

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

MÉTODO PARA SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DE
SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NOS SISTEMAS
URBANOS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS A PARTIR
DA METODOLOGIA BIM

NICHOLAS PICIN CASAGRANDE

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA URBANA

**MÉTODO PARA SIMULAÇÃO DOS EFEITOS DE
SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA NOS SISTEMAS
URBANOS DE MANEJO DE ÁGUAS PLUVIAIS A PARTIR
DA METODOLOGIA BIM**

NICHOLAS PICIN CASAGRANDE

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Urbana da
Universidade Federal de São
Carlos, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de
Mestre em Engenharia Urbana.

Orientação: Profa. Dra. Cristiane
Bueno.

São Carlos

2025

Casagrande, Nicholas Picin

Método para simulação dos efeitos de Soluções Baseadas na Natureza nos sistemas urbanos de manejo de águas pluviais a partir da Metodologia BIM / Nicholas Picin Casagrande -- 2025.
189f.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de São Carlos, campus São Carlos, São Carlos
Orientador (a): Cristiane Bueno
Banca Examinadora: Cristiane Bueno, Luciana Marcia Gonçalves, Simone Cristina de Oliveira
Bibliografia

1. BIM. 2. openBIM. 3. Soluções Baseadas na Natureza.
I. Casagrande, Nicholas Picin. II. Título.

Ficha catalográfica desenvolvida pela Secretaria Geral de Informática
(SIn)

DADOS FORNECIDOS PELO AUTOR

Bibliotecário responsável: Arildo Martins - CRB/8 7180



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana

Folha de Aprovação

Defesa de Dissertação de Mestrado do candidato Nicholas Picin Casagrande, realizada em 06/11/2025.

Comissão Julgadora:

Profa. Dra. Cristiane Bueno (UFSCar)

Profa. Dra. Luciana Marcia Gonçalves (UFSCar)

Profa. Dra. Simone Cristina de Oliveira (DAAE)

O Relatório de Defesa assinado pelos membros da Comissão Julgadora encontra-se arquivado junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana.

AGRADECIMENTO

Na maior parte do tempo, o trabalho de pesquisa é individual. Por vezes, solitário. Mas, com certeza não é algo que se faz sozinho. Dedico este agradecimento a todas as pessoas que me acompanharam nesse percurso. Foram as melhores companhias que eu poderia ter tido.

À minha família, em especial meus pais, Mariflavia e Elton, pelo cuidado de sempre e por terem me ensinado desde cedo o valor do estudo e da dedicação. Aos meus irmãos, Giovanna e Breno que mais perto ou mais longe sempre estiveram presentes e me apoiando.

À minha companheira de vida, Juliana Mika, pelo apoio incondicional em todos os momentos. Sua disponibilidade, escuta, carinho, cuidado, atenção, conselhos, acolhimento e companheirismo são essenciais para tudo que eu me proponho a fazer.

Aos meus amigos e amigas, em especial Caio, Kael e Artur, e felizmente muitos outros, que em algum momento fizeram parte dessa trajetória com escuta, ideias, conselhos e apoio.

À minha orientadora, Profa. Dra. Cristiane Bueno, pelo apoio, compreensão e confiança em todas as etapas desse processo.

A todos os amigos e amigas de trabalho que fiz no período dessa pesquisa e com quem compartilhei muitas coisas que de uma forma ou de outra vieram parar nesse texto.

A todos e todas que em algum momento me ouviram explicar que no BIM uma porta “sabe” que é uma porta e que SBN é tipo fazer um canteiro abaixo e do nível da calçada e não acima, para que a água possa infiltrar no solo.

A todos e todas que me incentivaram a continuar e me apoiaram para que eu pudesse seguir, meu muito obrigado.

*“Se tiver o hábito de fazer as coisas com alegria, raramente encontrará
situações difíceis”*

Robert Baden-Powell, fundador do Escotismo (1857 – 1941)

RESUMO

A concepção e projeto de sistemas de manejo de águas pluviais em ambiente urbano é observado sob dois eixos de oportunidade. Um primeiro, relacionado ao uso de técnicas de drenagem sustentável, como as Soluções Baseadas na Natureza (SBN), similares às técnicas LID, SuDS, WSUDS, Cidades Esponja entre outras. O segundo eixo trata da modelagem da informação da construção (BIM), suas metodologias, técnicas e possibilidades, aplicada a estes sistemas. Tendo como objetivo unir estes eixos, a pesquisa utilizou-se da Design Science Research como metodologia propositiva de artefatos para solução de problemas reais. Com isso, foi possível analisar o campo de conhecimento das SBN e termos correlatos, buscando uma consolidação inicial, a partir da qual foram desenvolvidos conjuntos de propriedades IFC para aplicação em objeto BIM representativo de SBN, junto com a formalização de Requisitos de Informação conforme ISO 19650 (OIR, AIR, PIR, EIR) adequados à especificação e gestão de projetos de SBN com base na metodologia BIM. A partir dos Requisitos foi elaborado um Objeto BIM para avaliação dos artefatos propostos, realizando a validação de entrega de informação com base em IDS, compondo um fluxo de trabalho openBIM.

Palavras-chave: Soluções Baseadas na Natureza. SBN. Modelagem da Informação da Construção. BIM. openBIM. Modelagem da Informação da Paisagem.

ABSTRACT

The conception and design of rainwater management systems in an urban environment is observed under two axes of opportunity. The first is related to the use of sustainable drainage techniques, such as Nature-Based Solutions (NBS), like LID, SuDS, WSUDS, Sponge Cities, among others. The second axis deals with building information modeling (BIM), its methodologies, techniques and possibilities, applied to these systems. With the objective of uniting these axes, the research used Design Science Research as a methodology for proposing artifacts to solve real problems. It was possible to analyze the field of knowledge of NBS and related terms, seeking an initial consolidation, from which sets of IFC properties were developed for application in representative NBS BIM object, along with the formalization of Information Requirements according to ISO 19650 (OIR, AIR, PIR, EIR) appropriate to the specification and management of NBS projects based on the BIM methodology. From the Requirements, a BIM Object was prepared for the evaluation of the proposed artifacts, performing the validation of information delivery based on IDS, composing an openBIM workflow.

Keyword: Nature-based Solutions. NbS. Building Information Modelling. BIM. openBIM. Landscape Information Modelling.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Diagrama 1: Processo de sistematização das técnicas alternativas de drenagem urbana. Fonte: Elaborado pelo Autor.	106
Diagrama 2: Processo de análise da correspondência entre as técnicas construtivas e padrões IFC. Fonte: Elaborado pelo Autor.	107
Diagrama 3: Processo de definição dos Requisitos de Informação de técnicas de SBN. Fonte: Elaborado pelo Autor.	110
Diagrama 4: Processo de criação de família Revit com base no PIR. Fonte: Elaborado pelo Autor.	112
Diagrama 5: Processo de exportação IFC de um projeto Revit com Jardim de chuva tendo como base o PIR e EIR. Fonte: Elaborado pelo Autor.	113
Diagrama 6: Processo de criação de IDS. Fonte: Elaborado pelo Autor.	115
Diagrama 7: Processo de validação da entrega da Informação no modelo de Jardim de chuva com IDS. Fonte: Elaborado pelo Autor.	116
Diagrama 8: Processo de cálculo da vazão máxima de escoamento de uma microbacia fictícia. Fonte: Elaborado pelo Autor.	117
Diagrama 9: Técnicas alternativas de drenagem urbana. Fonte: Elaborado pelo Autor.	127
Diagrama 10: Requisitos de Informação do Ativo (AIR). Fonte: Elaborado pelo Autor.	130
Diagrama 11: Requisitos de Informação do Ativo (AIR) de um jardim de chuva. Fonte: Elaborado pelo Autor.	131
Diagrama 12: Requisitos de Informação do Projeto (PIR) de um Jardim de Chuva. Fonte: Elaborado pelo Autor.	132
Diagrama 13: Processo para decodificar um Uso BIM em processos e Requisitos de Informação. Fonte: Elaborado pelo Autor.	155
Figura 1: componentes do ciclo hidrológico. Fonte: Tucci (2009a).	10
Figura 2: resposta hidrológica da bacia hidrográfica. Fonte: Tucci (2009a).	11
Figura 3: IDF para os TR de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Fonte: JOCHELAVICIUS et al., (2022).	13
Figura 4: curvas de capacidades e taxas de infiltração. Fonte: Da Silveira; Louzada; Beltrame (2009).	14

Figura 5: hidrogramas. Fonte: Tucci (2009b).....	15
Figura 6: causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas. Fonte: adaptado de Porto et al. (2009).....	19
Figura 7: processos que ocorrem em uma área urbana. Fonte: Porto et al. (2009).	19
Figura 8: esquema do processo de concepção de sistemas alternativos de drenagem. Fonte: adaptado de Baptista; Nascimento; Barraud (2011).....	25
Figura 9: Classificação de termos relativos à Drenagem Urbana. Fonte: Fletcher (2015). Adaptado pelo Autor.	35
Figura 10: Termos inspiradores das Cidades Esponja. Fonte: (JIAYU; MANHUA; YANG, 2019). Adaptada pelo Autor	35
Figura 11: Técnicas Construtivas de SBN. Fonte: (UNIVERSITY OF ARKANSAS, 2010). Adaptada pelo Autor.	36
Figura 12: Gráfico ilustrativo do conceito de vazão de restrição e do método de determinação do volume de amortecimento necessário para o controle de inundações em uma bacia. Fonte: Sandre e Pombo (2024).	40
Figura 13: recorte da publicação da versão 1.0 do IGES, representando a estrutura hierárquica das entidades descritas pelo padrão (NAGEL; BRAITHWAITE; KENNICOTT, 1980).....	50
Figura 14: Histórico dos Padrões de Dados de Produto (KEMMERER, 1999). 50	
Figura 15: Troca de informações com formato neutro de dados (KEMMERER, 1999).	51
Figura 18: trecho de um modelo IFC BIM em arquivo de texto armazenado como STEP <i>physical file format</i> . Fonte: Laakso (2012).	52
Figura 17: arquitetura do padrão IDM. Fonte: Wix (2010).	56
Figura 18: relação entre Conceitos e Partes funcionais. Fonte: Wix (2010).....	57
Figura 19: padrões da buildingSMART. Fonte: Laakso (2012).	57
Figura 20: total de entidades, divididas entre abstratas e instanciáveis. Fonte: Amor (2015).	58
Figura 21: total de atributos do esquema, divididos entre opcionais e obrigatórios. Fonte: Amor (2015).	58
Figura 22: fluxo de trabalho openBIM. Fonte: BuildingSMART (2025d).	60
Figura 23: Hierarquia dos requisitos de informação. Fonte ABNT (2022).	62

