S) pela área total de pavimento dos espaços públicos (T_M):

$$P_{MS} = \frac{M_S}{T_M} \times 100\%$$

P_{MS} = Percentagem de Áreas de Materiais Sustentáveis em Espaços Públicos (%)

M_S = Somatório das áreas de utilização de materiais de baixo impacte (m²)

T_M = Área total de pavimento dos espaços públicos (m²)

Para cálculo do somatório de áreas, pode-se utilizar a Tabela 16.

Tabela 16. Percentagem de Materiais Sustentáveis em Espaços Públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

No.	Material	A – Conteúdo reciclado (%)	B – Quantidade total (volume ou área)	Total Material reciclado (AxB)
1				
2				
3				
...				
n				
$T_M = \text{Área/ volume de materiais nos espaços públicos } (\sum(B_n))=$				
$P_{MS} \text{ Total de material reciclado } (\sum(A_n \times B_n / C * 100\%) =$				

São considerados materiais de baixa impacte aqueles de renovação rápida, as madeiras certificadas, os reciclados, reutilizados ou produzidos localmente.

O modelo permite a criação de tabelas que irão identificar os tipos de materiais, bem como as quantidades. É preciso caracterizar os materiais dentro do modelo e criar bases de dados com estas informações. O cálculo do PMS é feito com o uso do Dynamo.

I20 – Resíduos de Construção e Demolição

Por forma a reduzir a procura por matérias-primas virgens e os impactes associados à sua utilização, o indicador I20 tem como objetivo promover a reutilização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) (Bragança & Mateus, 2018). O indicador é calculado através da ponderação de dois parâmetros: a Percentagem de incorporação de inertes reciclados (P_{RCD}) e o Índice de valorização de RCD (I_{VRCD}).

$$\overline{I_{RCD}} = \frac{P_{RCD} \times 60\% + I_{VRCD} \times 40\%}{100\%}$$

O P_{RCD} é obtido pela razão entre o peso de inertes reciclados ou reutilizado incorporados em materiais de espaços públicos, e o peso total de inertes reciclados ou reutilizados em materiais de espaços públicos.

$$P_{RCD} = \frac{P_{IR}}{P_{TI}} \times 100\%$$

P_{RCD} = Percentagem de Incorporação de Inertes Reciclados (%)

P_{IR} = Peso de inertes reciclados ou reutilizados incorporados em materiais de espaços públicos (kg)

P_{TI} = Peso total de inertes reciclados ou reutilizados em materiais de espaços públicos (kg)

O cálculo deste parâmetro é similar ao de materiais (I19). Deve-se identificar no modelo os inertes incorporados no projeto, e a partir da base de dados dos materiais é possível extrair as quantidades referentes aos inertes. A equação para o cálculo do P_{RCD} pode ser criada no Dynamo. Já o I_{VRCD} é calculado através da pontuação obtida pela lista de verificação apresentada na Tabela 17.

Tabela 17. Lista de verificação para cálculo do Índice de valorização de RCD | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Destino (max. 80 km) dos RCD produzidos e não utilizados em obra:	
1.1	Recolha, separação e encaminhamento de 10% a 49% de RCD em obra para valorização (reutilização ou reciclagem) externa;	5
1.2	Recolha, separação e encaminhamento de 50% a 89% de RCD em obra para valorização (reutilização ou reciclagem) externa;	10
1.3	Recolha, separação e encaminhamento de 90% a 100% de RCD em obra para valorização (reutilização ou reciclagem) externa;	15
2	RCD utilizados em obra:	
2.1	RCD utilizados de origem interna;	15
2.2	RCD utilizados de origem externa num raio máximo de 80 km.	5
(max. 30 pontos) $I_{VRCD} = \sum_i =$		(I_{VRCD})

O parâmetro foi classificado como “NÃO”, pois nem todos os critérios da lista podem estar no modelo. As percentagens de RCD até poderiam ser identificadas no modelo, mas não as distâncias. Entretanto, a identificação dos tipos de RCD no modelo é um processo mais complicado de ser feito, uma vez que exigiria um nível de informações que nem sempre constam no projeto.

I21 – Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos

Este indicador tem com objetivo “a promoção da separação seletiva de resíduos e implementação de sistemas de valorização”(Bragança & Mateus, 2018). O seu cálculo é feito através da lista de verificação, conforme indicado pela Tabela 18:

Tabela 18. Lista de verificação para cálculo do Índice de Gestão de RSU | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Relação de equipamentos disponíveis por densidade populacional:	
1.1	Média <250 habitantes por ecoponto;	15
1.2	Média <500 habitantes por ecoponto ¹ ;	10
1.3	Média >500 habitantes por ecoponto;	5
2	Sistema tecnológico de controlo de contentores e sistema de recolha em, pelo menos:	
2.1	80% do volume de resíduos produzido;	15
2.2	50% do volume de resíduos produzido;	10

Tabela 18. Lista de verificação para cálculo do Índice de Gestão de RSU | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

2.3	30% do volume de resíduos produzido.	5
3	Sistema de recolha:	
3.1	Recolha porta-a-porta;	15
3.2	Recolha por sistema de reagrupamento (recolha por contentores de aproximação).	10
4	Gestão de resíduos:	
4.1	Taxa de reciclagem de RSU:	
4.1.1	Entre 50% e 62%;	10
4.1.2	Entre 63% e 70%;	15
4.1.3	Superior a 70%.	20
4.2	Incineração:	
4.2.1	Incineração com recuperação de energia superior a 21%;	15
4.2.2	Incineração com recuperação de energia entre 10% e 21%;	10
4.2.3	Incineração com recuperação de energia inferior a 10%;	5
4.3	Valorização orgânica:	
4.3.1	Valorização orgânica superior a 7%;	15
4.3.2	Valorização orgânica entre 3% e 7%;	10
4.3.3	Valorização orgânica inferior a 3%;	5
(max. 95 pontos) $I_{GRSU} = \sum =$		(I_{GRSU})
1 Valor de referência indicado no PERSU 2020		

O indicador foi classificado como “NÃO” pois os critérios da lista não podem ser extraídos do modelo tridimensional. Este tipo de critério requer uma análise do sistema de gestão de resíduos e não dos dados qualitativos ou quantitativos de projeto.

I22 – Qualidade do Ar

A qualidade do ar tem impacto direto na saúde e conforto dos habitantes. Assim, este indicador tem como objetivo reduzir os poluentes e odores nas áreas urbanas, além de fomentar o uso de energias limpas ao nível dos transportes (Bragança & Mateus, 2018). Por forma a calcular o Índice de Qualidade do Ar (I_{QA}), deve-se utilizar a lista de verificação com atribuição de pontos, de acordo com a Tabela 19:

Tabela 19. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade do Ar | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação	Pontos
<p>1 Existem fontes de odor e poluição do ar no local de intervenção do projeto ou nas suas proximidades, tal como indicado nos pontos 1, 2 e 3 do contexto e medidas a adotar?</p> <p>1.1 Não;</p> <p>1.2 Sim.</p> <p>1.2.1 Estratégias para minimização de fontes de odor e de poluição do ar²:</p> <p>Barreiras verdes com vegetação densa e adequada em redor da fonte de poluição do ar;</p> <p>Planeamento da localização das fontes poluentes afastadas das zonas residenciais e de permanência de pessoas no espaço público;</p> <p>Regulamentação antipoluição na indústria que obrigue à instalação de filtros em chaminés, ao tratamento de resíduos próprios e ao recurso a processos menos poluentes, com metas para além da legislação específica;</p> <p>Outras medidas/ estratégias consideradas para minimizar o impacto das fontes de odor e poluição do ar.</p>	<p>45</p> <p>0</p> <p>10</p> <p>10</p> <p>10</p> <p>10</p>
<p>2 Existem fontes de odor e poluição do ar no local de intervenção do projeto ou nas suas proximidades, tal como indicado no ponto 5 do contexto e medidas a adotar?</p> <p>2.1 Não;</p> <p>2.2 Sim:</p> <p>2.2.1 Uso de energias limpas em transportes coletivos de pessoas (pelo menos 30% da frota existente);</p> <p>2.2.2 Uso de energias limpas em veículos camarários (pelo menos 30% da frota existente);</p> <p>2.2.3 Promoção do uso de veículos elétricos em zonas públicas através da instalação de uma rede de carregamento apropriada;</p> <p>2.2.4 Restrição de trânsito a veículos motorizados em zonas públicas de maior ocupação (jardins, áreas comerciais, parques desportivos, junto a corredores pedonais e ciclovias, etc.);</p> <p>2.2.5 Promoção da utilização de bicicletas através da existência ou planeamento de ciclovias e respetivas infraestruturas de apoio.</p>	<p>70</p> <p>20</p> <p>10</p> <p>10</p> <p>20</p> <p>10</p>
<p>3 Existência de um plano de emergência para situações de poluição atmosférica graves.</p>	<p>10</p>
<p>(max. 120 pontos) $I_{QA} = \sum =$</p>	
<p>2 Todas as Estratégias devem estar devidamente suportadas em documentos comprovativos de sua eficácia e/ou suportadas pela opinião de técnicos especialistas em qualidade de ar.</p>	

Assim como o indicador anterior, os critérios desta lista não podem ser extraídos do modelo, e portanto, a classificação é “NÃO”.

I23 – Conforto Térmico Exterior

O presente indicado apresenta como objetivo a melhoria do conforto dos habitantes, ao mesmo tempo que promove a redução do efeito de ilha de calor (Bragança & Mateus, 2018). Por forma a avaliar o

conforto térmico exterior, deve ser calculado o Índice de Conforto Térmico (I_{CT}) através da ponderação entre a Percentagem de Espaços que proporcionam Conforto Térmico (P_{ECT}) e o Índice de Conforto Térmico Exterior (I_{CTE}):

$$\overline{I_{CT}} = \frac{P_{ECT} \times 60\% + I_{CTE} \times 40\%}{100\%}$$

A Percentagem de Espaços que Proporcionam Conforto Térmico é calculada através da seguinte equação:

$$P_{ECT} = \frac{\sum AV + \sum ACV + \sum APG + \sum APR + \sum ACR + \sum ASA + \sum ASE + \sum AA}{A_{IP}} \times 100\%$$

P_{ECT} = Percentagem de Espaços que Proporcionam Conforto Térmico (%)

AV = Áreas verdes (m^2)

ACV = Áreas de coberturas verdes (m^2)

APG = Áreas pavimentadas com grelhas de enlhecimento abertas, correspondendo a 50% de vegetação (m^2)

APR = Áreas pavimentadas com refletância igual ou superior a 60% (m^2)

ACR = Áreas de cobertura com refletância igual ou superior a 60% (m^2)

ASA = Áreas sombreadas por copas de árvores, considerando o ângulo de 45° e a altura prevista após cinco anos de ocupação (m^2)

ASE = Áreas de estruturas de sombreamento e proteção contra chuva e vento (m^2)

AA = Áreas de Superfícies de Água (fontes, espelhos de água, lagos, etc) (m^2)

A_{IP} = Área de Intervenção do Plano (m^2)

Para cálculo do P_{ECT} através do modelo, é preciso que todas as áreas sejam identificadas e que sejam criados parâmetros das áreas no modelo. Depois é estabelecida a rotina de cálculo no Dynamo para identificação das áreas e aplicação da equação.

O I_{CTE} é calculado através da lista de verificação apresentada pela Tabela 20:

Tabela 20. Lista de verificação para cálculo do Índice de Conforto Térmico Exterior | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Ruas arborizadas, considerando árvores em pelo menos 60% do desenvolvimento linear dos arruamentos, com intervalos médios inferiores a 12m.	10
2	Ruas sombreadas, considerando árvores ou outras estruturas que forneçam sombra a pelo menos 40% da área dos arruamentos – calcular área sombreada por árvores através do diâmetro estimado da coroa após 5 anos da instalação (considerando o ângulo de 45°).	10
3	Previsão de pequenas áreas de arrefecimento, tais como espaços verdes e superfícies com água, com uma distância máxima de 300 m aos edifícios habitacionais.	10
4	Área de espaços verdes superior a área de espaços pavimentados.	10
5	Distribuição do edificado de forma a não bloquear a circulação de ar.	10
(max. 120 pontos) $I_{CTE} = \sum =$		(I_{CTE})

Os itens da lista de verificação podem ser identificados no modelo e a atribuição de pontos pode ser feita através do Dynamo.

I24 – Poluição Acústica

Este indicador pretende melhorar o conforto acústico dos habitantes através da redução do ruído exterior (Bragança & Mateus, 2018). O cálculo é feito através da lista de verificação com atribuição de pontos, de acordo com a Tabela 21:

Tabela 21. Lista de verificação para cálculo do Índice de Redução da Poluição Sonora | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Existem fontes de poluição sonora no local de intervenção do projeto ou área existente?	
1.1	Não;	50
1.2	Sim.	0
1.2.1	Estratégias para redução e isolamento de fontes de ruído da área de intervenção:	
	Barreiras sonoras, de materiais adequados, modo a minimizar a transmissão de ruído a partir da fonte identificada;	10
	Barreiras verdes com vegetação densa e adequada em redor da fonte de ruído, para absorção e difusão do som;	10
	Materiais de acabamento de elevado índice de absorção acústica nos espaços públicos;	10
	Regulamentação antipoluição sonora que obrigue à instalação de equipamentos com índices de ruído nulos, com metas para além da legislação específica;	10

Tabela 21. Lista de verificação para cálculo do Índice de Redução da Poluição Sonora | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

	Outras medidas/ estratégias consideradas para minimizar o impacto das fontes de poluição sonora.	10
2	Existem vias de circulação automóvel que sejam fontes de poluição sonora no local de intervenção do projeto ou área existente?	
2.1	Não;	60
2.2	Sim:	0
2.2.1	Implementação das frotas de veículos elétricos para transporte coletivo de pessoas e mercadorias;	20
2.2.2	Promoção do uso de veículos elétricos através da instalação de uma rede de carregamento apropriada;	10
2.2.3	Restrição de trânsito a veículos motorizados em zonas específicas;	20
2.2.4	Existência ou planeamento para introdução de barreiras de contenção sonora nas vias de maior tráfego.	10
3	Campanhas de sensibilização e educação para minimização do ruído, nomeadamente através da distribuição de folhetos informativos e da organização de conferências, etc.	20
(max. 130 pontos) $I_{RPS} = \sum =$		(I_{RPS})

Assim como no caso do indicador de Qualidade do Ar, I22, os itens da lista não podem ser extraídos do modelo, e a classificação deste é “NÃO”.