Figura 24: Exemplo de classificação com IFC 4.3 de um sistema de tratamento de água. Fonte: BuildingSMART Germany (2023).	65
Figura 25: <i>status</i> dos padrões e soluções da buildingSMART. À esquerda, padrões e soluções sob medida e com alta limitação; à direita, padrões e soluções genéricas e escaláveis, com maior adoção. Fonte: buildingSMART (2020).	66
Figura 26: <i>status</i> desejado dos padrões e soluções da buildingSMART. À esquerda, padrões e soluções sob medida e com alta limitação; à direita, padrões e soluções genéricas e escaláveis, com maior adoção. Fonte: buildingSMART (2020).	67
Figura 27: Árvore de especialização, com as camadas de IFC e bSDD. Fonte: buildingSMART (2020).	67
Figura 28: Avaliação comparativa da aptidão de cada padrão de especificação de requisitos de informação. Fonte: Tomczak et al. (2022).	71
Figura 29: agrupamento de métodos de requisitos de informação. Fonte: Tomczak et al. (2022).	72
Figura 30: trecho da tabela de LOIN de Obras de Arte Especiais. Fonte: DNIT (2025).	73
Figura 31: trecho da tabela de LOIN de Obras de Arte Especiais. Fonte: DNIT (2025).	73
Figura 32: trecho da tabela de PIR, como subitem do LOIN. Fonte: Governo do Estado do Paraná (2023).	74
Figura 33: trecho da tabela de EIR, como subitem do LOIN. Fonte: Governo do Estado do Paraná (2023).	75
Figura 34: trecho da tabela de especificação de elementos SEHAB. Fonte: SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2 (2022). 75	
Figura 35: classes e suas relações gerais. Fonte: Adaptado de ABNT (2018a).	77
Figura 36: exemplos de relações entre os temas e as tabelas do sistema de classificação. Fonte: ABNT NBR 15965-4 (2021).	80
Figura 37: integração da NBR ISO 16757 no BIM. Fonte: ABNT (2018b).	85
Figura 38: etapas para a especificação de objetos BIM. Fonte: BFB (2024b). ..	87
Figura 39: exemplos de classificação de um objeto BIM. Fonte: BFB (2024b). ..	88

Figura 40: família básica de vala vegetada. (a) vista 3D. (b) seção transversal com as restrições geométricas. (c) conjuntos de propriedades. Fonte: Manchado et al. (2025).	90
Figura 41: parâmetros incluídos em cada técnica, dedicados ao tamanho, restrições, booleanos e de camadas. Fonte: Adaptado de Manchado et al. (2025).	91
Figura 42: Trecho do diagrama da classe <i>IfcBuilding</i> em EXPRESS-G. Fonte: ISO 16739 (2013).	99
Figura 43: Trecho do diagrama da classe <i>IfcBuilding</i> em UML simplificada. Fonte: ISO 16739 (2024).	99
Figura 44: termos de pesquisa para revisão bibliográfica, organizados por tema principal. Fonte: Elaborado pelo Autor.	104
Figura 45: Trecho do arquivo de definição de propriedades personalizadas para exportação IFC do Revit. Fonte: Autodesk (2025).	113
Figura 46: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Low Impact Development</i> (LID). Fonte: Elaborado pelo Autor.	119
Figura 47: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Best Management Practices</i> (BMP). Fonte: Elaborado pelo Autor.	120
Figura 48: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Sustainable Drainage systems</i> (SUDS). Fonte: Elaborado pelo Autor.	120
Figura 49: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Water Sensitive Urban Design</i> (WSUD). Fonte: Elaborado pelo Autor.	121
Figura 50: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Green Infrastructure</i> (GI). Fonte: Elaborado pelo Autor.	122
Figura 51: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Green-blue Infrastructure</i> (GBI). Fonte: Elaborado pelo Autor.	123
Figura 52: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo <i>Sponge cities</i> . Fonte: Elaborado pelo Autor.	123
Figura 53: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo Técnicas compensatórias. Fonte: Elaborado pelo Autor.	124
Figura 54: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo Soluções Baseadas na Natureza (SBN). Fonte: Elaborado pelo Autor.	125
Figura 55: Classes IFC para descrição das técnicas de drenagem. Fonte: Elaborado pelo Autor.	128

Figura 56: Definição dos usos do modelo. Fonte: Elaborado pelo Autor.	129
Figura 57: Requisitos da Organização (OIR). Fonte: Elaborado pelo Autor. ..	129
Figura 58: Grupos de parâmetros do SWMM para a tipologia de Jardim de Chuva, a) propriedades da superfície; b) propriedades do solo; c) propriedades de armazenamento. Fonte: Elaborado pelo Autor.	133
Figura 59: Requisitos de Troca de Informação (EIR). Fonte: Elaborado pelo Autor.	135
Figura 60: Família Revit em branco, com base em modelo genérico. Fonte: Elaborado pelo Autor.	136
Figura 61: Família Revit de Jardim de chuva, vista em planta. Fonte: Elaborado pelo Autor.	138
Figura 62: Família Revit de Jardim de chuva, vista em elevação. Fonte: Elaborado pelo Autor.	138
Figura 63: Família de Jardim de chuva aplicada em um projeto, com seus respectivos parâmetros. Fonte: Elaborada pelo Autor.	139
Figura 64: Parâmetros carregados na Família de Jardim de Chuva, correspondentes ao conjunto de propriedades do SWMM. Fonte: Elaborada pelo Autor.	139
Figura 65: Arquivo de parâmetros compartilhados criado na elaboração da Família. Fonte: Elaborado pelo Autor.	140
Figura 66: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades de identidade. Fonte: Elaborada pelo Autor.	142
Figura 67: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades de Manutenção. Fonte: Elaborada pelo Autor.	142
Figura 68: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades do SWMM. Fonte: Elaborada pelo Autor.	142
Figura 69: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades de quantidade. Fonte: Elaborada pelo Autor.	143
Figura 70: Parâmetros de aplicabilidade da IDS. Fonte: Elaborada pelo Autor.	144
Figura 71: Parâmetros de requisitos da IDS. Fonte: Elaborada pelo Autor. ...	144
Figura 72: Validação de IDS no <i>software Blender</i> , com todas os requisitos sendo atendidos. Fonte: Elaborado pelo Autor.	145

Figura 73: Validação de IDS no <i>software Blender</i> , com erro de atendimento de requisito. Fonte: Elaborado pelo Autor.	146
Figura 74: Bacia hipotética de estudo. Fonte: Elaborada pelo Autor.	147
Figura 75: Algoritmo <i>Dynamo</i> completo, com as seis partes identificadas. Fonte: Elaborada pelo Autor.	148
Figura 76: Algoritmo <i>Dynamo</i> para vazão máxima de bacia, parte 1. Fonte: Elaborada pelo Autor.	148
Figura 77: Algoritmo <i>Dynamo</i> para vazão máxima de bacia, parte 2. Fonte: Elaborada pelo Autor.	149
Figura 78: Algoritmo <i>Dynamo</i> para vazão máxima de bacia, parte 3. Fonte: Elaborada pelo Autor.	150
Figura 79: Algoritmo <i>Dynamo</i> para vazão máxima de bacia, parte 4. Fonte: Elaborada pelo Autor.	151
Figura 80: Algoritmo <i>Dynamo</i> para vazão máxima de bacia, parte 5. Fonte: Elaborada pelo Autor.	152
Figura 81: Algoritmo <i>Dynamo</i> para vazão máxima de bacia, parte 6. Fonte: Elaborada pelo Autor.	153
Quadro 1: sequência de passos de um estudo de drenagem urbana.	20
Quadro 2: métodos de dimensionamento, condições de utilização, vantagens e inconvenientes.	27
Quadro 3: Elementos gerais da notação BPMN.	97
Quadro 4: Elementos gerais da notação UML.	99
Quadro 5: Protocolo de pesquisa com base na DSR.	102
Quadro 6: Chaves de pesquisa da revisão bibliográfica.	105
Quadro 7: Parâmetros do SWMM e sua descrição, em complemento ao PIR.	134
Quadro 8: Tipos de informação dos parâmetros do SWMM.	137

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Lista de técnicas construtivas de drenagem alternativa..... 126

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	JUSTIFICATIVA	4
3	OBJETIVOS	7
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	8
4.1	HIDROLOGIA	9
4.2	DRENAGEM URBANA	18
4.3	TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM URBANA	22
4.4	SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA (SBN)	27
4.5	TÉCNICAS CONSTRUTIVAS DE SBN	36
4.6	PROJETOS DE DRENAGEM URBANA COM SBN	39
4.6.1	DIAGNÓSTICO E CARACTERIZAÇÃO DA BACIA	39
4.6.2	DEFINIÇÃO DAS SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA	41
4.7	<i>BUILDING INFORMATION MODELLING (BIM)</i>	42
4.7.1	<i>CITY INFORMATION MODELLING (CIM)</i>	44
4.7.2	<i>LANDSCAPE INFORMATION MODELLING (LIM)</i>	45
4.8	OPENBIM	49
4.8.1	REQUISITOS DE INFORMAÇÃO	69
4.9	CRIAÇÃO DE OBJETOS BIM	75
4.10	BIM COMO FERRAMENTA PARA ANÁLISES AMBIENTAIS	91
5	METODOLOGIA	96
5.1	PADRONIZAÇÃO PARA DIAGRAMAS DE PROCESSO	96
5.2	<i>DESIGN SCIENCE RESEARCH</i>	100
5.3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	103
5.4	SISTEMATIZAÇÃO DE TÉCNICAS ALTERNATIVAS DE DRENAGEM URBANA	105
5.5	ANÁLISE DE CLASSIFICAÇÃO IFC DE UMA SBN	107
5.6	PROPOSIÇÃO DE REQUISITOS DE INFORMAÇÃO PARA CATÁLOGO DE PRODUTOS DE SBN	109

5.7	APLICAÇÃO 1: MODELAGEM DE OBJETO BIM DE JARDIM DE CHUVA NO REVIT CONFORME REQUISITOS DE INFORMAÇÃO	111
5.8	CRIAÇÃO DE ESPECIFICAÇÃO DE ENTREGA DE INFORMAÇÃO (IDS)	114
5.9	VALIDAÇÃO DA ENTREGA DA INFORMAÇÃO A PARTIR DO IDS	115
5.10	APLICAÇÃO 2: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL COM <i>DYNAMO</i> PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO MÁXIMO DE UMA MICROBACIA	116
6	<u>RESULTADOS</u>	<u>118</u>
6.1	SISTEMATIZAÇÃO DAS TÉCNICAS DE DRENAGEM ALTERNATIVA	118
6.2	CLASSIFICAÇÃO IFC DAS SBN	128
6.3	REQUISITOS DE INFORMAÇÃO	128
6.4	APLICAÇÃO 1: MODELAGEM DE JARDIM DE CHUVA NO REVIT CONFORME REQUISITOS ELABORADOS	136
6.5	ESPECIFICAÇÃO DE ENTREGA DE INFORMAÇÃO (IDS) PARA UM JARDIM DE CHUVA	143
6.6	VALIDAÇÃO DA ENTREGA DE INFORMAÇÃO DE UM JARDIM DE CHUVA COM BASE EM IDS	145
6.7	APLICAÇÃO 2: IMPLEMENTAÇÃO DO MÉTODO RACIONAL COM <i>DYNAMO</i> PARA CÁLCULO DO ESCOAMENTO MÁXIMO DE UMA MICROBACIA	147
6.8	METODOLOGIA PARA DECODIFICAR USOS BIM EM PROCESSOS E REQUISITOS DE INFORMAÇÃO	153
7	<u>CONCLUSÕES</u>	<u>156</u>
8	<u>RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS</u>	<u>157</u>
9	<u>REFERÊNCIAS</u>	<u>159</u>

1 Introdução

A urbanização e a vida nas cidades são fenômenos criados e criadores da existência humana. Segundo o IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022), no Censo de 2022 aproximadamente 87% da população brasileira vivia em áreas urbanas. Além de elevado, este é um percentual crescente. Em 2010, a população urbana correspondia a 84% da população total (IBGE, 2010). Para abrigar este contingente populacional, as cidades são produzidas em ritmo acelerado.

O Relatório Mundial sobre Cidades da ONU Habitat de 2024 apresenta que, globalmente, a parcela das cidades ocupada por espaços verdes foi reduzida de 19,5% em 1990 para 13,9% em 2020 (UN-HABITAT, 2024). Este dado revela uma realidade urgente, em que a rápida urbanização, tanto nacional quanto globalmente, é acompanhada pela perda de espaços verdes na disputa por territórios.

Para Tucci (2007), a maior parte dos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico tem origem direta no aumento das superfícies impermeáveis. Isso é consequência direta da perda de cobertura vegetal. Tal perda diminui a capacidade de infiltração e retenção do solo e compromete a ocorrência da evapotranspiração das vegetações, aumentando a velocidade de escoamento das bacias.

A complexidade do espaço urbano no contexto desta pesquisa será observada e estudada através de dois eixos. No primeiro, temos um olhar amplo, com abordagens de urbanismo, planejamento urbano e saneamento básico. De forma simultânea, porém, o outro caminho tem um olhar de menor escala, nas edificações, que também passam por uma crescente em sua complexidade.

No eixo Urbano, os problemas relacionados a enchentes e alagamentos são crescentes. Segundo a ONU, em 2025 as áreas propensas a inundações fluviais com períodos de retorno de 100 anos abrigam cerca de um bilhão de pessoas; dessas, metade reside em centros urbanos, 39% em aglomerados urbanos e 11% em áreas rurais (UN-HABITAT, 2024). Essa configuração reforça a necessidade por planejamentos urbanos capazes de atender as demandas em aberto, sobretudo com o avanço das mudanças climáticas, que impacta

majoritariamente populações urbanas em comparação com populações rurais (UN-HABITAT, 2024).

No contexto brasileiro, a busca por um olhar do planejamento da cidade com foco no saneamento básico pode ser remetida a Saturnino de Brito no final do século XIX e início do XX. Lopes (2013) discute que uma das importantes contribuições de Brito para o planejamento das cidades, é sua visão holística do espaço urbano.

Além da visão holística, Brito defendia um planejamento controlado das cidades. O planejamento deveria acompanhar o relevo, a hidrografia, o clima e sobretudo as condições de salubridade. O engenheiro preocupava-se com a morfologia dos leitos fluviais, preservação das matas ciliares, era contra a retificação do leito dos rios e a favor de abordagens descentralizadas como a aplicação de barragens nas cabeceiras de rios para controle de chuvas intensas (GORSKI, 2010; LOPES, 2013). Tais premissas já indicavam caminhos que ainda hoje são considerados como inovações.

Novos paradigmas de drenagem urbana começam a surgir com maior intensidade na década de 1960, com o aparecimento das primeiras publicações que buscaram conceituar outra forma de olhar para a água na cidade. Siglas e princípios diversos que denotavam, de forma geral, um olhar voltado à naturalização da infraestrutura urbana de drenagem, surgiram e se multiplicaram ao redor do mundo, com estratégias semelhantes e especificidades dadas pelas realidades locais (FLETCHER et al., 2015; JIAYU; MANHUA; YANG, 2019).

As Soluções Baseadas na Natureza (SBN) estão dentro deste caldo global de novas perspectivas sobre a cidade. Para a ONU (2024), as cidades deveriam investir em SBN para alcançar uma maior resiliência urbana, sendo que estas soluções devem ser equitativamente espalhadas no território para que seus benefícios sejam justamente distribuídos na paisagem urbana. A maior parte das soluções necessárias para responder decisivamente às mudanças climáticas já está disponível, em termos de conhecimento técnico. A oportunidade que temos hoje reside no fato de que muito da infraestrutura que precisamos para criar cidades resilientes ainda precisa ser construída, o que traz

a possibilidade de serem concebidas de forma mais sustentável e inclusiva (UN-HABITAT, 2024).

No segundo eixo da pesquisa, temos a alta complexidade do ambiente urbano em sua menor parcela, do lote e da edificação. Nessa escala de produção da cidade, o avanço tecnológico também surge com mudanças de paradigmas.

Olhando de forma mais próxima para a Construção Civil, temos desde o final do século XX uma transformação em curso. Mesmo que com início tímido e estritamente teórico, a Modelagem da Informação da Construção, ou *Building Information Modelling* (BIM) vem se constituindo desde a década de 1970 (EASTMAN et al., 2014).

Com um avanço prático possibilitado pelo desenvolvimento da computação, a metodologia BIM se desenvolve de forma rápida e contínua desde o início dos anos 2000, como um novo e necessário paradigma para o desenvolvimento da Indústria de Arquitetura, Engenharia e Construção Civil (AEC) (EASTMAN et al., 2014).

BIM é uma tecnologia de modelagem associada a processos para produzir, comunicar e analisar modelos de edificação (EASTMAN et al., 2014), ou um conjunto de práticas; metodologias, tecnologias e processos para a gestão colaborativa de um ativo ao longo do ciclo de vida (SUCCAR, 2009a). Pode ser interpretado como um modelo tridimensional preenchido com informações, mas também como um modelo de informações com possibilidade de ser visualizado de forma tridimensional (HJELSETH, 2010). Enquanto metodologia pautada em informações e dados, possui capacidade de suportar inúmeras aplicações (SUCCAR; SALEEB; SHER, 2016), limitadas exclusivamente pela nossa capacidade de criar e manipular dados com qualidade e de forma interpretável.

A mudança de paradigma é grande. Entre os anos de 2022 e 2024, segundo relatórios do BIM Fórum Brasil (BFB), os principais indicadores de adoção BIM no país tiveram avanço gradual positivo em quase todas as dimensões avaliadas. Essa análise comparativa destaca que apesar da persistência de desafios estruturais na digitalização do setor de AEC, há um movimento contínuo de adaptação e melhoria (BFB, 2024a).

Assim, compreendem-se o eixo Urbano, com foco no manejo de águas pluviais, bem como o eixo local, com os recentes avanços tecnológicos e metodológicos da perspectiva da edificação.