I25 – Poluição Luminosa

De acordo o Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o objetivo deste indicador é “evitar a poluição luminosa através do dimensionamento eficiente da iluminação pública” (Bragança & Mateus, 2018). A determinação do Índice de Redução da Poluição Luminosa (I_{RPL}) é feita através da lista de verificação, conforme Tabela 22:

Tabela 22. Lista de verificação para cálculo do Índice de Redução da Poluição Luminosa | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação	Pontos	
1	Dimensionamento adequado da iluminação pública com focos luminosos direcionados para o pavimento e ângulos de abertura reduzidos:	
1.1	Percentagem de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente (ULOR) menor que 1% nas zonas críticas como aeroportos, hospitais, parques naturais, observatórios, áreas de proteção especial, rede natura e outras zonas críticas identificadas;	10
1.2	Rácio de Saída do Fluxo Luminoso Ascendente (ULOR) menor que 5% em zonas residenciais e fora dos centros urbanos.	10
2	Comprovação de participação de um especialista na elaboração do projeto de iluminação pública (exterior).	10

Tabela 22. Lista de verificação para cálculo do Índice de Redução da Poluição Luminosa | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

3	Colocação de sistemas inteligentes com sensores de presença articulados com sensores de luminosidade ou temporizadores para corte automático em turnos noturnos entre as 2h00 e as 5h00 (nos semáforos e MUPI's publicitários).	10
4	Previsão no regulamento do plano da minimização da iluminação cénica e decorativa em monumentos e edifícios emblemáticos.	10
5	Regulamentação que condicione os níveis de iluminação ao nível do edificado privado.	10
6	Regulamentação que condicione o uso abusivo de vidro espelhado e outros materiais refletores ao nível do edificado, voltados para o exterior.	10
(max. 70 pontos) $I_{RPL} = \sum_i =$		(I_{RPL})

Apesar de alguns itens poderem ser calculados com o uso do modelo, como é o caso do item 3, de modo geral os itens da lista não poderiam ser avaliados através do modelo. Desta forma, o indicador foi classificado como “NÃO”, pois o cálculo geral não seria beneficiado com o uso do modelo.

I26 – Segurança nas Ruas

Este indicador pretende garantir a segurança dos utilizadores, pela promoção de medidas de prevenção do crime (Bragança & Mateus, 2018). O Índice de Segurança nas Ruas (I_{SR}) é calculado através da lista de verificação com atribuição de pontos, conforme indicado pela Tabela 23:

Tabela 23. Lista de verificação para cálculo do Índice de Segurança nas Ruas | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Controlo natural de acesso:	
1.1	Limitar o acesso sem desconectar as ligações da malha urbana;	10
1.2	Uso de vegetação e elementos arquitetónicos para orientar os pedestres para as entradas desejadas e longe das áreas privadas;	10
1.3	Projetar passeios em locais seguros para os pedestres, usando-os para definir limites.	10
2	Vigilância natural:	
2.1	Evitar o paisagismo que possa criar becos sem visibilidade ou esconderijos;	10
2.2	Distribuição de usos mistos, permitindo a vigilância natural das ruas;	10
2.3	Usar iluminação noturna na escala do pedestre em áreas de alto tráfego de peões, no sentido de ajudar na orientação das pessoas e de modo que estas possam reconhecer potenciais ameaças à noite;	10
2.4	Regulamentação que exija a eliminação de empenas cegas ao longo das ruas, de modo a aumentar as fachadas ativas (vários pontos de vista dos edifícios para a rua).	10

Tabela 23. Lista de verificação para cálculo do Índice de Segurança nas Ruas | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{FR} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

3	Reforço territorial:	
3.1	Projetar lotes, ruas e casas de modo a incentivar a interação entre moradores;	10
3.2	Distinguir entradas com materiais de pavimentação diferente, alterações de elevação nas ruas através do paisagismo.	10
4	Manutenção:	
4.1	Manter os níveis de manutenção de todas as áreas comuns em padrões elevados, incluindo estradas e percursos pedonais;	10
4.2	Garantir a manutenção dos equipamentos de iluminação;	10
4.3	Manter as linhas de visão abertas, garantindo a poda das árvores e arbustos de modo a permitir o acesso visual a todas as áreas do local;	10
4.4	Manter as áreas de estacionamento com elevados padrões de qualidade, limpos e sem buracos;	10
4.5	Manter as plantações e os terrenos em boas condições de manutenção.	10
(max. 140 pontos) $I_{SR} = \sum_i =$		(I_{SR})

Neste caso, também não é possível fazer a avaliação dos itens da lista pelo modelo, pois, de modo geral, eles não podem ser identificados.

I27 – Riscos Naturais e Tecnológicos

O indicador 27 possui como objetivo a promoção da segurança da população, bem como o acesso à informação em caso de catástrofes naturais e/ ou tecnológicas (Bragança & Mateus, 2018). O cálculo é feito através da lista de verificação, de acordo com a Tabela 24:

Tabela 24. Lista de verificação para cálculo do Índice de Riscos e Planos de Evacuação | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{FR} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Foram identificados riscos naturais ou tecnológicos através de Estudos de Impacte Ambiental desenvolvidos para a área de intervenção do projeto?	
1.1	Não:	30
1.1.1	Se não, existe um Plano de Atuação e Prevenção adequado a possíveis riscos futuros.	50
1.2	Sim:	0
1.2.1	Está prevista a implementação das estratégias de minimização dos riscos naturais ou tecnológicos, de acordo com as recomendações do Estudo de Impacte Ambiental ou outro equivalente para o efeito;	40
1.2.2	Existe um Plano de Evacuação adequado que contou com os pareceres das Autoridades Competentes;	20

Tabela 24. Lista de verificação para cálculo do Índice de Riscos e Planos de Evacuação | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) – Continuação

1.2.3	Foi desenvolvida a documentação informativa para distribuição à população local, incluindo o plano de evacuação aprovado pelas autoridades competentes.	20
(max. 80 pontos) $I_{RPE} = \sum_i =$		(I_{RPE})

Mais uma vez, os critérios da lista não podem ser extraídos do modelo. A revisão da literatura encontrou alguns casos de estudo que aplicaram o CIM para avaliação de riscos, como o estudo de Xu et al.(2014). Neste caso, a proposta foi explicar como o CIM poderia auxiliar em caso de um incêndio num campus universitário. Os autores concluíram que o CIM pode auxiliar tanto na identificação mais rápida do local do incidente, quanto na escolha da melhor rota de acordo com o trânsito. Estes critérios, diferentemente dos da lista, podem ser obtidos através do modelo.

I28 – Proximidade a Serviços

O objetivo deste indicador é promover a diversificação dos serviços de modo que os habitantes possam ter acesso à estes numa escala de deslocação pedonal ou de bicicleta (Bragança & Mateus, 2018). O Índice de Proximidade a Serviços (I_{PS}) é calculado de acordo com o número de serviços existentes e a respetiva distância até as zonas habitacionais. De acordo com o Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, os serviços são divididos em classes de acordo com sua importância e frequência de uso. A Tabela 25 indica a pontuação obtida por cada tipo de serviço em relação à sua distância até as zonas residenciais:

Tabela 25. Tabela de cálculo do Índice de Proximidade a Serviços | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Classes de Serviços	Distâncias (m)						Pontos
	300	500	1000	1500	2000	>2500	
1 Centro de Saúde							
Hospital							
Dentista							
Bombeiros	9	8	7	4	2	0	
Agrupamento escolar							
Mercearia							
Café/ Snack bar							
2 Centro de vacinação							
Farmácia							
Banco							
Correios	7	6	5	3	2	0	

Tabela 25. Tabela de cálculo do Índice de Proximidade a Serviços | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

	Jardim de infância							
	Talho							
	Peixaria							
	Padaria							
3	Centro médico							
	Estabelecimentos de educação							
	Finanças							
	Restaurantes	5	4	3	2	1	0	
	Supermercados							
	Hipermercados							
	Centros comerciais							
	Salão de beleza							
(max. 168 pontos) $I_{PS} = \sum_i$								(I_{PS})

Primeiramente, é feita uma circunferência de inscrição do(s) aglomerado(s) habitacional(ais), deve ser medida a distância entre o centro da circunferência e todos os serviços relevantes, de acordo com as classes da tabela 25. Identificar aqueles serviços que estão localizados da 2500 m a partir da linha de fronteira. Os pontos são atribuídos conforme a distância entre o centro da circunferência e o serviço. Deve-se considerar o caminho mais curto para pedestres, as distâncias não devem ser medidas em linha reta. O indicador pode ser calculado pelo modelo, desde que identificados e caracterizados os serviços. A atribuição dos pontos de acordo com a Tabela 25 é feita através do Dynamo.

I29 – Equipamentos de Lazer

Através deste indicador, pretende-se promover um conjunto de amenidades de lazer de qualidade, próximo à zona habitacional(ais) (Bragança & Mateus, 2018). A metodologia de cálculo deste indicador é similar ao indicador anterior. Os equipamentos de lazer também estão distribuídos em três classes, de acordo com a Tabela 26:

Tabela 26. Tabela de cálculo do Índice de Proximidade a Equipamentos de Lazer | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Classes de Serviços	Distâncias (m)						Pontos
	300	500	1000	1500	2000	>2500	
1 Parques infantis, praças e jardins (pequena escala)							
Locais de Culto							
Centro Comunitário	9	8	7	4	2	0	
Centro desportivo/ ginásio							
Centro recreativo/ cultural							
2 Praças e Jardins (grande escala)							

Tabela 26. Tabela de cálculo do Índice de Proximidade a Equipamentos de Lazer | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT}

Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

	Piscinas								
	Museu/ Centro de Exposições	7	6	5	3	2	0		
	Salas de cinemas								
	Teatro								
3	Marginal/ praia fluvial								
	Marginal/ praia marítima								
	Parque de diversões	5	4	3	2	1	0		
	Locais de divertimento noturno								
								(max. 100 pontos) $I_{PEL} = \sum =$	(I_{PEL})

O cálculo através do modelo também é feito da mesma forma que o indicador I28.

I30 – Produção Local de Alimentos

Além de garantir o acesso a produtos frescos, a produção local de alimentos ainda contribui para o desenvolvimento económico local, promove a produção comunitária de alimentos, e auxilia na redução dos efeitos negativos da agricultura industrializada (Bragança & Mateus, 2018). A metodologia de cálculo deste indicador inclui o cálculo de dois parâmetros: o Índice de Produção Local de Alimentos (I_{PLA}) e o Índice de Promoção de Hortas Comunitárias (I_{PHC}). O primeiro é calculado tendo em conta a área destinada à produção de alimentos em relação ao número de habitantes:

$$I_{PLA} = \frac{AEPA}{NTH}$$

I_{PLA} = Área de espaços de produção de alimentos por habitante

$AEPA$ = Áreas de espaços para a produção de alimentos de uso coletivo na área do projeto urbano ou nas proximidades desde que seja provado que este possa ser utilizado pelos habitantes da área de projeto (m²)

NTH = Número total de habitantes do plano (hab)

A relação pode ser obtida pelo Dynamo, para tal é preciso caracterizar no modelo as áreas destinadas à produção de alimentos. Já o I_{PHC} é calculado através da lista de verificação com atribuição de pontos apresentados pela Tabela 27:

Tabela 27. Lista de verificação para cálculo do Índice de Promoção de Hortas Comunitárias | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação	Pontos	
1	Implementação de um programa de hortas comunitárias, de gestão organizada e regulamentada.	20
2	Espaço de produção local de alimentos, com boa exposição solar, garantindo um mínimo 4 horas de sol por dia.	10
3	Espaços para produção local de alimentos adequados e seguros, numa escala de proximidade com as zonas habitacionais (a 800m a pé)>	10
4	Integração de sistema de gestão e manutenção partilhada, através de associação de moradores ou equivalente.	10
5	Garantia de distribuição de recursos tais como, solo, equipamento para produção de composto orgânico fertilizante, água e sistemas de drenagem adequados.	10
6	Existência de local apropriado para armazenar ferramentas de forma segura.	10
7	Previsão de ações de sensibilização ambiental alargadas à população local.	10
8	Plano de incentivo à produção local de alimentos em terrenos privados.	10
(max. 90 pontos) $I_{PHC} = \sum_i =$		(I_{PHC})

Como apenas os itens 2 e 3 poderiam ser calculados com o uso do modelo, o parâmetro foi classificado como “NÃO”.