Novos conceitos reúnem essas trajetórias. A Modelagem da Informação da Cidade (CIM, *City Information Modelling*) leva os princípios BIM para a escala urbana, estendendo possibilidades com a integração entre BIM, GIS e bases de dados urbanas para desenvolver análises e simulações, com dados abertos e acessíveis (SOUZA; BUENO, 2022).

Com um passo a mais em direção à integração BIM-SBN, temos hoje o conceito de LIM (*Landscape Information Modelling*, Modelagem da Informação da Paisagem). LIM consiste em uma metodologia de projeto da paisagem, capaz de simular aspectos dos ambientes construídos, integrando elementos e processos naturais com a finalidade de atender questões ambientais, sociais, culturais e econômicas nas cidades e comunidades (SANDRE, 2022). Nestes aspectos plurais e amplos, o LIM se apresenta como um caminho apropriado para a viabilização de projetos com aplicação de SBN, cujas aspirações são igualmente multidisciplinares.

Dessa forma, a elaboração da pesquisa aqui apresentada trabalha com os diversos temas citados e outros que seguirão no texto, com perspectiva de contribuir na concepção de ferramentas para o avanço teórico-prático das mudanças constantes de paradigmas em busca de cidades mais resilientes, sustentáveis e em última instância, que proporcionam qualidade de vida para as populações que nelas vivem.

2 Justificativa

Os temas e conceitos apresentados na Introdução da Pesquisa representam questões amplas, diversas, mais e menos consolidadas na literatura e na prática corrente da Indústria de AEC e no Urbanismo. Este trabalho busca atender lacunas de conhecimento identificadas nos levantamentos bibliográficos.

O Catálogo Brasileiro de SBN (2023) apresenta um grande conjunto de informações sobre SBN, de um ponto de vista tanto teórico quanto prático, com

ferramentas para implementação e buscando “oferecer informações para justificar e embasar as decisões, além de sugerir um direcionamento pragmático para o processo de planejamento”. Em uma seção dedicada às lacunas para efetividade das SBN no Brasil, identificam-se os seguintes pontos:

- baixo conhecimento técnico e pensamento de curto prazo das gestões públicas;
- carência de processos públicos de licitação que abracem as SBN;
- falta de indicadores e de estratégias de monitoramento que gerem resultados contundentes sobre sua efetividade;
- ausência de incentivos legais e estruturas regulatórias;
- poucos espaços de planejamento que engajem diferentes atores e conhecimentos;
- falta de recursos para estudos e pré-projetos.

Os itens com grifo acima destacam as lacunas sobre as quais esta pesquisa tem maior potencial de impactar, criando procedimentos que auxiliem na contratação pública de projetos de SBN com foco em permitir a antecipação das avaliações através de simulações. Indiretamente, espera-se que uma integração efetiva entre sistemas BIM e premissas de SBN possa contribuir também com análises para comprovação de “resultados contundentes sobre sua efetividade” em pesquisas futuras.

No relatório “Avaliando os benefícios das Soluções Baseadas na Natureza para o planejamento de bacias hidrográficas”, Shiao et al. (2020) discutem os desafios e obstáculos para a implementação de SBN. São descritos seis principais obstáculos, identificados a seguir:

- Incerteza quanto ao processo de implementação e a eficácia das soluções;
- Recursos financeiros inadequados;
- Dependência de decisões anteriores na tomada de decisão organizacional;
- Regulamentações inadequadas;
- Disponibilidade limitada de terreno e tempo;
- Fragmentação institucional.

No grifo inserido no terceiro item da lista acima, entende-se que a aplicação de SBN depende de tomadas de decisão em estágios iniciais de projeto, sendo objetivo desta pesquisa auxiliar nesta etapa de concepção de novos projetos. A disponibilidade limitada de tempo também pode ser positivamente influenciada, de forma indireta, considerando o sucesso no desenvolvimento de procedimentos que tornem mais rápida as avaliações preliminares. Cabe ao BIM, também, reduzir as perdas decorrentes da fragmentação institucional típica da Indústria de AEC e da gestão pública e o trabalho desenvolvido aqui busca qualificar tecnicamente as regulamentações possíveis em termos de contratações BIM.

Sarabi et al. (2019) conduzem uma extensa revisão da literatura em busca de facilitadores e barreiras na implementação de SBN em ambientes urbanos. Em uma análise de 41 artigos publicados entre 2015 e 2019, os autores identificam que 18 deles apontam incertezas quanto ao processo de implementação de SBN como a principal barreira para implementação.

De forma complementar, os maiores facilitadores ou viabilizadores na implementação de SBN são destacados abaixo, em ordem decrescente de ocorrência em número de artigos relacionados (SARABI et al., 2019):

- Parceria entre as partes interessadas;
- Monitoramento efetivo e sistemas de avaliação para o processo de implementação e geração de benefícios;
- Compartilhamento de conhecimento de ferramentas e tecnologias;
- Instrumentos econômicos;
- Planos, ações e legislações;
- Educação e capacitação técnica;
- Combinar SBN com elementos urbanos de infraestruturas cinzas;
- Inovação aberta e experimentação;
- Planejamento e projetos apropriados.

Em uma análise dedicada à cidade de Portland, as dificuldades na adoção de *Blue-Green Infrastructure* (BGI, Infraestrutura Verde-Azul) estão relacionadas às incertezas em relação à sua performance hidrológica e falta de confiança na aceitabilidade política e públicas das abordagens e soluções. As incertezas

relativas ao desempenho estão em cenários tanto de estágios iniciais, de estudo e concepção de projetos, quanto em cenários de longo prazo, relativos à continuidade do apoio às iniciativas, manutenção das infraestruturas e desempenho ao longo do tempo (THORNE et al., 2018).

Autores identificam, também, que a percepção da população em geral é altamente relevante para as tomadas de decisão políticas relativas à legislação, incentivos públicos, licitações e inserção do tema de SBN na agenda pública de maneira geral. A concentração do tema na esfera acadêmica e falta de percepção públicas sobre seus benefícios é um entrave ao avanço da disseminação do tema (SARABI et al., 2019; THORNE et al., 2018).

A integração BIM-SBN é capaz de levar as potencialidades de aplicação do BIM para um campo emergente em termos de ferramentas viabilizadoras. As SBN possuem um caráter inovador e enfrentam condições estabelecidas da chamada “drenagem convencional”. Tais abordagens mais tradicionais, de infraestrutura cinza, tem um paradigma a ser superado de que o papel do saneamento básico no quesito águas pluviais é afastar a água o mais rápido possível.

Metodologias como o BIM proporcionam visibilidade sobre questões importantes e rapidez em análises, desde que tenhamos as informações necessárias corretamente inseridas no modelo. Torna-se possível e palpável a avaliação de alternativas de projeto em fases iniciais, mensurando de forma aproximada os custos envolvidos, tempos de projeto e execução, desempenho no longo prazo, impactos nos sistemas correlacionados, operação e manutenção das estruturas, entre outros (SUCCAR; SALEEB; SHER, 2016).

3 Objetivos

A presente pesquisa tem como objetivo geral a criação de uma metodologia, baseada em BIM, para permitir estudos de simulação dos efeitos que Soluções Baseadas na Natureza (SBNs) são capazes de gerar em ambientes urbanos construídos. Em especial, será considerada a avaliação dos seus efeitos em sistemas urbanos de manejo de águas pluviais.

Os efeitos estudados tratam de aspectos quantitativos de drenagem urbana, sobretudo volume e velocidade de escoamento superficial.

De forma específica, busca-se:

- Definir os parâmetros de projeto relevantes a serem modelados em objetos BIM para que o Modelo de Informação seja capaz de representar os efeitos de SBNs no ambiente e subsidiar análises;
- Identificar softwares de mercado adequados para o estudo, propondo fluxos de trabalho;
- Identificar ferramentas *open source*, disponíveis ou em desenvolvimento, capazes ou com potencial de atender os fluxos propostos;
- Criar ferramentas teóricas que permitam realizar análises dos efeitos de SBN em processos de urbanização;
- Aplicar as ferramentas criadas.

4 Revisão Bibliográfica

A etapa de Revisão Bibliográfica foi realizada em torno dos termos e conceitos que se mostraram importantes no arcabouço conceitual da pesquisa ao longo do seu desenvolvimento.

A revisão é iniciada pela construção de um panorama da drenagem urbana. Enquanto problema central abordado pela pesquisa, o contexto de drenagem e seus problemas no ambiente construído das cidades são mapeados e compreendidos como base inicial.

Para as Soluções Baseadas na Natureza (SBN), apresentam-se os termos identificados como formas usuais de se discutir conceitos iguais ou correlatos. Apesar de SBN ter aplicações diversas no contexto urbano e fora dele, a revisão tem enfoque nas abordagens relativas à drenagem urbana. Ainda, as principais técnicas construtivas dentro de cada termo foram identificadas e serão apresentadas ao longo do conteúdo desta seção.

Tendo as técnicas construtivas em vista, enquanto objetos de projeto, foram estudadas os dados e informações necessários ao dimensionamento destas estruturas. Neste item, o olhar é voltado à estrutura da SBN, à sua

interação com o solo, geografia local e do entorno e à Hidrologia relativa aos eventos de precipitação.

Construído o contexto do trabalho, apresenta-se a etapa de revisão referente à metodologia BIM. Dentro do BIM, além dos conceitos gerais e uma análise sobre o estado da arte, dois usos específicos pertinentes à pesquisa (CIM e LIM) foram explorados com maior profundidade. Os conceitos, fluxos de trabalho e padrões openBIM foram explorados, bem como as premissas em torno da criação de Objetos BIM.