A classificação do indicador é obtida pelo Índice de Produção Local (I_{PL}) obtido através da ponderação entre o I_{PLA} e o I_{PHC} :

$$\overline{I_{PL}} = \frac{I_{PLA} \times 60\% + I_{PHC} \times 40\%}{100\%}$$

I31 – Transportes Públicos

O objetivo deste indicador é reduzir o uso do veículo privado individual através da promoção de uma rede adequada de transportes públicos. Ainda é pretendido, fomentar o uso de energias limpas ao nível dos transportes públicos (Bragança & Mateus, 2018). O Índice de Transportes Públicos (I_{TP}) é calculado através da ponderação entre o Índice de Acessibilidade a Transportes Públicos (I_{ATP}) e o Índice de Qualidade dos Transportes Públicos (I_{QTP}):

$$\overline{I_{TP}} = \frac{I_{ATP} \times 60\% + I_{QTP} \times 40\%}{100\%}$$

Tanto o I_{ATP} , quanto o I_{QTP} são calculados através de listas de verificação com atribuição de pontos, conforme as Tabelas 28 e 29:

Tabela 28. Lista de verificação para cálculo do Índice de Acessibilidade a Transportes Públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Tipos de Transporte Públicos na Área Urbana (quantidade):	
1.1	1 tipo de transporte	5
1.2	2 tipos de transporte	10
1.3	3 ou mais tipos de transporte	15
2	Número de paragens na área urbana (para todos os serviços):	
2.1	1 paragem por km ²	0
2.2	2 paragens por km ²	5
2.3	3 paragens por km ²	10
2.4	4 ou mais paragens por km ²	15
3	Frequência média de passagem diária (média ponderada para as paragens mais movimentadas por tipo de serviço):	
3.1	Inferior a 10 minutos	10
3.2	Entre 10 e 30 minutos	5
3.3	Superior a 30 minutos	0
4	Número médio de serviços em hora de ponta (média ponderada para as paragens mais movimentadas por tipo de serviço):	
4.1	Inferior a 10 por hora	0
4.2	Entre 10 e 30 por hora	5
4.3	Entre 30 e 50 por hora	10
4.4	Superior a 50 por hora	15
(max. 55 pontos) $I_{ATP} = \sum_i =$		(I_{ATP})

Para o indicador ser calculado com o uso do modelo, além da identificação das paragens deve-se considerar uma conexão com outra plataforma, como o Google Maps, que irá indicar os dados de frequência, número de serviços, paragens, etc. A pontuação pode ser atribuída através do Dynamo.

Tabela 29. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade dos Transportes Públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Tipos de oferta de transporte públicos:	
1.1	Linha de minibus	5
1.2	Rede de autocarros	5
1.3	Elétrico ou Metropolitano de superfície (velocidade média/ baixa)	5
1.4	Metropolitano (velocidade média/ alta)	5
1.5	Sistemas de partilha de bicicletas	5
2	Seleção de sistemas de transporte público mais ecológicos:	
2.1	Redes de transportes públicos que utilizam energias limpas	10
2.2	Vias exclusivas para transportes públicos	10

Tabela 29. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade dos Transportes Públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

3	Condições das paragens de transportes públicos disponibilizados (selecionar uma opção):	
3.1	Instalações de esperas cobertas	5
3.2	Instalações de espera cobertas e com banco	10
3.3	Instalações de espera cobertas, disponibilizando bancos e iluminação adequada	15
3.3	Instalações de espera cobertas, disponibilizando bancos e iluminação adequada e painéis de informação em tempo real	20
4	Criação ou existência de parques de estacionamento nas periferias com acesso a transportes públicos.	10
(max. 75 pontos) $I_{QTP} = \sum_i =$		(I_{QTP})

Os itens desta lista podem ser identificados no modelo, a exceção do item 2.1, portanto o parâmetro foi considerado como “PARCIALMENTE”. Depois de identificados e caracterizados no modelo, a pontuação pode ser atribuída pelo Dynamo.

132 – Acessibilidade Pedestre

Conforme indicado no Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o indicador tem como objetivo: “promover a mobilidade e a segurança do pedestre e a acessibilidade de pessoas de mobilidade reduzida” (Bragança & Mateus, 2018). O Índice de Acessibilidade Pedestre (I_{AP}) é calculado através da lista de verificação indicada na Tabela 30:

Tabela 30. Lista de verificação para cálculo do Índice de Acessibilidade Pedestre | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Dimensões das vias de percurso pedonal (selecionar uma opção):	
1.1	Todos os passeios têm uma largura livre inferior a 1,5m;	5
1.2	Todos os passeios têm uma largura livre superior a 1,5m;	10
2	Equipamentos urbanos em vias pedonais (selecionar uma opção):	
2.1	As vias de percurso pedonal são compostas por equipamentos urbanos básicos como postes de iluminação pública, sinalética vertical, papeleiras, instalações de espera de transportes públicos e telefones públicos;	5
2.2	Além dos equipamentos urbanos identificados no item 2.1, as vias de percurso pedonal contemplam também vegetação (árvores, arbustos ou paredes verdes), bancos de jardim e pelo menos um marco do correio;	10
2.3	Além dos equipamentos urbanos identificados no item 2.2, as vias de percurso pedonal contemplam ainda contentores diferenciados de resíduos recicláveis, estruturas de estacionamento de bicicletas, e painéis de informação em tempo real.	20

Tabela 30. Lista de verificação para cálculo do Índice de Acessibilidade Pedestre | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

3	Acessibilidade e conectividade:	
3.1	Todos os percursos são acessíveis a pessoas com mobilidade condicionada.	5
4	Segurança e proteção (selecionar uma opção):	
4.1	As vias de percurso pedonal detêm soluções que permitem ao peão efetuar o atravessamento das vias de tráfego rodoviário com maior segurança, como a redução do raio de curva dos cruzamentos e o prolongamento dos passeios;	5
4.2	As vias de percurso pedonal apresentam guardas de proteção ou outras estratégias similares, para separação dos percursos pedonais das vias de tráfego rodoviário.	10
5	Atratividade dos percursos pedonais (selecionar uma opção)	
5.1	As vias de percurso pedonal são apelativas do ponto de vista estético, constituídas por materiais que garantam a sua durabilidade;	5
5.2	Além de atender ao item 5.1, as vias de percurso pedonal são contíguas a espaços e edifícios com atividades diversificadas, nomeadamente comércio e atividades de lazer entre outras;	10
5.3	Além de atender ao item 5.2, as vias de percurso pedonal apresentam uma distribuição equilibrada de arte urbana, como estátuas, esculturas, entre outros.	20
(max. 70 pontos) $I_{AP} = \sum_i =$		(I_{AP})

Mesmo que alguns itens, como o item 1, possam ser calculados pelo modelo, de modo geral, as informações da lista não podem ser extraídas do modelo. Desta forma, o indicador foi considerado como “NÃO”.

I33 – Rede de Ciclovias

Este indicador pretende promover o uso da bicicleta como meio de transporte, bem como a utilização de meios de transporte não poluentes (Bragança & Mateus, 2018). O cálculo do Índice de Qualidade da Rede de Ciclovias (I_{QRC}) é feito através da lista de verificação com atribuição de pontos, conforme

Tabela 31:

Tabela 31. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade da Rede de Ciclovias | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Estratégia de tipo de vias cicláveis (selecionar uma opção)	
1.1	Inexistência de vias cicláveis no interior da área de intervenção;	0

Tabela 31. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade da Rede de Ciclovias | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{Fr} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

1.2	Vias de tráfego partilhado (rodoviário/ ciclável) considerando uma largura da zona de circulação de bicicletas de pelo menos 1,4m;	5
1.3	Faixa cicláveis nas vias de trânsito, com largura mínima de 1,5m, considerando separação física entre esta e a faixa de tráfego rodoviário;	10
1.4	Pistas partilhadas (ciclável/ pedonal) com largura mínima de 2,5m;	15
1.5	Ciclovias exclusivas para circulação de bicicletas, segregadas da rede viária e separadas dos percursos pedonais. Ciclovias unidirecionais com largura mínima de 1,20m e bidirecionais com largura mínima de 2,0m.	20
2	Nível de segurança nos cruzamentos com outras vias (selecionar uma opção):	
2.1	Vias cicláveis sem medidas especiais de segurança ao nível dos cruzamentos,	0
2.2	Sinalização horizontal, ao nível do pavimento, assinalando devidamente os sentidos de fluxo dos percursos, reforçando com sinalização vertical nos cruzamentos com as restantes vias de tráfego;	5
2.3	Atende ao item 2.2, considerando a colocação de semáforos específicos no cruzamento das vias cicláveis com as vias de tráfego de outros usos.	10
3	Conexão com rede ciclável externa à área de intervenção (selecionar uma opção):	
3.1	Inexistência de rede ciclável externa à área de intervenção;	0
3.2	Distância entre a rede ciclável externa existente e a rede ciclável do projeto superior a 1000m;	5
3.3	Distância entre a rede ciclável externa existente e a rede ciclável do projeto superior até 1000m, inclusive;	10
3.4	Ligação direta entre a rede ciclável externa existente e a rede ciclável do projeto urbano em análise.	20
4	Continuidade das vias cicláveis dentro da área de intervenção (selecionar uma opção):	
4.1	Vias cicláveis em troços, sem estabelecerem ligação entre si;	0
4.2	Apenas uma via ciclável contínua, fazendo o atravessamento de toda área de intervenção;	5
4.3	Rede contínua de vias cicláveis, estabelecendo vários trajetos diretos dentro da área de intervenção;	10
4.4	Rede contínua de vias cicláveis, estabelecendo trajetos diretos entre zonas funcionais dentro e fora da área de intervenção.	20
5	Parque de estacionamento para bicicletas (selecionar uma opção):	
5.1	Inexistência de parques de estacionamento para bicicletas;	0
5.2	Parques de estacionamento de bicicletas descobertos (sem qualquer proteção contra intempéries);	5
5.3	Parques de estacionamento de bicicletas cobertos (considerando que pelo menos 60% dos estacionamentos apresentam proteção contra intempéries);	10
5.4	Além de atender ao item 2.3, é desenvolvida regulamentação que impões a instalação de balneários com duche e cacifos nos edifícios a construir no âmbito do projeto urbano em análise.	20
6	Proximidade da rede ciclável aos transportes públicos (selecionar uma opção):	
6.1	Rede ciclável com parques de estacionamento de bicicletas a uma distância superior a 100m das paragens de transporte público;	0
6.2	Rede ciclável com parques de estacionamento de bicicletas a uma distância superior entre 50 e 100m das paragens de transporte público;	5
6.3	Rede ciclável com parques de estacionamento de bicicletas a uma distância inferior a 50m das paragens de transporte público;	10

Tabela 31. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade da Rede de Ciclovias | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{Fr} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

6.4	Paragens de transporte público com integração de parques de estacionamento de bicicletas associados à rede ciclável.	20
7	Nível de conforto das vias cicláveis	
7.1	Rede ciclável desenhada de forma a reduzir o nível de esforço nos percursos, estabelecendo trajetos curtos e de baixo declive;	5
7.2	Áreas cicláveis arborizadas numa extensão mínima de 500m;	5
7.3	Áreas cicláveis cobertas (apresentando algum tipo de proteção contra intempéries) numa extensão mínima de 500m;	5
7.4	Distribuição regular de pontos de descanso e abrigo de proteção contra intempéries;	5
7.5	Existência de uma separação física entre o estacionamento automóvel e a ciclovia, quando ambos se encontram no mesmo nível de pavimento.	5
8	Programa de educação e sensibilização para o uso de ciclovias (selecionar uma opção):	
8.1	Inexistência de plano de educação e sensibilização para uso de ciclovias;	0
8.2	Programa de campanhas de educação e sensibilização para o uso de ciclovias a implementar junto da população local.	20
(max. 155 pontos) $I_{ORC} = \sum =$		(I_{ORC})

O indicador foi considerado como “PARCIALMENTE” pois o item 8 não pode ser extraído do modelo. Os demais itens podem ser calculados pelo modelo, mas precisam estar caracterizados e identificados. A atribuição dos pontos é feita através do Dynamo.

134 – Espaços Públicos

O indicador de Espaços Públicos pretende promover a vivência nas cidades, a partir da avaliação da existência e qualidade dos espaços públicos, sejam eles existentes ou planeados (Bragança & Mateus, 2018). O Índice de Espaços Públicos (I_{EP}) é calculado através da ponderação de três parâmetros: a Percentagem de Espaços Públicos Abertos (P_{EPA}), o Índice de Disponibilidade de Espaços Públicos por Habitante (I_{DEPH}) e o Índice de Qualidade dos Espaços Públicos (I_{QEP}). A ponderação destes três parâmetros é obtida pela equação:

$$\overline{I_{EP}} = \frac{P_{EPA} \times 25\% + I_{DEPH} \times 25\% + I_{QEP} \times 50\%}{100\%}$$

A percentagem de Espaços Públicos Abertos (P_{EPA}) é obtida pela equação:

$$P_{EPA} = \frac{AEP}{A_{IP}} \times 100\%$$

P_{EPA} = Percentagem de Espaços Públicos Abertos (%)

AEP = Área de Espaços Públicos abertos (m²)

A_{IP} = Área de Intervenção do Plano (m²)

O cálculo deste parâmetro pode ser feito com o uso do modelo através do Dynamo. Assim como em indicadores anteriores, primeiramente é feita a caracterização das áreas no modelo e segue-se à rotina de cálculo no Dynamo.

O segundo parâmetro, Índice de Disponibilidade de Espaços Públicos por Habitante (I_{DEPH}), é calculado através da equação:

$$I_{DEPH} = \frac{AEP}{NTH}$$

I_{DEPH} = Disponibilidade de Espaços Públicos por Habitante (m²/hab)

AEP = Área de Espaços Públicos abertos (m²)

NTH = Número total de habitantes previstos (hab)

Como no parâmetro anterior, este cálculo também pode ser feito com o uso do modelo. A informação complementar a ser adicionada à rotina de cálculo é o número de habitantes previstos.

O terceiro parâmetro, Índice de Qualidade dos Espaços Públicos (I_{QEP}), é calculado através da lista de verificação com atribuição de pontos, de acordo com a Tabela 32:

Tabela 32. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade dos Espaços Públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{Fr} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Diversidade de espaços públicos (selecionar uma opção):	
1.1	Apenas uma tipologia;	0
1.2	Duas tipologias (praça + jardim);	5
1.3	Três tipologias (praça + jardim + outra);	10
1.4	Quatro ou mais tipologias diferentes.	20
2	Qualidade dos espaços públicos de permanência, em pelo menos 80% dos espaços:	
2.1	Distribuição de bancos ou outras estruturas para sentar;	5
2.2	Existência de mesas com assentos;	5

Tabela 32. Lista de verificação para cálculo do Índice de Qualidade dos Espaços Públicos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{Fr} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

2.3	Existência de bebedouros (adequados a crianças e adultos);	5
2.4	Distribuição de papeleiras (resíduos indiferenciados);	5
2.5	Distribuição de minis ecopontos para deposição seletiva de resíduos recicláveis (considerando um mínimo de três tipos de resíduos);	5
2.6	Existência de sombreamento (através de vegetação ou estruturas);	5
2.7	Existência de zonas de proteção pluvial (sobretudo estruturas físicas);	5
2.8	Adequadas proteções nas caldeiras das árvores (revestimento que permita a passagem pedonal sem comprometer a permeabilidade);	5
2.9	Sistemas de proteção à intrusão por parte dos veículos (pilaretes, ...);	5
2.10	Existência de equipamentos lúdicos (para crianças e adultos);	5
2.11	Distribuição adequada de iluminação;	5
2.12	Existência de zona de cinzeiro público com areia.	5
3	Qualidade das ruas como vias locais de vivência, em pelo menos 80% das ruas:	
3.1	Distribuição de bancos ou outras estruturas para sentar;	5
3.2	Distribuição de outro mobiliário urbano (papeleiras, cinzeiros, etc);	5
3.3	Existência de sombreamentos (através de vegetação ou estruturas);	5
3.4	Adequadas proteções nas caldeiras das árvores (revestimento que permita a passagem pedonal sem comprometer a permeabilidade);	5
3.5	Sistemas de proteção à intrusão por parte dos veículos automóveis (pilaretes ou outras estratégias devidamente comprovadas);	5
3.6	Escala humana na relação da rua com o edificado, tendo em conta uma proporção entre largura e altura $L \times A \approx 1$	5
(max. 110 pontos) $I_{QEP} = \sum_i =$		(I_{QEP})

Os itens da lista podem ser calculados com o uso do modelo e aplicação de rotina no Dynamo. Para tal, é preciso caracterizar as informações no modelo para que o Dynamo possa contabilizá-las e fazer o somatório de pontos.

I35 – Valorização do Património

Por forma a valorizar o património histórico construído e natural do local, o presente indicador pretende implementar medidas de mitigação do impacto da construção na paisagem e promover a utilização pública e dinamização do património (Bragança & Mateus, 2018). Para cálculo do Índice de Valorização do Património (I_{VP}) deve-se ter em conta as características existentes no local e fazer a averiguação destas conforme a Tabela 33:

Tabela 33. Lista de verificação para cálculo do Índice de Valorização do Património | Adaptada de Guia de Avaliação SBTTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Elaboração de um estudo de identificação do património local existente (construído, natural e histórico):	15
2	Promoção da integração do projeto no contexto local, tendo em conta o património construído existente:	
2.1	Promoção da conservação/ utilização de sistemas construtivos tradicionais;	5
2.2	Promoção da manutenção da cércea/ volumetria existente;	5
2.3	Incentivo de utilização da paleta de cores predominante;	5
2.4	Aproveitamento do declive natural do terreno para o edificado.	5
3	Promoção da integração do projeto no contexto local, tendo em conta o património natural existente:	
3.1	Identificação das áreas verdes existentes e criação de medidas de manutenção/ valorização destas;	5
3.2	Identificação das espécies de flora e fauna existentes no local e criação de medidas de proteção.	5
4	Manutenção e dinamização do património histórico construído e natural existente para utilização pública:	
4.1	Atribuição de novos usos de acordo com as necessidades do presente;	5
4.2	Criação de percursos turísticos para dar a conhecer o património aos habitantes locais e visitantes;	5
4.3	Outras medidas de promoção do património existente.	5
(max. 60 pontos) $I_{VP} = \sum_i =$		(I_{VP})

Apesar do BIM já ser utilizado como ferramenta para apoio à gestão, conservação, renovação e *retrofitting* do património histórico, inclusive com adoção da denominação H-BIM (*Heritage Building Information Modelling*) (Khalil & Stravoravdis, 2022), os itens da lista não podem ser calculado através da proposta modelo e Dynamo.

I36 – Inclusão e Integração Social

De acordo com o Guia de Avaliação do SBTTool^{PT} Urban, o objetivo deste indicador é “promover a habitação acessível a todas as pessoas, independentemente da idade, género, religião, etnia ou espectro social” (Bragança & Mateus, 2018). Para cálculo do presente indicador é preciso determinar o Índice Social (I_S), obtido através da ponderação de dois parâmetros: a Percentagem de Habitações para Integração e Inclusão Social (P_{HS}) e o Índice de Participação dos Vários Elementos da Sociedade no Projeto (I_{PS}). A ponderação dos parâmetros é feita de acordo com a equação:

$$\bar{I}_S = \frac{P_{HS} \times 60\% + I_{PS} \times 40\%}{100\%}$$

A Percentagem de Habitações para Integração e Inclusão Social, P_{HS} , é calculada através da equação:

$$P_{HS} = \frac{(H_S + R_J)}{T_{FH}} \times 100\%$$

P_{HS} = Percentagem de Habitações para Integração e Inclusão Social (%)

H_S = Número de frações de habitação social previstas (vg)

R_J = Número de frações para residência de jovens previstas (vg)

T_{FH} = Número total de frações habitacionais previstas (vg)

O parâmetro pode ser calculado com o uso do modelo, para tanto é preciso identificar e caracterizar todas as frações de habitação existentes e depois aplicar a rotina do Dynamo.

Já o Índice de Participação dos Vários Elementos da Sociedade no Projeto, I_{PS} , é calculado através da lista de verificação com atribuição de pontos apresentada na Tabela 34:

Tabela 34. Lista de verificação para cálculo do Índice de Participação dos Vários Elementos da Sociedade no Projeto | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Desenvolvimento de um processo participativo dos habitantes locais no decorrer do projeto.	15
1.1	Integração de elementos e associações dos vários estratos sociais e económicos pré-existentes no local no processo participativo;	5
1.2	Integração de elementos de grupos sociais vulneráveis (idosos, indivíduos, portadores de deficiência física ou com mobilidade reduzida) no processo participativo;	5
1.3	Integração das diferentes etnias/nacionalidades/religiões pré-existentes no local do processo participativo.	5
2	Existência de uma associação de moradores.	15
3	Promover a agregação urbana através do desenho integrado das diferentes áreas dentro do espaço urbano a avaliar.	10
(max. 55 pontos) $I_{PS} = \sum_i =$		(I_{PS})

Este parâmetro foi classificado como “NÃO” pois os itens da lista não podem ser verificados através do modelo.

137 – Viabilidade Económica

Tendo em vista a avaliação dos custos de operação e manutenção, o presente indicador pretende otimizar os custos iniciais do projeto (Bragança & Mateus, 2018). Por forma a dar cumprimento ao indicador, deve-se incluir um Estudo de Viabilidade Económica e Financeira (EVEF), e determinar o Índice de Viabilidade Económica (I_{VE}) conforme a lista de verificação da Tabela 35:

Tabela 35. Lista de verificação para cálculo do Índice de Viabilidade Económica | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Estudo Económico:	Obrigatório
2	O Estudo Económico inclui:	
2.1	O enquadramento socioeconómico do empreendimento;	5
2.2	Identificação das principais áreas de negócio do empreendimento;	5
2.3	Cálculo do custo do ciclo de vida (LCC) do projeto, contemplando as fases do berço ao túmulo (<i>cradle-to-grave</i>);	10
2.4	Identificação de metas e medidas para diminuir o LCC nas diversas fases do projeto urbano;	10
2.5	Identificação de estratégias alternativas de financiamento do projeto (financiamento público ou privado);	10
2.6	Plano de redução dos custos de operação e manutenção, que deverá estar disponível aos diversos intervenientes na fase de operação/ utilização do projeto;	10
2.7	Quantificação da Taxa Interna de Retorno (TIR).	10
(max. 60 pontos) $I_{VE} = \sum =$		(I_{VE})

O indicador foi classificado como “NÃO”, a exceção do item 2.3, que poderia ser calculado com auxílio do modelo, os demais itens não podem, e concluiu-se que este indicador não se beneficiaria do modelo para seu cálculo.

I38 – Economia Local

Segundo Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o objetivo deste indicador é “promover a economia local pela diversificação de bens e serviços potenciando a circulação interna, numa lógica de balanço zero” (Bragança & Mateus, 2018). O cálculo do indicador é feito a partir da ponderação de dois índices: o Índice de Diversidade de Usos (I_{DU}) e o Índice de Promoção da Economia Local (I_{PEL}), o resultado é o Índice de Economia Local Social (I_{EL}):

$$\overline{I_{EL}} = \frac{I_{DU} \times 50\% + I_{PE} \times 50\%}{100\%}$$

O I_{DU} é calculado a partir da seguinte lista de verificação apresentada na Tabela 36:

Tabela 36. Lista de verificação para cálculo do Índice de Diversidade de Usos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Percentagem de área bruta afeta a serviços (escritórios, agências bancárias, serviços públicos, escolas, unidades industriais, entre outras):	

Tabela 36. Lista de verificação para cálculo do Índice de Diversidade de Usos | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

1.1	10% - 20%;	5
1.2	20% - 40%;	15
1.3	40% - 60%;	10
1.4	60% - 80%.	5
2	Percentagem de área bruta afeta a habitação:	
2.1	10% - 20%;	5
2.2	20% - 40%;	15
2.3	40% - 60%;	10
2.4	60% - 80%.	5
3	Percentagem de área bruta afeta a comércio:	
3.1	10% - 20%;	5
3.2	20% - 40%;	15
3.3	40% - 60%;	10
3.4	60% - 80%.	5
(max. 45 pontos) $I_{DU} = \sum_i =$		(I_{DU})

Os itens da lista podem ser calculados com o uso do modelo, desde que as áreas estejam caracterizadas e identificadas, as percentagens podem ser calculadas com o uso do Dynamo, onde também é possível atribuir a pontuação de acordo com a lista.

O segundo parâmetro, I_{PEL} , também é calculado através de uma lista de verificação, conforme indicado pela Tabela 37:

Tabela 37. Lista de verificação para cálculo do Índice de Promoção da Economia Local | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018)

Lista de Verificação		Pontos
1	Estudo Económico, incluindo:	Obrigatório
1.1	Identificação dos principais serviços e comércio local pré-existentes;	5
1.2	Identificação dos principais serviços e comércio local necessárias.	5
2	Elaboração de plano de incentivo para o investimento privado no local:	15
2.1	Identificação das áreas com maior potencial de investimento;	5
2.2	Existência de benefícios atribuídos a investidores.	5
(max. 35 pontos) $I_{PEL} = \sum_i =$		(I_{PEL})

Entretanto, os itens desta lista, assim como os do indicador I37, não podem ser extraídos do modelo, portanto, o parâmetro é considerado como “NÃO”.

I39 – Empregabilidade

O indicador tem como objetivo promover o emprego no local com a criação de postos de trabalho (Bragança & Mateus, 2018). Para cálculo do indicador é feita a relação entre o número de empregos previstos face à população ativa prevista.

$$P_{EL} = \frac{E_P}{P_{LP}} \times 100\%$$

P_{EL} = Percentagem de Emprego Local (%)

E_P = número de empregos previstos (vg)

P_{LP} = População local ativa prevista (vg)

O indicador foi classificado como “NÃO” pois estes critérios não podem ser inseridos e extraídos do modelo.

I40 – Edifícios Sustentáveis

Os dois últimos indicadores pertencem às categorias de avaliação adicionais, para atribuição de pontos extras. Conforme descrito no Guia de Avaliação do SBTool^{PT} Urban, o indicador 40 “pretende premiar a construção de edifícios sustentáveis e apresenta como objetivo promover a sustentabilidade ao nível do edificado” (Bragança & Mateus, 2018). O seu cálculo é feito através da lista de verificação com atribuição de pontos, conforme Tabela 38:

Tabela 38. Lista de verificação para cálculo do Índice de Sustentabilidade do Edificado | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Cumprimento de diretrizes de recomendação relativas à sustentabilidade do edificado, propostas pela autarquia.	5
2	Promoção da sustentabilidade dos edifícios públicos por parte da autarquia:	

Tabela 38. Lista de verificação para cálculo do Índice de Sustentabilidade do Edificado | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

2.1	Recomendação para certificação da construção sustentável;	10
2.2	Benefícios para edifícios com certificação sustentável;	15
2.3	Benefícios para edifícios com certificação sustentável com classificação mínima B ou equivalentes.	20
3	Promoção da sustentabilidade dos edifícios de habitação por parte da autarquia:	
3.1	Recomendação para certificação da construção sustentável;	10
3.2	Benefícios para edifícios com certificação sustentável;	15
3.3	Benefícios para edifícios com certificação sustentável com classificação mínima B (SBTool ^{PT} - H) ou equivalentes.	20
(max. 40 pontos) $I_{ES} = \sum_i =$		(I_{ES})

Este indicador também foi classificado como “NÃO” por não ser possível extrair do modelo as informações necessárias para atribuição dos pontos.