Por fim, são discutidos trabalhos que apresentam abordagens correlacionadas a uma ou mais temáticas da pesquisa e que proveem subsídios relevantes.

4.1 Hidrologia

Este item da revisão bibliográfica tem como principal objetivo apresentar a contextualização e embasamento dos conceitos essenciais de hidrologia e drenagem urbana. Independente das técnicas de drenagem selecionadas em um projeto, convencionais ou alternativas (compensatórios, baseadas na natureza etc.), a elaboração de projetos segue os mesmos preceitos nos quesitos hidrológicos.

Hidrologia é a ciência que trata da água na Terra, sua ocorrência, circulação e distribuição. É uma ciência interdisciplinar que evoluiu e evolui constantemente, sobretudo em relação à problemas crescentes gerados pela ocupação de bacias, do aumento da utilização da água e do impacto gerado sobre o meio ambiente. A Hidrologia é composta por profissionais de diferentes áreas como engenharia, agronomia, geologia, matemática, estatística, geografia, biologia entre outras (TUCCI, 2009a).

A ciência hidrológica possui diversas subáreas. Tucci (2009a) elenca algumas delas: **Hidrometeorologia**, Geomorfologia, **Escoamento superficial**, Interceptação vegetal, **Infiltração e escoamento em meio não-saturado**, escoamento em meio saturado, escoamento em rios e canais, evaporação e evapotranspiração, fluxo dinâmico em reservatórios, produção e transporte de sedimentos, qualidade da água e meio ambiente. Os termos destacados em

negrito são os de maior relevância para esta pesquisa e serão explorados de forma mais profunda.

A Hidrologia Aplicada é voltada aos diferentes problemas que envolvem a utilização de recursos hídricos, preservação do meio ambiente e ocupação da bacia. Dentre várias áreas de hidrologia aplicada, destaca-se no texto de Tucci (2009a) as áreas de “planejamento e gerenciamento da bacia hidrográfica”, cujo foco está no desenvolvimento das bacias em termos de planejamento e controle no uso dos recursos e “Drenagem urbana”, essencial em um contexto de presença majoritária da população brasileira em espaços urbanos.

O ciclo hidrológico é um conceito básico, mas de entendimento fundamental para qualquer aplicação de Hidrologia. A Figura 1 apresenta uma visão completa do ciclo hidrológico. De maneira resumida, pode-se iniciar uma visão do ciclo a partir do vapor de água na atmosfera. Sob condições adequadas, esse vapor se acumula em microgotículas que dão origem à “precipitação” na sua forma mais comum, que é a chuva. Quando a chuva atinge um solo com cobertura vegetal, parte do volume sobre “interceptação” em folhas e caules e evapora. A água que não é interceptada e atinge o solo, que é poroso, sofre “infiltração” até que a superfície esteja saturada. O excesso de tudo que não infiltra gera o “escoamento superficial”, sendo levado pela gravidade para as cotas mais baixas através de canais permanentes ou temporários até atingir um rio, lago ou oceano. Em todas as etapas do ciclo há “evaporação” de água para a atmosfera, assim como a evapotranspiração (TUCCI, 2009a).

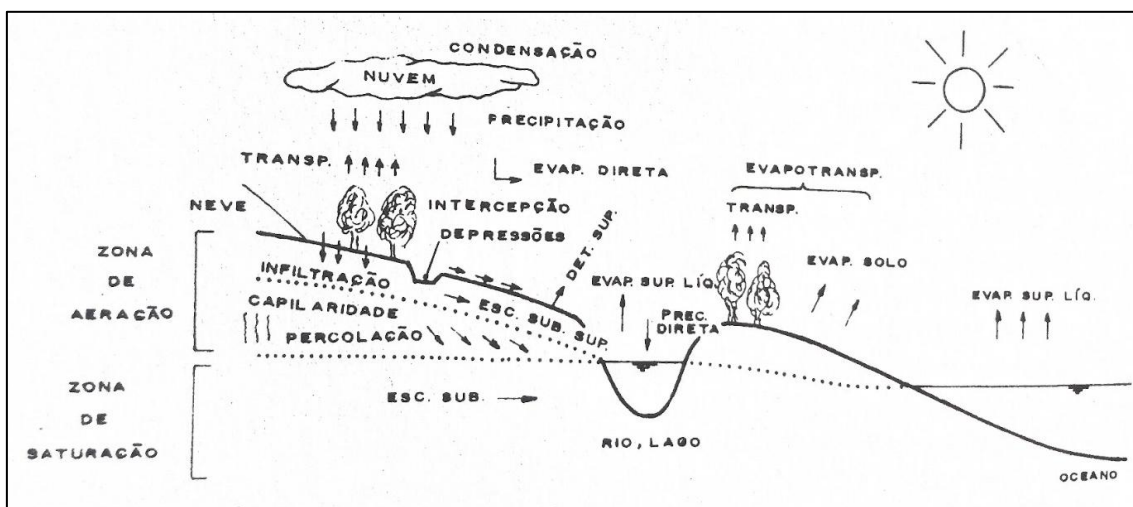


Figura 1: componentes do ciclo hidrológico. Fonte: Tucci (2009a).

Em geral, a parte do ciclo hidrológico de maior interesse é em sua fase terrestre, algo também de interesse principal nesta pesquisa. O elemento fundamental de análise nessa fase é a bacia hidrográfica (TUCCI, 2009a). A bacia hidrográfica é uma “área de captação natural da água da precipitação que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório” (TUCCI, 2009a). A bacia é composta basicamente de um conjunto de superfícies que geram escoamento superficial e uma rede de drenagem de cursos d’água que confluem até um ponto comum.

A bacia hidrográfica enquanto unidade básica de gestão é um sistema onde a entrada é o volume de água precipitado e a saída é o volume de água escoado pelo exutório, contando com perdas intermediárias por evaporação, transpiração vegetal e infiltração. A avaliação do balanço entre entradas e saídas em uma bacia é feita a partir de um hietograma de entrada e um hidrograma de saída (TUCCI, 2009a), conforme Figura 2.

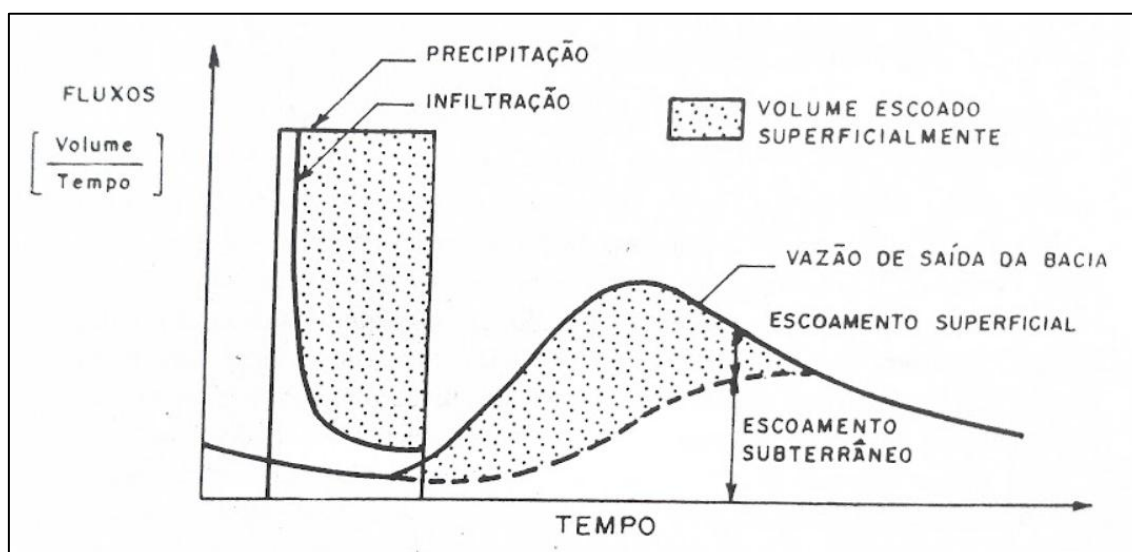


Figura 2: resposta hidrológica da bacia hidrográfica. Fonte: Tucci (2009a).

O hidrograma de saída é ponto crítico e essencial para análise de qualquer bacia e sua forma será especialmente relevante nas avaliações de uma bacia hidrográfica urbanizada. Dois efeitos explicados por Tucci (2009a) são o efeito de translação e o efeito de armazenamento.

O efeito de translação ocorre ao se analisar a precipitação de uma determinada lâmina de chuva sobre uma bacia. Pelo escoamento superficial, a precipitação que ocorre mais perto do exutório chega mais rápido até ele,

enquanto o volume precipitado em pontos mais distantes leva mais tempo para chegar ao exutório, havendo um escalonamento da chegada dos escoamentos que gera um espalhamento das vazões no tempo (TUCCI, 2009a). Mas à frente esta característica será diretamente relacionada ao tempo de concentração de uma bacia.

O efeito de armazenamento trata diretamente do volume de água que é temporariamente armazenado ao longo da bacia. Um dos fatores de armazenamento é a rugosidade do solo, pois em condições naturais o atrito é maior, levando a uma maior carga hidráulica e maior armazenamento. Outra parte significativa é o efeito de armazenamento em redes de drenagem, que promove um abatimento pelo armazenamento em seus canais (TUCCI, 2009a).

Ao se utilizar a bacia hidrográfica como unidade de estudo, temos uma delimitação geográfica da área de incidência de uma determinada precipitação. Para efeitos de projeto é necessário compreender a intensidade dessa precipitação, observando o conceito de curvas de intensidade-duração e frequência (I-D-F). As curvas IDF são obtidas correlacionando inicialmente intensidades e durações das chuvas. Com isso, verifica-se que quanto mais intensa for uma chuva, menor será sua duração. A partir de dados históricos pode-se obter a relação das maiores intensidades de chuva e suas durações. Quanto menor o risco de ocorrência de uma chuva, maior será sua intensidade (BERTONI; TUCCI, 2009). A Figura 3 apresenta um exemplo de curva IDF para o município de São Carlos – SP.

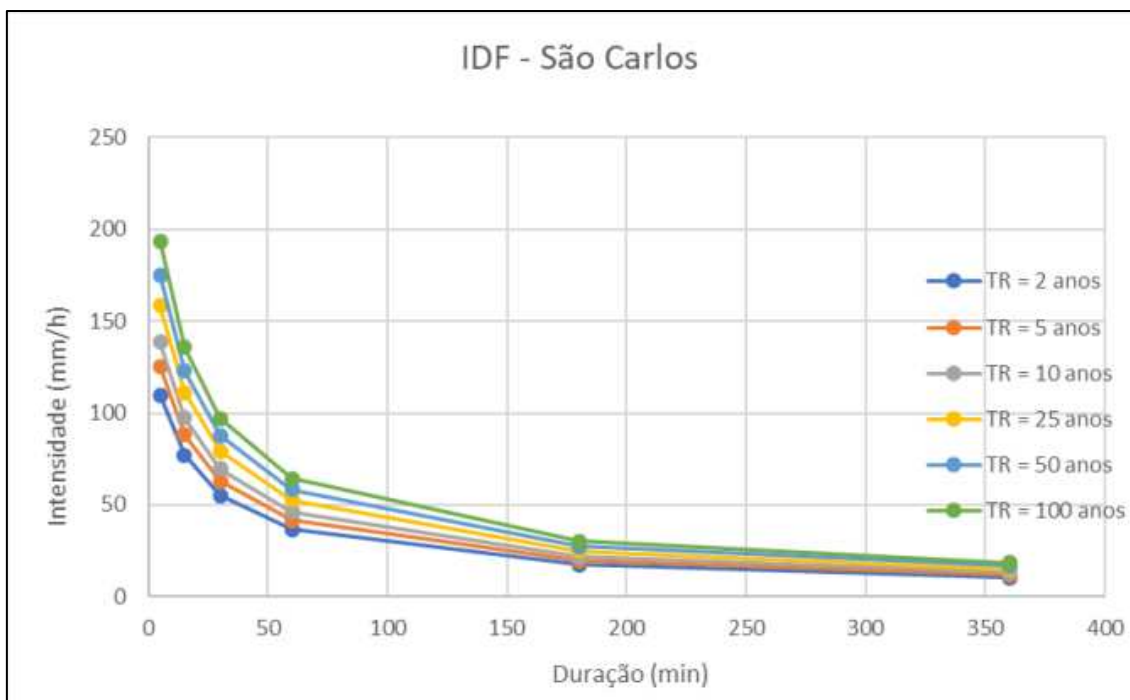


Figura 3: IDF para os TR de 2, 5, 10, 25, 50 e 100 anos. Fonte: JOCHELAVICIUS et al., (2022).

Dentre as interações do ciclo hidrológico, analisam-se alguns pontos a respeito da água subterrânea. A umidade presente no solo pode ser dividida em duas áreas quando se analisa sua distribuição vertical. Uma Zona de saturação ocorre onde todos os espaços vazios encontram-se ocupados pela água. Uma zona de aeração ocorre onde os poros contêm água e ar (CAICEDO, 2009).

A porosidade de um solo é a medida relativa do volume de vazios em um meio poroso. Os materiais de interesse nesse caso são os solos em seus mais variados tipos, que apresentam diferentes características de porosidade em função da forma das partículas, grau de compactação e distribuição de tamanho das partículas (CAICEDO, 2009).

Além da porosidade de um solo, as propriedades que serão mais relevantes para avaliação são as de infiltração. A capacidade de infiltração trata do potencial que um solo tem de absorver água pela sua superfície. Essa grandeza é relacionada também com a taxa de infiltração, em termos de lâmina por tempo que acontece enquanto há disponibilidade de água para penetrar no solo (DA SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2009). A Figura 4 representa a capacidade de infiltração.

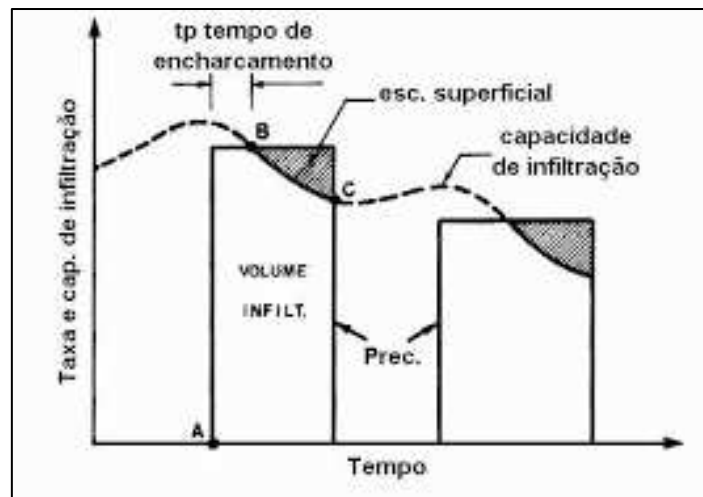


Figura 4: curvas de capacidades e taxas de infiltração. Fonte: Da Silveira; Louzada; Beltrame (2009).

Os valores de infiltração pontual podem ser determinados a partir de equações. O método de Horton estabelece uma relação empírica para o decaimento da infiltração com o tempo. O método de Green-Ampt é derivado da equação de Darcy através de simplificações no fenômeno de propagação da frente de umidade no interior do solo (DA SILVEIRA; LOUZADA; BELTRAME, 2009). O tipo de estudo e disponibilidade de dados do local de projeto direciona a escolha do método mais adequado para avaliação da capacidade de infiltração. Quando esta capacidade é superada por uma precipitação, ocorre o escoamento superficial.

A avaliação do escoamento superficial gerado é feita a partir de hidrogramas, gráficos que relacionam vazão e tempo, conforme apresentado anteriormente na Figura 2. A forma de um hidrograma depende de muitos fatores, sendo os mais importantes: relevo; forma da bacia; cobertura da bacia; modificações artificiais no rio; distribuição, duração e intensidade da precipitação; tipo de solo. A Figura 5 apresenta algumas configurações de hidrogramas em função de condições locais diversas.

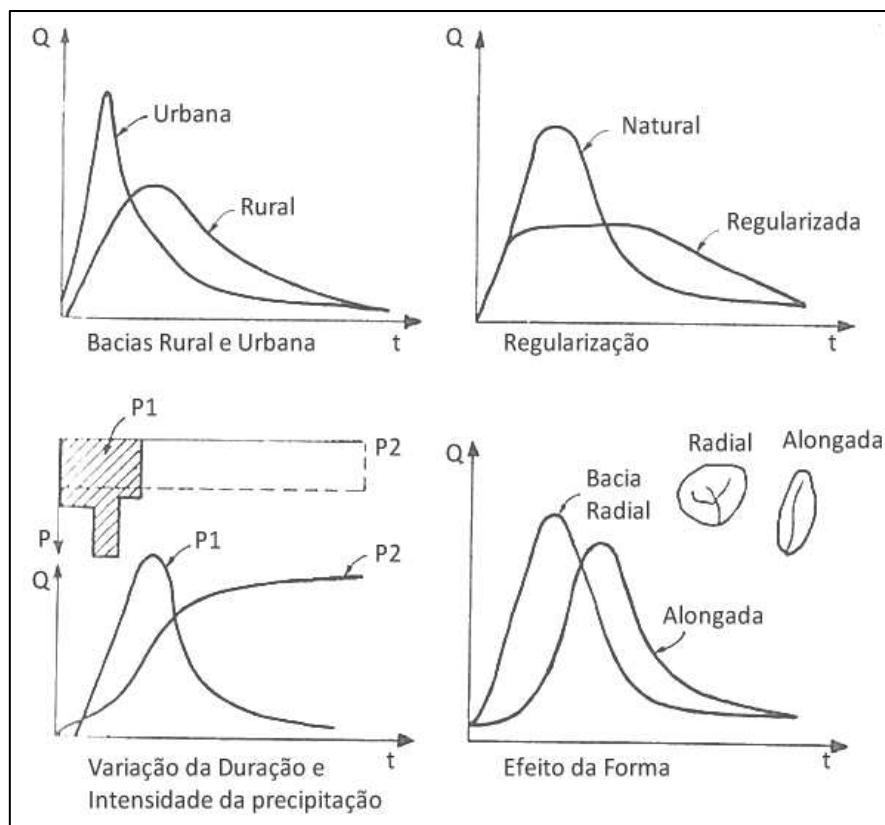


Figura 5: hidrogramas. Fonte: Tucci (2009b).

Segundo Tucci (2009b), um hidrograma pode ser caracterizado em termos de três partes principais:

- Ascensão: altamente correlacionada com a intensidade da precipitação;
- Região de pico: próximo ao valor máximo, quando o hidrograma começa a mudar de inflexão; e
- Recessão: onde só o escoamento subterrâneo está contribuindo para a vazão total do rio.

O escoamento que representa as duas primeiras etapas do hidrograma pode ser descrito por modelos empíricos e matemáticos, como o Hidrograma Unitário (HU). O HU é baseado em dados históricos e é a resposta da bacia a uma precipitação de volume unitário e duração unitária Δt (TUCCI, 2009b).