I41 – Gestão Ambiental

O último indicador pretende promover a gestão integrada dos vários aspetos ambientais, numa perspetiva de Smart City (Bragança & Mateus, 2018). O índice de Utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação (I_{TIC}) é calculado através da lista de verificação, de acordo com a Tabela 39:

Tabela 39. Lista de verificação para cálculo do Índice de Utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação | Adaptada de Guia de Avaliação SBTool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continua

Lista de Verificação		Pontos
1	Previsão da implementação de um sistema integrado de gestão inteligente de vários aspetos ambientais, incluindo:	
1.1	Consumos de energia elétrica nos espaços/ edifícios públicos e nas áreas habitacionais;	5
1.2	Consumos de água potável nos espaços/ edifícios públicos e nas áreas habitacionais;	5
1.3	Produção de resíduos nos espaços/ edifícios públicos e nas áreas habitacionais;	5
1.4	Produção de efluentes líquidos nos espaços/ edifícios públicos e nas áreas habitacionais.	5
2	Utilização do sistema para gestão de outros aspetos do espaço urbano:	
2.1	Transportes públicos urbanos;	5
2.2	Iluminação pública;	5
2.3	Rega de espaços públicos.	5
3	Periodicidade de divulgação de dados estatísticos:	
3.1	Mensal;	10
3.2	Trimestral;	5
3.3	Anual.	1

Tabela 39. Lista de verificação para cálculo do Índice de Utilização de Tecnologias de Informação e Comunicação | Adaptada de Guia de Avaliação SBtool^{PT} Urban (Bragança & Mateus, 2018) - Continuação

4	Meios de divulgação:	
4.1	A informação é distribuída online a todos os habitantes (por meio digital ou físico) e está disponível online;	10
4.2	Adicionalmente a informação está disponível online.	5
5	Possibilidade de visualização e monitorização dos parâmetros ambientais em tempo real.	10
(max. 70 pontos) $I_{TIC} = \sum_i =$		(I_{TIC})

Os itens 1 e dois até poderiam ser extraídos do modelo, porém, de modo geral, os demais itens não. Assim, o indicador foi classificado como “NÃO”, já que não teriam muitos benefícios no uso do modelo para cálculo.

A análise minuciosa dos indicadores e seus respectivos parâmetros de cálculo evidenciou que o método proposto apresenta potencial para ser utilizado como ferramenta para automatização dos cálculos. A Tabela 40 apresenta o resultado da classificação dos parâmetros.

Tabela 40. Resultado da classificação dos parâmetros

Categoria	Indicadores	Parâmetros	Número de Parâmetros que tem a possibilidade de serem avaliados através do CIM		
			SIM	NÃO	PARCIALMENTE
C1 - Forma Urbana	3	4	4	0	0
C2 - Uso do solo e Infraestruturas	5	6	6	0	0
C3 - Ecologia e Biodiversidade	4	4	3	1	0
C4 - Energia	3	3	1	0	2
C5 - Água	3	4	1	1	2
C6 - Materiais e Resíduos	3	4	2	2	0
C7 - Conforto Exterior	4	5	2	3	0
C8 - Segurança	2	2	0	2	0
C9 - Amenidades	3	4	3	1	0
C10 - Mobilidade	3	4	1	0	3
C11 - Identidade Local e Cultural	3	6	4	2	0
C12 - Emprego e Desenvolvimento Económico	3	4	1	3	0
C13 - Edifícios	1	1	0	1	0
C14 - Ambiente	1	1	0	1	0
TOTAL	41	52	28	17	7

Verificou-se que dos 52 parâmetros, um total de 28 podem ser calculados de forma completa por meio da utilização do modelo, enquanto outros 7 podem se obtidos parcialmente. Por outro lado, foi identificado que 17 parâmetros não podem ser obtidos através do CIM, e, portanto, foram classificados como “NÃO”. Entretanto, é importante destacar que, mesmo para estes parâmetros, é possível extrair

algumas informações relevantes a partir do modelo, o que reforça o potencial do método para automatização do cálculo dos indicadores do SBTool^{PT} Urban.

4.3 Estudo de caso: aplicação do método

Por forma a validar e exemplificar a aplicação o método proposto, foi feita a aplicação no indicador I9 – Distribuição de Espaços Verdes. Este indicador avalia a distribuição de espaços verdes dentro dos limites da área de intervenção do projeto, e tem como objetivo “promover a continuidade ecológica dentro dos centros urbanos”(Bragança & Mateus, 2018). O cálculo é feito através da quantificação da Área de Espaços Verdes em relação à Área Total de Intervenção do Plano, desta relação é obtida a Percentagem de Espaços Verdes (P_{EV}):

$$P_{EV} = \frac{A_{EV}}{A_{IP}} \times 100\%$$

P_{EV} = Percentagem de Espaços Verdes

A_{EV} = Somatório da Área de Espaços Verdes (m²)

A_{IP} = Área de Intervenção do Plano (m²)

Para o presente caso de estudo, buscou-se uma área urbana em Portugal, tendo em consideração que o SBTool^{PT} Urban é uma metodologia adaptada ao contexto português. A área escolhida situa-se na cidade do Porto, na zona da Boavista, que é uma zona adensada da cidade, com áreas verdes e de uso misto (áreas residenciais e comerciais). A Figura 07 mostra uma vista área da região. A escolha também teve em consideração a disponibilidade de informações geográficas (GIS) de acesso aberto, de modo que o modelo digital pudesse ter a maior quantidade de informações possíveis.

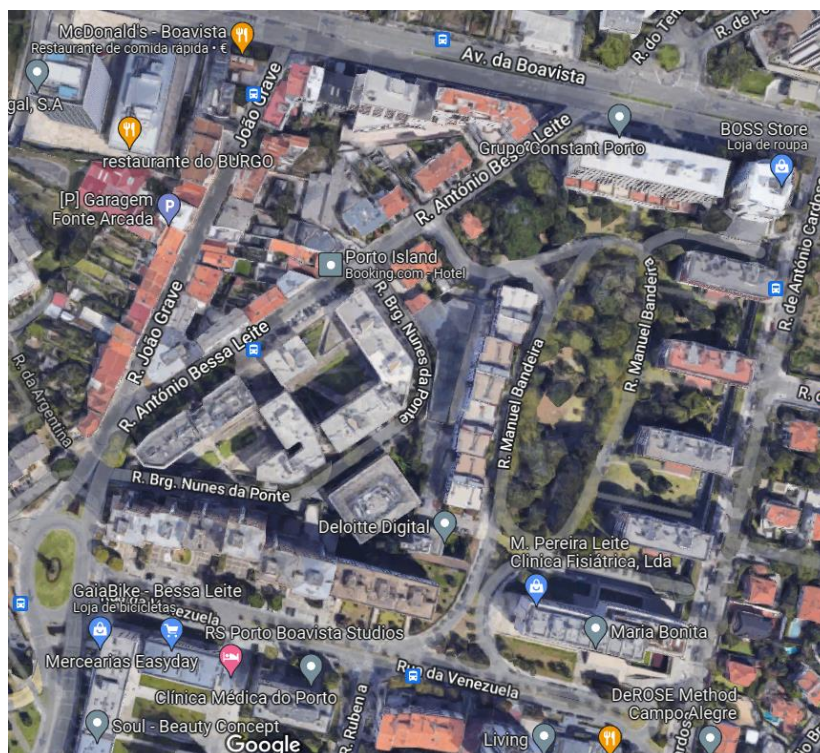


Figura 07. Imagem aérea da zona seleccionada para caso de estudo

Conforme descrito na secção 4.1 deste capítulo, a primeira etapa do processo é a modelação das informações na plataforma CIM, composta pelo *software* Autodesk Revit, com inserção das informações geográficas através da ferramenta *online* CADMAPPER. Uma vez que as informações da área urbana seleccionada foram inseridas no Revit é preciso fazer a caracterização das superfícies, indicando ruas, passeios, áreas verdes, e demais informações pertinentes para avaliação do indicador. Na sequência é necessário criar os parâmetros personalizados de acordo com os dados necessários para cálculo do indicador.

Tendo em conta que o indicador a ser calculado é a Percentagem de áreas verdes, foi criado um parâmetro personalizado chamado “*IsGreenArea*”, usando a função *Parâmetros Compartilhados* do Revit. As áreas verdes identificadas no projeto foram caracterizadas com este parâmetro, conforme ilustrado pela Figura 08, de modo a serem calculadas pela rotina de programação do Dynamo.

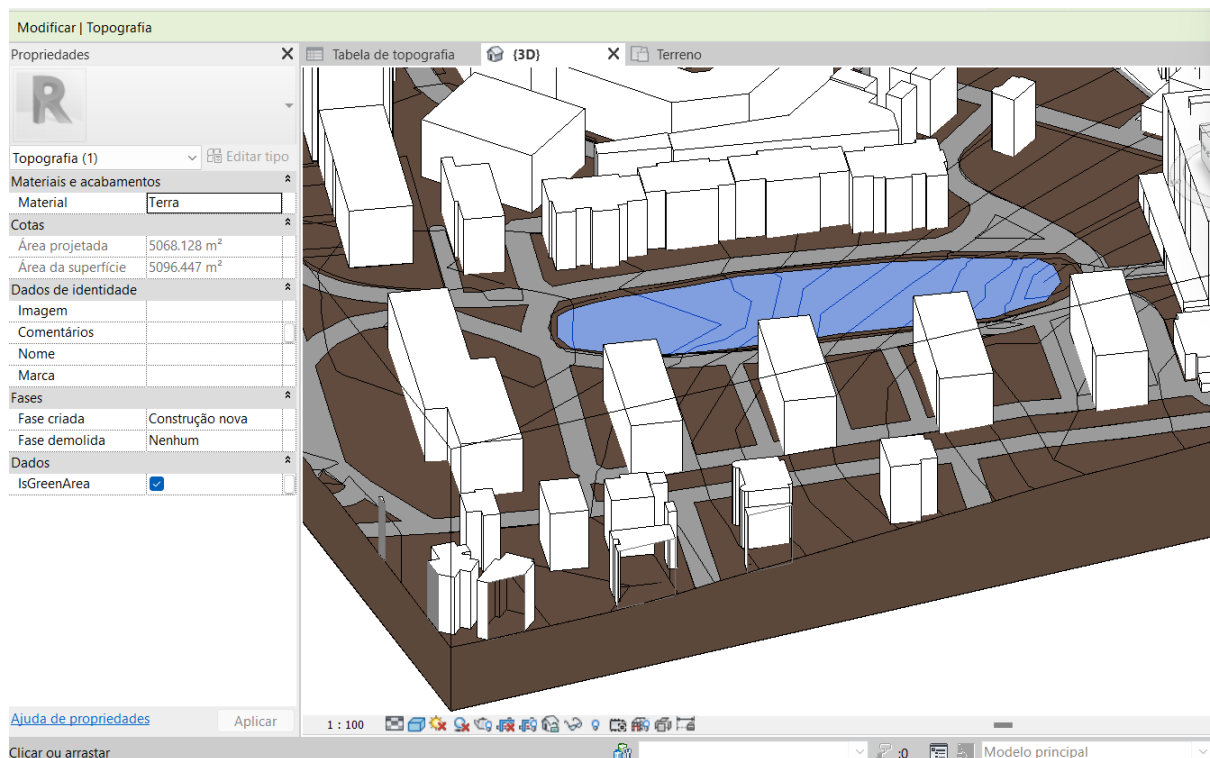


Figura 08. Caracterização das áreas verdes de acordo com o parâmetro criado *IsGreenArea*

Após a caracterização das áreas verdes, a segunda etapa do processo é estabelecer a rotina de programação do Dynamo para cálculo destas áreas no projeto. De modo geral, a programação irá buscar as informações das áreas verdes no Revit, efetuar o cálculo da percentagem de áreas verdes, aplicar a equação de normalização e por fim, o valor obtido é convertido na escala qualitativa. O primeiro passo da rotina de programação é estabelecer onde serão encontradas as informações das áreas verdes, estes são os dados de entrada da programação, que no caso, são a topografia do terreno e o parâmetro *IsGreenArea*, conforme ilustrado pela Figura 09.

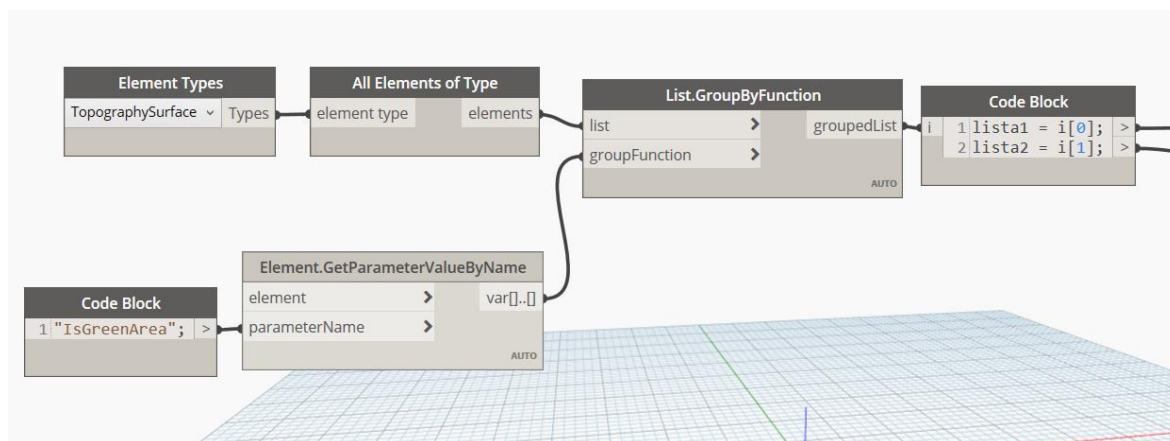


Figura 09. Caracterização da informação na rotina do Dynamo

Com estes dados é possível se estabelecer as áreas verdes e não verdes dentro da área projetada, e então é calculada a relação entre elas para se obter a Percentagem de Áreas Verdes (P_{EV}), conforme a Figura 10.

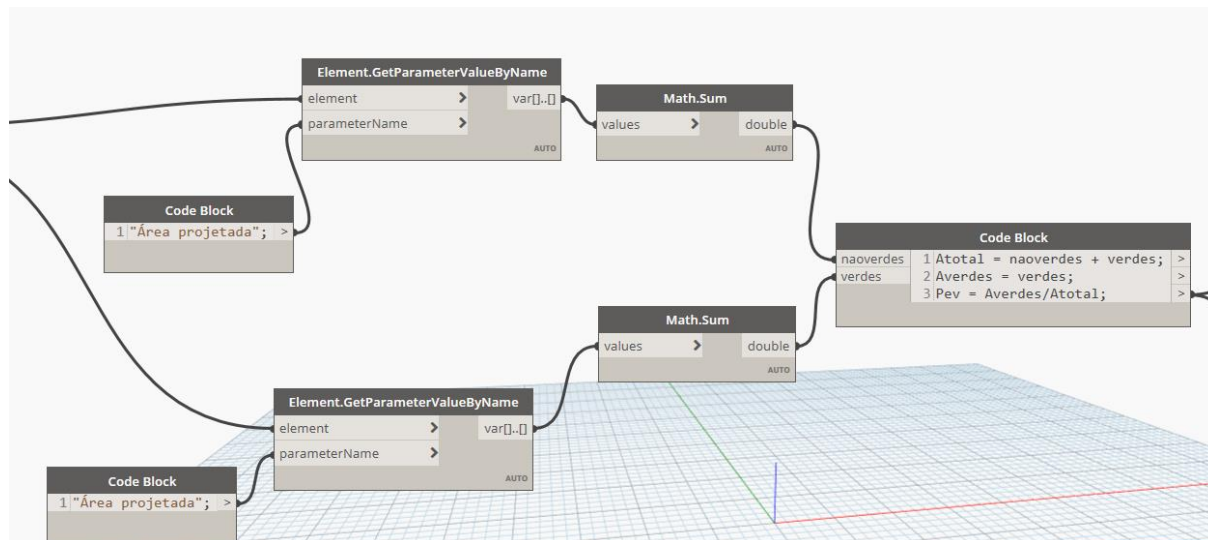


Figura 10. Cálculo da percentagem de áreas verdes P_{EV}

Em seguida, é realizada a normalização. Para tal são utilizados os *benchmarks* indicados pelo Guia de Avaliação do SBT^{PT} Urban, que são:

Melhor Prática: $P_{EV}^* = 42\%$ (I9.1)

Prática convencional: $P_{EV}^* = 8\%$ (I9.2)

Área em estudo: $P_{EV} = X\%$ (I9.3)

Estes serão os dados de entrada na equação de normalização, e o resultado da normalização é o dado de entrada para a escala qualitativa. Aplica-se equação de Diaz-Balteiro para normalização do parâmetro e converte-se o valor obtido na escala qualitativa, apresentada na secção 4.1 (equação 01) deste capítulo, onde E representa o nível menos sustentável e A⁺ o nível mais sustentável. Este processo está ilustrado na Figura 11.

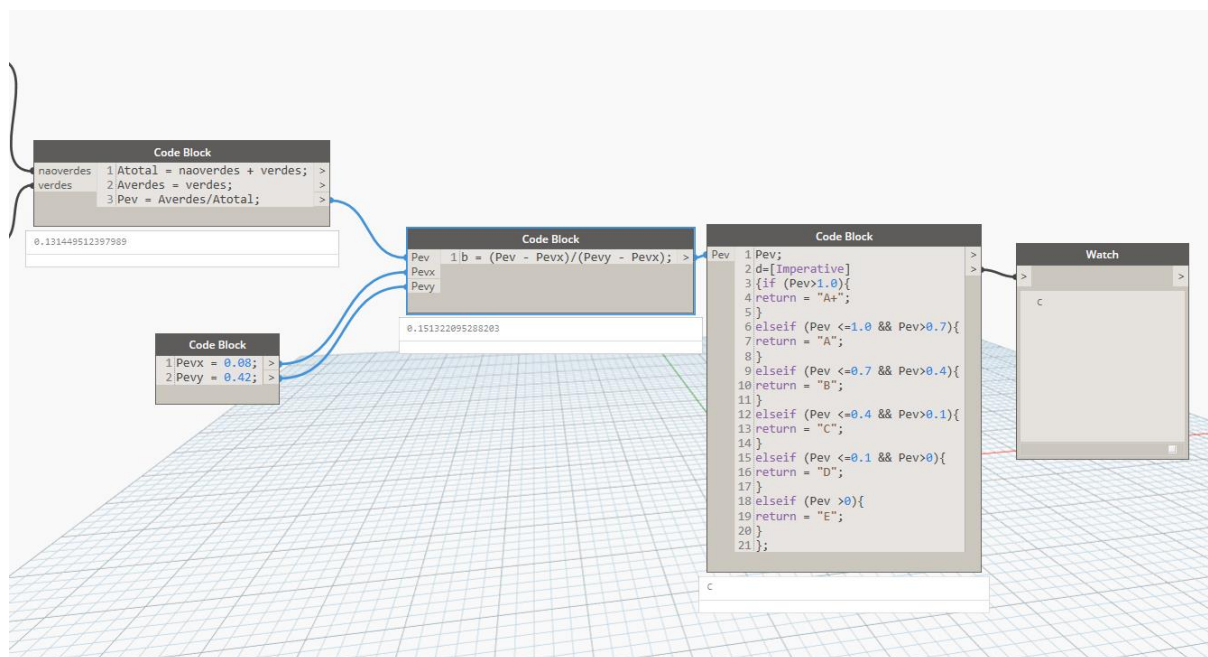


Figura 11. Normalização e escala qualitativa

A partir desta demonstração foi possível perceber os benefícios e dificuldades para aplicação e replicabilidade do método em toda metodologia SBTool^{PT} Urban. Dentre os benefícios destacam-se a facilidade e rapidez com que são feitos os cálculos e a possibilidade da utilização do método na fase de estudos do projeto, uma vez que possíveis alterações não implicam em retrabalho, apenas em uma nova aplicação da rotina de cálculo. Em contrapartida, a etapa inicial é um processo que demanda mais tempo de preparação, quando comparado com o método de cálculo atual, com um grande número de informações a serem adicionadas aos modelos digitais, além de exigir uma maior intervenção por parte das equipas de projeto. Esta etapa é crucial para que se tenham bons resultados ao aplicar a programação do Dynamo.

Tanto a análise dos indicadores, quanto a demonstração, a partir da aplicação no indicador I9, foram favoráveis à utilização do método proposto por este trabalho. Dentre os 52 parâmetros de cálculo dos indicadores do SBTool^{PT} Urban, 28 têm potencial para serem calculados através do método proposto e outros 7 podem ser calculados parcialmente. O estudo de caso apresentado neste trabalho permitiu exemplificar a aplicação do método e demonstrar a sua eficácia na prática. Para utilização deste método em toda metodologia SBTool^{PT} Urban, é necessário criar um *template* Revit que contenha as informações de cada indicador, bem como os parâmetros a serem criados no Revit e as rotinas de cálculo a serem estabelecidas no Dynamo.

5 CONCLUSÕES, CONTRIBUTOS E PERSPETIVAS FUTURAS

O capítulo final apresenta as principais conclusões e contributos do trabalho realizado, e também as perspetivas para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões e principais contributos

As cidades exercem um papel fundamental na vida dos seres humanos. É nelas que acontecem as principais atividades humanas, e desde os primórdios, têm sido impulsionadoras de evoluções tecnológicas e sociais. Por outro lado, a vida urbana tem um enorme impacto no meio ambiente, resultado do grande consumo de recursos e emissões de poluentes. Ao se considerar a importância das cidades para a vida humana, bem como os impactos causados pela vida urbana, consegue-se perceber o quão importante é buscar um desenvolvimento urbano sustentável. Esta procura pela sustentabilidade urbana tem motivado um avanço em pesquisas nesta temática, bem como, a elaboração de indicadores e sistemas de avaliação da sustentabilidade urbana. Do mesmo modo, as tecnologias de informação e comunicação têm se voltado para o desenvolvimento urbano sustentável, oferecendo ferramentas e sistemas que promovem um aumento na eficiência das operações urbanas e auxiliam nos processos de transição digital das cidades, tornando-as mais 'inteligentes' e sustentáveis.

Neste sentido, a utilização de ferramentas de avaliação da sustentabilidade tem sido cada vez mais frequente. Planeadores e gestores urbanos buscam o auxílio destas ferramentas para fazer avaliações, estabelecer prioridades, medir e extrair as informações referentes à implementação de práticas sustentáveis nas áreas urbanas. A integração das ferramentas de avaliação da sustentabilidade urbana com as emergentes tecnologias de informação e comunicação possibilita uma grande melhoria na implementação das estratégias e práticas sustentáveis. Por forma a avaliar essa integração, o presente trabalho explorou o conceito de *City Information Modelling* e analisou o seu potencial para calcular os critérios de avaliação da sustentabilidade urbana da metodologia SBT^{PT} Urban.

O *City Information Modelling*, CIM é uma tecnologia emergente que pode auxiliar na implementação de estratégias sustentáveis em espaços urbanos, com uma abordagem promissora para apoiar o planeamento e gestão das cidades. É uma representação digital tridimensional das cidades que integra diferentes tipos de dados e informações, permitindo a visualização e análise de múltiplas variáveis e indicadores urbanos de forma integrada. O CIM oferece uma perspetiva multidisciplinar, integrando as principais partes interessadas, tais como, planeadores e gestores urbanos, autarcas, legisladores e

habitantes, facilitando sua comunicação e promovendo a implementação de práticas sustentáveis. Além disso, o uso do CIM pode contribuir para a identificação de problemas e oportunidades de melhoria nos espaços urbanos, bem como auxiliar nos processos de tomadas de decisões baseadas em evidências. Por ser um conceito em desenvolvimento, ainda não existe um consenso sobre o que é o CIM, entretanto, a literatura demonstra um entendimento de equivalência ao conceito de BIM, porém aplicado à escala urbana, e uma tendência em relacionar o CIM com a integração entre BIM e GIS.

Ainda que o termo CIM não seja consensual, nem amplamente adotado, as recentes pesquisas demonstraram um progressivo interesse pelo tema, com tendência de crescimento. É de se notar que, apesar da revisão da literatura trazer uma relação entre o CIM e a sustentabilidade urbana, até ao momento, não foram encontrados estudos que utilizaram o CIM para fazer a avaliação da sustentabilidade urbana, através do uso de modelos digitais urbanos para cálculo de indicadores. Considerando o crescente interesse pelo tema do CIM, bem como a escassez de estudos que o utilizaram para fazer avaliação da sustentabilidade urbana, considerou-se pertinente analisar o potencial do CIM para cálculo de indicadores de avaliação da sustentabilidade urbana. Assim, espera-se que os resultados apresentados aqui neste trabalho contribuam tanto para o desenvolvimento do conceito de CIM, como também para novas propostas de integração da sustentabilidade urbana em modelos digitais de cidades.

Desta forma, o objetivo deste estudo foi avaliar a possibilidade de automatização dos cálculos dos indicadores da metodologia SBTtool^{PT} Urban utilizando o CIM como modelo digital de informação, resultando em um método de cálculo. A metodologia SBTtool^{PT} Urban foi escolhida por ser uma metodologia aberta e adaptável, em conformidade com os principais sistemas e indicadores para avaliação da sustentabilidade urbana, estruturada com base em diferentes estratégias políticas, nacionais, europeias e internacionais, e adaptada ao contexto nacional.

O método aqui proposto tem como base uma plataforma CIM a partir da integração de ferramentas BIM e GIS. Diversos programas computacionais podem ser utilizados para a composição de uma plataforma CIM baseada na integração do BIM com o GIS. A grande dificuldade está na interoperabilidade entre sistemas, pois deve ser garantida a troca de informações e a manutenção da integridade dos dados. O Autodesk Revit foi o *software* BIM escolhido, uma vez que é um dos programas computacionais mais utilizados por arquitetos, engenheiros e demais interlocutores do setor da construção civil. Além disso, o uso de ferramentas de programação visual com o Autodesk Revit

possibilitam a criação de rotinas de cálculo e avaliação de indicadores de sustentabilidade, por exemplo. Por forma a minimizar a perda de informação, assim como os problemas relacionados com a interoperabilidade, procuraram-se e selecionaram-se ferramentas GIS que fossem integradas com o Autodesk Revit. Assim, para o GIS foi selecionada a ferramenta CADMAPPER, que é capaz de criar modelos de áreas urbanas, a partir de informações geográficas de acesso aberto. Para fazer os cálculos dos indicadores do SBTool^{PT} Urban, foi utilizada a ferramenta de programação visual Dynamo. As rotinas criadas através do Dynamo permitem que os cálculos sejam efetuados com maior dinamismo e celeridade. Além disso, caso existam alterações de projeto, a avaliação da sustentabilidade pode ser refeita sem que se tenha de repetir todo o processo de cálculo. Entretanto, a fase inicial, de preparação e caracterização dos modelos digitais, é extremamente relevante, já que qualquer erro de caracterização do modelo interfere nas rotinas de cálculo e, conseqüentemente, nos resultados obtidos.