A vazão máxima é entendida como o valor de vazão associado ao risco de este ser igualado ou ultrapassado. O hidrograma de projeto é uma sequência temporal de vazões relacionadas a um risco de ocorrência, caracterizada pelo seu volume, distribuição temporal e valor máximo (pico do hidrograma). A vazão

máxima é utilizada em projetos de obras hidráulicas como reservatórios, ações de controle e atenuação de cheias e obras de drenagem urbana (TUCCI, 2009c).

O risco associado nas escolhas de projeto é determinante para as vazões de pico. Esse risco é diretamente associado ao conceito de Tempo de Retorno, entendido como a probabilidade de um evento de precipitação ocorrer com determinada intensidade nos próximos anos (TUCCI, 2009c).

A determinação de vazões máximas pode ser feita com base em séries históricas, distribuições estatísticas ou métodos simplificados. No contexto desta pesquisa, serão explorados apenas métodos simplificados.

O método racional estima a vazão máxima com base em uma precipitação de forma simplificada, englobando todos os processos em apenas um coeficiente. O método é amplamente empregado em bacias pequenas, menores que 2 km² (TUCCI, 2009c). Os princípios e considerações simplificadoras da metodologia, segundo Tucci (2009c), são:

- Considera a duração da precipitação de projeto igual ao tempo de concentração da bacia. Ou seja, admite-se que a bacia é pequena para que essa situação ocorra e o escoamento nela é relativamente uniforme;
- Adota um coeficiente único de perdas “C”, estimado com base nas características da bacia; e
- Não avalia o volume de cheia e a distribuição temporal das vazões.

A formulação do método racional é definida pela Equação 1.

$$Q_{m\acute{a}x} = 0,278 * C * i * A \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

i = intensidade da precipitação, em mm/h; C = Coeficiente de escoamento ou coeficiente de perdas; A = Área da bacia, em km²; Q_{máx} = Vazão máxima, em m³/s.

A intensidade da chuva é dada diretamente pela curva IDF do local de estudo. Primeiramente deve-se selecionar o período de recorrência ou tempo de retorno da chuva de projeto, diretamente ligado ao risco aceitável de que aquela chuva seja superada em determinado período. A duração da chuva, no caso do

método racional, será correspondente ao tempo de concentração da bacia, que depende da área, comprimento, declividade dos canais, forma da bacia, declividade média da bacia, rugosidade do canal, tipo de cobrimento e distâncias percorridas (PINTO et al., 2010).

Abaixo, a Equação 2 (fórmula de Picking), Equação 3 (fórmula de Vem te Chow) e Equação 4 (fórmula do *California Culvers Practice*) apresentam três métodos de determinação do tempo de concentração em função da geometria da bacia.

$$t_c = 5,3 * \left(\frac{L^2}{I}\right)^{1/3} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração; L = distância horizontal do ponto mais distante da bacia; I = declividade média da bacia.

$$t_c = 25,2 * \left(\frac{L}{I}\right) \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração; L = distância horizontal do ponto mais distante da bacia; I = declividade média da bacia.

$$t_c = 57 * \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

t_c = tempo de concentração; L = distância horizontal do ponto mais distante da bacia; H = diferença de nível entre o ponto mais afastado da bacia e o ponto considerado.

Identificados a duração da chuva conforme tempo de concentração e sua frequência (correspondente ao tempo de retorno escolhido) obtêm-se a intensidade. O coeficiente de escoamento "C" é baseado em tabelas e busca representar a cobertura da bacia, onde pavimentos impermeáveis correspondem a um C mais elevado que áreas com cobertura vegetal, gerando uma ponderação simples do percentual de volume precipitado que escoar em determinadas superfícies (PINTO et al., 2010; TUCCI, 2009c). A área da bacia é

dada pela delimitação da própria bacia em função do ponto de saída (exutório) escolhido.

4.2 Drenagem urbana

Durante muito tempo, o principal objetivo dos sistemas de drenagem era essencialmente de afastamento do excesso de águas pluviais para evitar riscos e inundações. Com isso, as ações concentraram-se em projetos e medidas chamadas de estruturais, focando em obras e análise econômica dos custos e benefícios dessas medidas (PORTO et al., 2009).

Para Porto et al. (2009), o termo “drenagem urbana” é entendido em um sentido mais amplo, de um conjunto de medidas com objetivo de “minimizar os riscos a que as populações estão sujeitas, diminuir os prejuízos causados por inundações e possibilitar o desenvolvimento urbano de forma harmônica, articulada e sustentável”.

Ainda segundo Porto et al. (2009), sistemas eficazes de drenagem urbana dependem de:

- Existência de uma política para o setor;
- Políticas para ocupação do solo urbano devidamente articuladas com políticas de drenagem;
- Planejamentos que considerem medidas de curto, médio e longo prazo em toda a bacia;
- Existência de governança adequada;
- Domínio das tecnologias de planejamento, projeto, construção e operação das obras;
- Campanhas de educação e esclarecimento da opinião pública.

De maneira geral, os sistemas de drenagem urbana atuam para atenuar os impactos da própria urbanização. Em termos de causas e efeitos da urbanização, a Figura 6 apresenta uma relação de itens relevantes.

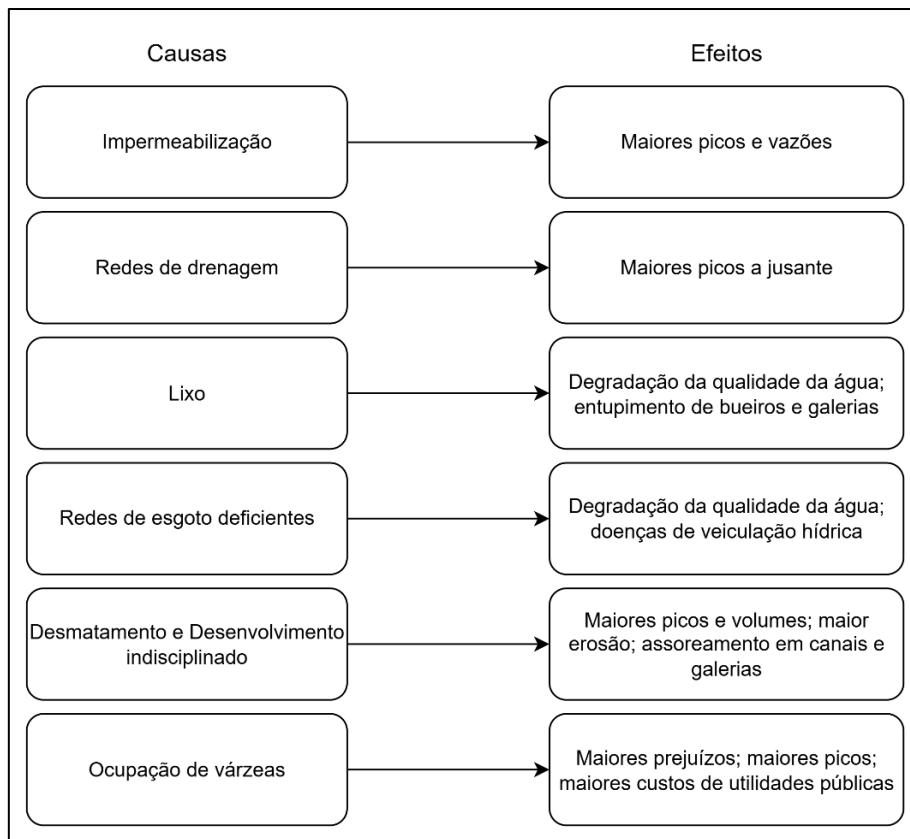


Figura 6: causas e efeitos da urbanização sobre as inundações urbanas. Fonte: adaptado de Porto et al. (2009).

A Figura 7 apresenta a relação de causalidade da urbanização em alguns sistemas, detalhando a Figura 6.

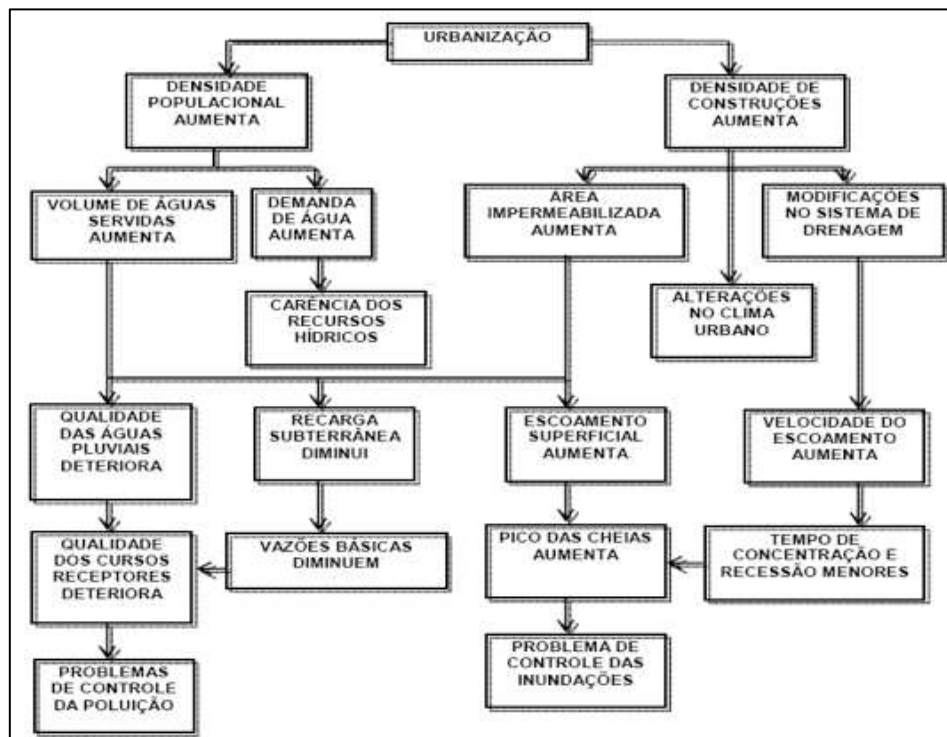


Figura 7: processos que ocorrem em uma área urbana. Fonte: Porto et al. (2009).