Uma vez estabelecida a plataforma para cálculo, foi feita a análise teórica dos indicadores do SBTool^{PT} Urban e seus parâmetros de cálculo, a fim de identificar o potencial para serem calculados através do CIM proposto. A análise considerou a metodologia de cálculo de cada parâmetro, e sua capacidade de serem integrados em um modelo digital. Após análise dos indicadores e seus parâmetros, foi possível verificar a viabilidade do método para ser utilizado como ferramenta para automatização dos cálculos. Dentre os 52 parâmetros, pelo menos 28 podem ser calculados integralmente através do uso do modelo e mais 7 podem ser calculados parcialmente. Além disso, foi feita a aplicação do método em um dos indicadores para demonstrar a viabilidade da proposta. Tanto a análise dos indicadores quanto a aplicação no indicador I9 foram favoráveis à utilização do método proposto por este trabalho. A análise dos indicadores possibilitou a percepção dos benefícios e dificuldades para aplicação e replicabilidade do método em toda metodologia SBTool^{PT} Urban. Entre os benefícios destacam-se a facilidade e rapidez dos cálculos, além da possibilidade de utilização do método na fase de estudos do projeto, sem a necessidade de retrabalho em caso de possíveis alterações, bastando apenas uma nova aplicação da rotina de cálculo. Por outro lado, a etapa inicial é um processo que demanda mais tempo de preparação, com um grande número de informações a serem adicionadas aos modelos digitais. Por meio do estudo de caso, foi possível exemplificar a aplicação do método e demonstrar seu funcionamento. Para aplicar o método em toda a metodologia SBTool^{PT} Urban, é necessário criar um *template* Revit com as informações de cada indicador, os parâmetros a serem criados no Revit e as rotinas de cálculo estabelecidas no Dynamo.

É importante ressaltar que, como o conceito de CIM é emergente e ainda está em fase de maturação, é possível que com avanços nos estudos e com a aplicação do método a outros indicadores, aqueles que hoje não têm potencial para serem calculados através do CIM possam vir a ter. Portanto, à medida que os estudos avançarem, novas formas de integração da avaliação da sustentabilidade urbana no conceito de CIM poderão surgir, permitindo uma avaliação cada vez mais completa.

Por fim, espera-se ainda que os contributos deste trabalho possam favorecer o uso da ferramenta SBTool^{PT} Urban num contexto nacional, facilitando o processo de avaliação, através da automatização do cálculo dos seus indicadores e parâmetros, auxiliando as tomadas de decisões e promovendo uma melhor interlocução entre as partes interessadas.

5.2 Perspetivas para trabalhos futuros

Os resultados alcançados neste estudo são relevantes para a integração da sustentabilidade urbana no conceito CIM, e indicam a viabilidade do uso do CIM para cálculo dos indicadores do SBTool^{PT} Urban. Entretanto, são necessários estudos posteriores para complementar a proposta, tendo em vista que esta é a primeira etapa de desenvolvimento do método de automatização dos cálculos dos indicadores do SBTool^{PT} Urban. Alguns aspetos importantes que devem ser considerados para sequência de trabalhos futuros são listados a seguir:

- Aplicação do método proposto em todos os indicadores classificados como “SIM e “PARCIALMENTE”;
- Avaliação de outras possibilidades de cálculo dos indicadores classificados como “NÃO”;
- Desenvolvimento do método para as outras etapas de avaliação do SBTool^{PT} Urban: quantificação ao nível das categorias, dimensões e quantificação do Nível de Sustentabilidade (NS), e emissão do certificado de sustentabilidade;
- Desenvolvimento de uma ferramenta *online* para aplicação do SBTool^{PT} Urban.

REFERÊNCIAS

- Ahern, J. (2011). From fail-safe to safe-to-fail: Sustainability and resilience in the new urban world. *Landscape and Urban Planning*, 100(4), 341–343.
<https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2011.02.021>
- Ahvenniemi, H., Huovila, A., Pinto-Seppä, I., & Airaksinen, M. (2017). What are the differences between sustainable and smart cities? *Cities*, 60, 234–245.
<https://doi.org/10.1016/J.CITIES.2016.09.009>
- Allen, R. (1980). How to save the world: strategy for world conservation (environmental strategy). *How to Save the World: Strategy for World Conservation (Environmental Strategy)*.
- Almeida, F., & Andrade, M. L. V. X. de. (2018). Considerações Sobre O Conceito De City Information Modeling. *InSitu*, 1(4), 21–38.
- Alwan, Z., Greenwood, D., & Gledson, B. (2015). Rapid LEED evaluation performed with BIM based sustainability analysis on a virtual construction project. *Construction Innovation*, 15(2), 134–150.
<https://doi.org/10.1108/CI-01-2014-0002>
- Ameen, R. F. M., Li, H., & Mourshed, M. (2014). Sustainability assessment methods of urban design: A review. *EG-ICE 2014, European Group for Intelligent Computing in Engineering - 21st International Workshop: Intelligent Computing in Engineering 2014*.
- Autodesk Inc. (2021). *Dynamo BIM*. https://primer.dynamobim.org/01_Introduction/1-2_what_is_dynamo.html
- Autodesk Inc. (2022). *Autodesk Revit*. <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>
- Beirão, J. (2014). *City Information Modelling: spatial planning and design with CAD and GIS - a workshop experiment*.
- Beirão, J., Montenegro, N., & Arrobas, P. (2012). *City Information Modelling : parametric urban models including design support data*. *October*, 1122–1134.
- Bentley. (2013). *City Information Modeling for Sustaining Cities Lessons Learned from Advanced Users*.
- Bi, T., Yang, X., Zhou, F., Zhu, Y., & Diao, X. (2020). Research on CIM Basic Platform Construction. *ACM International Conference Proceeding Series, PartF16834*, 159–163.
<https://doi.org/10.1145/3446999.3447029>
- Bosker, M. (2022). City origins. *Regional Science and Urban Economics*, 94, 103677.
<https://doi.org/10.1016/J.REGSCIURBECO.2021.103677>
- Bragança, L. (2017). SBTOOL URBAN: Instrumento para a Promoção da Sustentabilidade Urbana. *SINGERURB 2017 - I Simpósio Nacional de Gestão e Engenharia Urbana*.
<http://civil.uminho.pt/urbanere/wp-content/uploads/2018/05/E28-SINGEURB-2017.pdf>
- Bragança, L., & Mateus, R. (2018). *Guia de Avaliação SBToolPT Urban V2018* (L. Bragança, R. Mateus,

- & M. de F. Castro (eds.)). Edições iisBE Portugal.
- Bragança, L., Mateus, R., & Koukkari, H. (2010). Building sustainability assessment. *Sustainability*, 2(7), 2010–2023. <https://doi.org/10.3390/su2072010>
- BRE. (2012). BREEAM Communities. Technical Manual SD202 - 0.1:2012. *Bre*, 175.
- BRE. (2013). *BREEAM Communities*.
- buildingSMART International. (2022). *Standards*. <https://technical.buildingsmart.org/>
- CADMAPPER LLC. (2022). *CADMAPPER*. <https://cadmapper.com/>
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2019). Optimising building sustainability assessment using BIM. *Automation in Construction*, 102(September 2018), 170–182. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.02.021>
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2020). *A Systematic Review of the Role of BIM in Building Sustainability Assessment Methods*.
- Carvalho, J. P., Bragança, L., & Mateus, R. (2021). Sustainable building design: Analysing the feasibility of BIM platforms to support practical building sustainability assessment. *Computers in Industry*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2021.103400>
- City of Helsinki. (2019). *Helsinki 3D*. <https://www.hel.fi/helsinki/en/administration/information/general/3d/how-were-the-3D-models-made/>
- Cohen, M. (2017). A systematic review of urban sustainability assessment literature. *Sustainability (Switzerland)*, 9(11), 1–16. <https://doi.org/10.3390/su9112048>
- Conselho de Ministros n.º30/2020. (2020). Aprova o Plano de Ação para a Transição Digital. *Diário Da República, 1.ª Série*(78), 6–32. <http://www.adene.pt/sites/default/files/0534905351.pdf>
- Dall'O', G., Zichi, A., & Torri, M. (2020). Green BIM and CIM: Sustainable Planning Using Building Information Modelling. *Research for Development*, 383–409. https://doi.org/10.1007/978-3-030-41072-8_17
- Diário da República. (2022). *Despacho n.º 1369-A/2022 ECONOMIA E TRANSIÇÃO DIGITAL, MODERNIZAÇÃO DO ESTADO E DA ADMINISTRAÇÃO PÚBLICA, PLANEAMENTO, AMBIENTE E AÇÃO CLIMÁTICA E COESÃO TERRITORIAL. 2, 2–4*. <https://dre.pt/dre/detalhe/doc/1369-a-2022-178528336>
- Esri. (2022). *GIS*. <https://www.esri.com/en-us/what-is-gis/overview>
- European Commission. (2020). *Proposed Mission: 100 Climate-neutral Cities by 2030 – by and for the Citizens*. <https://doi.org/10.2777/46063>
- Gil, J. (2020). City Information Modelling: Digital Planning for Sustainable Cities. *Built Environment*, 46(4), 497–500. <https://doi.org/10.2148/BENV.46.4.497>

- Gil, J., & Duarte, J. P. (2013). Tools for evaluating the sustainability of urban design: A review. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Urban Design and Planning*, 166(6), 311–325. <https://doi.org/10.1680/udap.11.00048>
- Haapio, A. (2012). Towards sustainable urban communities. *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 165–169. <https://doi.org/10.1016/J.EIAR.2011.08.002>
- Hiremath, R. B., Balachandra, P., Kumar, B., Bansode, S. S., & Murali, J. (2013). Indicator-based urban sustainability—A review. *Energy for Sustainable Development*, 17(6), 555–563. <https://doi.org/10.1016/J.ESD.2013.08.004>
- Holden, M. (2013). Sustainability indicator systems within urban governance: Usability analysis of sustainability indicator systems as boundary objects. *Ecological Indicators*, 32, 89–96. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2013.03.007>
- iisBE. (2019). *SbTool and SNTool*. <https://www.iisbe.org/sbmethod>
- Institution of Civil Engineers. (2018). *Interoperability: The ability of computer systems or software to exchange and make use of information*. [https://www.ice.org.uk/getattachment/news-and-insight/the-civil-engineer/june/overcome-interoperability-challenge/Interoperability-Information-Sheet-1\).pdf.aspx](https://www.ice.org.uk/getattachment/news-and-insight/the-civil-engineer/june/overcome-interoperability-challenge/Interoperability-Information-Sheet-1).pdf.aspx)
- International Telecommunication Union. (2015). *Focus Group on Smart Sustainable Cities*. <https://www.itu.int/en/ITU-T/focusgroups/ssc/Pages/default.aspx>
- Jalaei, F., & Jrade, A. (2015). Integrating building information modeling (BIM) and LEED system at the conceptual design stage of sustainable buildings. *Sustainable Cities and Society*, 18, 95–107. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2015.06.007>
- Kehmlani, L. (2016). *City information modeling*. AECbytes Magazine. <https://www.aecbytes.com/feature/2016/CityInformationModeling.html>
- Ketzler, B., Naserentin, V., Latino, F., Zangelidis, C., Thuvander, L., & Logg, A. (2020). Digital Twins for Cities: A State of the Art Review. *Built Environment*, 46(4), 547–573. <https://doi.org/10.2148/BENV.46.4.547>
- Khalil, A., & Stravoravdis, S. (2022). Challenges of Digital Building Data Usage with a Focus on the Digital Documentation of Heritage Buildings—Results from an Online Survey. *Heritage*, 5(4), 3220–3259. <https://doi.org/10.3390/heritage5040166>
- Kim, Y. M., Kim, H. S., Moon, S. Y., & Bae, S. (2009). Ubiquitous Eco-City Planning in Korea. A Project for the Realization of Ecological City Planning and Ubiquitous Network Society. *Real Corp 2009*, 6(April 2009), 22–25.
- Liu, X., Wang, X., Wright, G., Cheng, J. C. P., Li, X., & Liu, R. (2017). *Geo-Information A State-of-the-Art Review on the Integration of Building Information Modeling (BIM) and Geographic Information System (GIS)*. <https://doi.org/10.3390/ijgi6020053>
- Luo, Y., He, J., & Ni, Y. (2017). Analysis of urban ventilation potential using rule-based modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 66, 13–22.

<https://doi.org/10.1016/J.COMPENVURBSYS.2017.07.005>

Marsal-Llacuna, M. L., Colomer-Llinàs, J., & Meléndez-Frigola, J. (2015). Lessons in urban monitoring taken from sustainable and livable cities to better address the Smart Cities initiative. *Technological Forecasting and Social Change*, 90(PB), 611–622.

<https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2014.01.012>

Mega, V., & Pedersen, J. (1998). Urban sustainability indicators. In *International Journal of Environmental, Cultural, Economic and Social Sustainability* (Vol. 7, Issue 6).

<https://doi.org/10.18848/1832-2077/CGP/v07i06/55007>

Mori, K., & Christodoulou, A. (2012). Review of sustainability indices and indicators: Towards a new City Sustainability Index (CSI). *Environmental Impact Assessment Review*, 32(1), 94–106.

<https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.06.001>

Morphet, J., & Morphet, R. (2019). *New Urban Agenda: New Urban Analytics* (Issue August).

www.ucl.ac.uk/bartlett/casa/research

Omrany, H., Ghaffarianhoseini, A., Ghaffarianhoseini, A., & Clements-Croome, D. J. (2022). The uptake of City Information Modelling (CIM): a comprehensive review of current implementations, challenges and future outlook. *Smart and Sustainable Built Environment, Cim*.

<https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2022-0116>

Open Geospatial Consortium. (2022). *CityGML*. <https://www.ogc.org/standards/citygml>

Padsala, R., & Coors, V. (2015). Conceptualizing, managing and developing: A web based 3D city information model for urban energy demand simulation. *Eurographics Workshop on Urban Data Modelling and Visualisation, UDMV 2015*, 37–42. <https://doi.org/10.2312/udmv.20151347>

Pedro, J., Silva, C., & Duarte Pinheiro, M. (2019). *Integrating GIS spatial dimension into BREEAM communities sustainability assessment to support urban planning policies, Lisbon case study*.

<https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2019.02.003>

Pedro, J., Silva, C., & Pinheiro, M. D. (2018). Scaling up LEED-ND sustainability assessment from the neighborhood towards the city scale with the support of GIS modeling: Lisbon case study. *Sustainable Cities and Society*, 41(November 2017), 929–939.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.015>

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.09.015>

Ryder Alliance. (2022). *bimacademy*. <https://www.bimacademy.global/about/>

Sabri, S., Chen, Y., Rajabifard, A., Lim, T. K., Khoo, V., & Kalantari, M. (2019). A multi-dimensional analytics platform to support planning and design for liveable and sustainable urban environment.

International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives, 42(4/W15), 75–80. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W15-75-2019>

Salati, M., Bragança, L., & Mateus, R. (2022). *Sustainability Assessment on an Urban Scale : Context , Challenges , and Most Relevant Indicators*. 1–30.

Santos, E. T. (2010). Building information modeling and interoperability. *Automation in Construction*, 19(4), 387. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2009.11.008>

- Science for Environment Policy. (2018). Indicators for Sustainable Cities. In-depth Report 12. Produced for European Commission DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol. *European Union*, 531(3), 435–438. <https://doi.org/10.2779/121865>
- Sharifi, A. (2019). A critical review of selected smart city assessment tools and indicator sets. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1269–1283. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.172>
- Sharifi, A. (2021). Urban sustainability assessment: An overview and bibliometric analysis. *Ecological Indicators*, 121, 107102. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107102>
- Sharifi, A., Dawodu, A., & Cheshmehzangi, A. (2021). Limitations in assessment methodologies of neighborhood sustainability assessment tools: A literature review. *Sustainable Cities and Society*, 67, 102739. <https://doi.org/10.1016/J.SCS.2021.102739>
- Singapore Government. (2021). *Virtual Singapore*. <https://www.nrf.gov.sg/programmes/virtual-singapore>
- Sirakova, T. A. (2018). *Urban Planning : from GIS and BIM straight to CIM . Practical application in the urban area of Porto*. Universidade do Porto.
- Souza, L., & Bueno, C. (2022). City Information Modelling as a support decision tool for planning and management of cities: A systematic literature review and bibliometric analysis. *Building and Environment*, 207(PA), 108403. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108403>
- Stojanovski, T. (2018). City Information Modelling (CIM) and Urban Design Morphological Structure, Design Elements and Programming Classes in CIM. *Proceedings of the International Conference on Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe*, 1(Cim), 507–516. <https://doi.org/10.52842/conf.ecaade.2018.1.507>
- Stojanovski, T., Partanen, J., Samuels, I., Sanders, P., & Peters, C. (2020). Viewpoint: City Information Modelling (CIM) and Digitizing Urban Design Practices. *Built Environment*, 46(4), 637–646. <https://doi.org/10.2148/BENV.46.4.637>
- Tao, Z., & Qian, Z. (2015). Study on the microenvironment evaluation of the architectural layout based on Building Information Modeling: A case study of Chongqing, China. *International Journal of Design and Nature and Ecodynamics*, 10(2), 140–153. <https://doi.org/10.2495/DNE-V10-N2-140-153>
- Thompson, E. M., Greenhalgh, P., Muldoon-Smith, K., Charlton, J., & Dolnik, M. (2016). Planners in the future city: Using city information modelling to support planners as market actors. *Urban Planning*, 1(1), 79–94. <https://doi.org/10.17645/up.v1i1.556>
- UN Women. (2010). *Indicators*. <https://www.endvawnow.org/en/articles/336-indicators.html#:~:text=What are indicators%3F,be focused%2C clear and specific.>
- United Nations. (2019). *UN-HABITAT STRATEGIC PLAN 2020-2023* (Vols. 2019-July). <https://doi.org/10.1109/NAECON46414.2019.9058320>
- United Nations. (2021). *SDG11: Make cities inclusive, safe, resilient and sustainable*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/cities/>

- United Nations (Habitat III). (2017). *New Urban Agenda*. www.habitat3.org
- USGBC. (2022). *LEED for Neighborhood Development*. <https://www.usgbc.org/leed/rating-systems/neighborhood-development>
- Villaschi, F. S., Carvalho, J. P., & Bragança, L. (2022). *BIM-Based Method for the Verification of Building Code Compliance*.
- Wang, B., & Tian, Y. (2021). Research on key technologies of city information modeling. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 693(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/693/1/012129>
- WCED. (1987). *The Brundtland Report: "Our Common Future."* 4(1), 17–25. <https://doi.org/10.1080/07488008808408783>
- Xu, X., Ding, L., Luo, H., & Ma, L. (2014). From Building Information Modeling to City Information Modeling. *Journal of Information Technology in Construction*, 19(December 2013), 292–307.
- Xu, Z., Qi, M., Wu, Y., Hao, X., & Yang, Y. (2021). City information modeling: State of the art. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(19), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app11199333>
- Yigitcanlar, T. (2019). Planning, Development and Management of Sustainable Cities. In *Planning, Development and Management of Sustainable Cities*. <https://doi.org/10.3390/books978-3-03897-907-4>
- Yigitcanlar, T., & Dur, F. (2010). *Developing a Sustainability Assessment Model: The Sustainable Infrastructure, Land-Use, Environment and Transport Model*. 2, 321–340. <https://doi.org/10.3390/su2010321>
- Zhu, J., & Wu, P. (2022). BIM/GIS data integration from the perspective of information flow. *Automation in Construction*, 136(October 2020), 104166. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104166>

ANEXO

Indicações para utilização do CADMAPPER

Seguidamente apresentam-se as indicações detalhadas para a utilização do CADMAPPER, exportação e caracterização das áreas no Autodesk Revit.

Primeiramente faz-se a seleção da área que se pretende obter as informações, como mostra a figura 12, através da ferramenta CADMAPPER. O CADMAPPER disponibiliza a seleção de áreas de até 1 Km² de forma gratuita, para áreas maiores é pago um valor consoante à quantidade de informações.

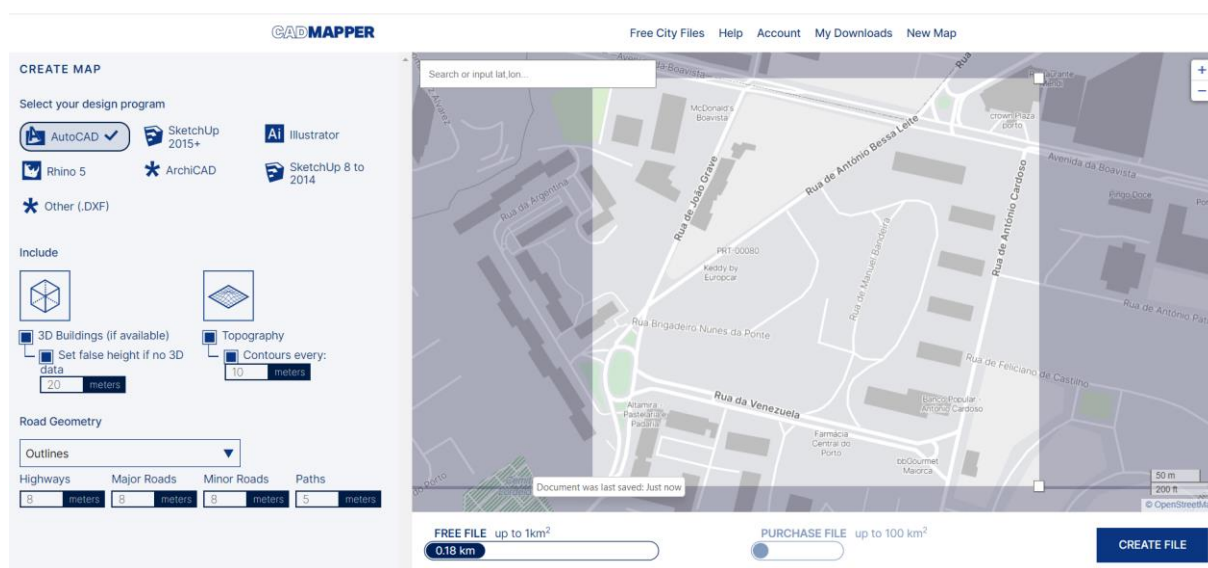


Figura 12. Zona selecionada para caso de estudo

Uma vez determinada a região e selecionadas as informações que farão parte do modelo (software de projeto, altura das edificações, topografia e geometria das ruas), a ferramenta indica as características do modelo (área total, número de edifícios e altura das edificações, sistemas de referência espacial) e mostra uma visualização prévia (Figura 13). O ficheiro então é descarregado e pode ser inserido no modelo Revit.

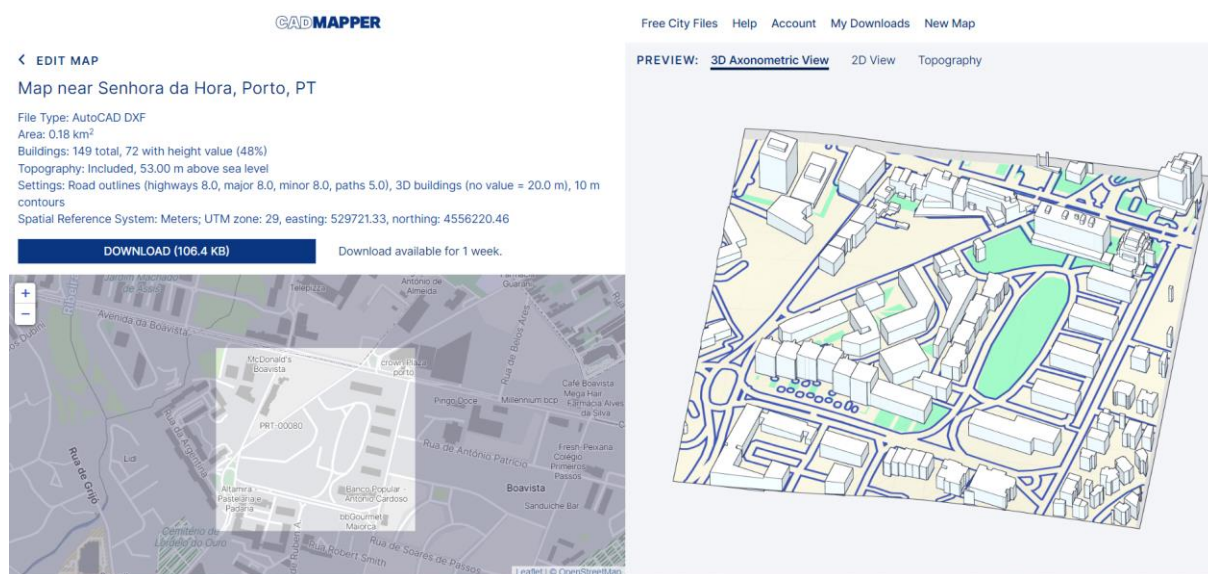


Figura 13 Informações e visualização prévia

Uma vez que a área em estudo está inserida no modelo é preciso caracterizá-la para que os parâmetros possam ser calculados. Primeiramente, é feita a caracterização da topografia, determinação das ruas e avenidas e áreas verdes, desta maneira é possível fazer a edição das áreas que passam a ser elementos do modelo. A transformação da topografia em um elemento editável no Revit pode ser feita através da ferramenta “Massa e terreno”, depois utiliza-se a opção “Superfície topográfica”, seleciona-se “Criar da importação” e por fim “Selecionar instância”. É feita a seleção da área em estudo e deste modo a topografia é caracterizada como um elemento do Revit.

A caracterização das ruas e áreas verdes é feita com a ferramenta “Massa e Terreno”, depois seleciona-se a opção “Sub-região” e desenha-se as ruas. É possível a partir daí selecionar o “Material” da rua, para este estudo foi definido o uso do alcatrão para as ruas. Da mesma forma, é feita a seleção das áreas verdes, com a caracterização da “Sub-região” e depois a definição dos materiais. Criam-se, então, os parâmetros compartilhados, que permitem a personalização do tipo de dado de objetos e elementos, de acordo com os indicadores a serem calculados.