A hidrologia urbana pode ser definida como o estudo dos processos hidrológicos em ambientes afetados pela urbanização. Dentro disso a drenagem urbana em geral se limita ao estudo das cheias (PORTO et al., 2009). Nesse contexto, identifica-se um passo a passo genérico para estudos de drenagem urbana.

Quadro 1: sequência de passos de um estudo de drenagem urbana.

Passos	Temas relevantes	Item
Passo 1	Aspectos sociais e econômicos	Escolha do Período de Retorno
Passo 2	Meteorologia	Determinação da chuva de projeto
Passo 3	Hidrologia, Pedologia, Uso do solo	Determinação do escoamento superficial direto
Passo 4	Hidrologia	Determinação das vazões de projeto
Passo 5	Hidráulica	Dimensionamento das estruturas hidráulicas

Fonte: adaptado de Porto et al. (2009).

No Quadro 1, o primeiro passo é a escolha do período de retorno que tem relação direta com a proteção conferida à população ou o risco a qual uma população está sujeita (PORTO et al., 2009). O período de retorno de soluções de microdrenagem varia de 2 a 10 anos, enquanto soluções de macrodrenagem devem adotar períodos de 50 a 100 anos em geral ou mais em casos específicos (CETESB, 1986). O passo 2 foi descrito no item 4.1 e tem maiores variações possíveis em termos de seleção do método de cálculo do tempo de concentração.

A drenagem urbana tem início na conexão entre captações pluviais de edificações à rede pública de drenagem superficial, que capta o escoamento de ruas, calçadas, pátios etc. O escoamento proveniente destas áreas se conecta à drenagem de bueiros em condutos pluviais que alimentam os condutos secundários até os sistemas principais de pequenos rios (PORTO et al., 2009).

A macrodrenagem é caracterizada pelos escoamentos em fundo de vale, que normalmente são bem definidos, em bacias de pelo menos 5 km². Já a microdrenagem se aplica a áreas onde o escoamento natural não é bem definido, sendo, portanto, determinado pelo uso do solo. Em uma área urbana, o traçado das ruas é determinante na microdrenagem (PORTO et al., 2009).

No contexto da drenagem convencional descrita até aqui e para dispositivos de microdrenagem, o passo 4 do Quadro 1 é atendido pelo método racional e o passo 5 é descrito de forma geral como se segue: inicia-se com um traçado preliminar de redes coletoras de drenagem, em função da topografia e infraestrutura existente; em seguida posicionam-se as bocas de lobo, dispositivos de coleta pontual do escoamento superficial; e posicionam-se os poços de visita em pontos de mudança de direção da rede. Todos esses sistemas são dimensionados a partir de princípios básicos de hidráulica de condutos livres e vertedouros (CETESB, 1986; PORTO et al., 2009).

Já para os projetos de macrodrenagem, o passo 4 do Quadro 1 não será feito pelo método racional por serem, em geral, bacias de porte médio. Esses casos demandam cálculos de cheia baseados na teoria do hidrograma unitário ou outros métodos de simulação matemática. O dimensionamento hidráulico busca, a partir da visão da bacia como um todo, compensar os impactos negativos da urbanização, redistribuindo as vazões ao longo do tempo, amortecendo cheias e buscando evitar inundações (PORTO et al., 2009).

Quando os sistemas de drenagem têm suas capacidades de projetos superadas, temos ocorrência de inundações, com especial impacto negativo em cenários de várzeas ocupadas (TUCCI, 2009d). A drenagem convencional possui algumas linhas de medidas estruturais, descritas por Tucci (2009d) como se segue:

- Controle da cobertura vegetal: a cobertura vegetal interfere no processo de precipitação-vazão, reduzindo vazões máximas amortecendo o escoamento e reduz a erosão do solo que pode aumentar o nível de rios;
- Controle da erosão do colo: aumento da erosão implica na redução da área de escoamento. Pode ser realizado pelo reflorestamento, pequenos reservatórios e estabilização de margens.

Tucci (2009d) ainda aponta que o reflorestamento de bacias envolve custos significativos e pode tornar essas medidas frequentemente inviável. Outras medidas apontadas pelo autor como estruturais e intensivas para controle de enchentes são: construção de diques, redução da rugosidade dos canais por

desobstrução, corte de meandros, uso de reservatórios e mudanças no traçado de canais.

Em termos de abordagens não estruturais, Tucci (2009d) elenca: regulação do uso da terra ou zoneamento de áreas inundáveis, buscando evitar a ocupação urbana em zonas de risco; construções à prova de enchentes, como conjunto de medidas de projeto para reduzir danos em edificações localizadas em zonas de várzea; seguro contra enchentes, como forma de proteção econômica; e previsão e alertas, com sistemas de previsão de enchentes e notificação à população para evitar perdas.

4.3 Técnicas alternativas de drenagem urbana

Nos itens 4.1 e 4.2 foram apresentados e discutidos diversos conceitos do campo de conhecimento geral de Hidrologia e Drenagem urbana, sendo que a drenagem urbana foi discutida em seus aspectos mais convencionais ou clássicos. Este item busca iniciar a discussão a respeito de sistemas alternativos de drenagem urbana, tratado neste tópico através das técnicas compensatórias.

Os sistemas clássicos apresentados anteriormente são constituídos basicamente pelos dispositivos de microdrenagem que conduzem as águas superficiais, captação destas quando o volume é excedente, destinando a sistema em geral enterrados até que conduzam o escoamento até os sistemas de macrodrenagem (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Como apontado por Baptista; Nascimento; Barraud (2011), Baptista e Nascimento (1996) destacam que a urbanização intensa da segunda metade do século XX evidenciou os limites desses sistemas de drenagem clássica em termos de eficácia, considerando cinco aspectos de especial importância:

- Ao retirar de forma rápida a água de drenagem de uma área urbanizada, transfere-se o problema para jusante. Com isso, novas áreas urbanizadas tendem a provocar inundações em áreas de urbanização mais antiga;
- Com isso, novas obras de drenagem são necessárias a jusante, com obras em geral bastante custosas;

- A canalização de cursos d'água gera uma ideia falsa de segurança na população em termos de inundações, aumentando a ocupação de áreas ribeirinhas. Isso é intensificado em cenários de falta ou baixa qualidade de planejamento urbano;
- Soluções clássicas, de forma geral, não contemplam questões de qualidade da água, tanto no quesito de transporte de sedimentos quanto outros poluentes; e
- Soluções clássicas conduzem, muitas vezes, a situações irreversíveis que limitam os usos presentes ou futuros da água no meio urbano.

A partir dessas problemáticas, novas abordagens para os problemas persistentes surgem a partir dos anos 1970, principalmente na Europa e Estados Unidos. O conceito de tecnologias alternativas ou compensatórias trazem a perspectiva de neutralização ou compensação dos efeitos da urbanização sobre o ciclo hidrológico, alinhado a outros benefícios simultâneos para qualidade de vida e preservação do meio ambiente (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Enquanto ideia central das técnicas alternativas está a consideração dos impactos da urbanização de forma global, olhando para a bacia como unidade de estudo e intenção de compensar os efeitos gerados a partir do controle do excedente de escoamento (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Ainda que as técnicas compensatórias surjam em contexto de contraposição a um sistema existente, sua maior característica está em trazer de fato a integração do ordenamento urbano e do manejo de águas pluviais (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011). O conceito central de equiparação do escoamento de uma dada bacia com uma condição pré-urbanização já foi observado com análise similar na Figura 5, onde se ilustra a regularização de uma bacia com uso de reservatórios de detenção. Ainda que surja como contraposição, no desenvolvimento e prática as técnicas alternativas operam como complemento ou possibilidades em novos projetos, já que não há ilusão de qualquer forma de “desconstrução” da infraestrutura já existente (BENINI; MARTIN, 2017).

De forma análoga ao elaborado por Tucci (2009d) em termos de abordagens estruturais e não estruturais para controle de enchentes, Baptista; Nascimento e Barraud (2011) elencam técnicas compensatórias estruturais e não estruturais. Entre as técnicas não-estruturais estão: legislação, racionalização do uso da terra, educação ambiental e tratamento de fundo de vale. Para técnicas estruturais, temos bacias (de detenção, retenção, infiltração), obras lineares (trincheiras, valas e valetas, pavimentos permeáveis e reservatórios) e obras pontuais (poços de infiltração, telhados, técnicas adaptadas ao lote).

Ao se considerar o uso de técnicas alternativas em projetos de drenagem urbana, dentre os passos apresentados para projetos convencionais no Quadro 1 deve-se ter principal atenção ao passo 5, já que os demais têm pouca alteração. O dimensionamento hidráulico dos elementos de drenagem escolhidos é feito apenas após a efetiva escolha da técnica. No contexto da drenagem convencional, esta etapa é pacificada e orientada por normas e manuais, como o Manual de projeto para Drenagem Urbana (CETESB, 1986). Já para as técnicas alternativas, pode-se observar a Figura 8. As diversas técnicas aplicáveis serão exploradas no tópico seguinte.

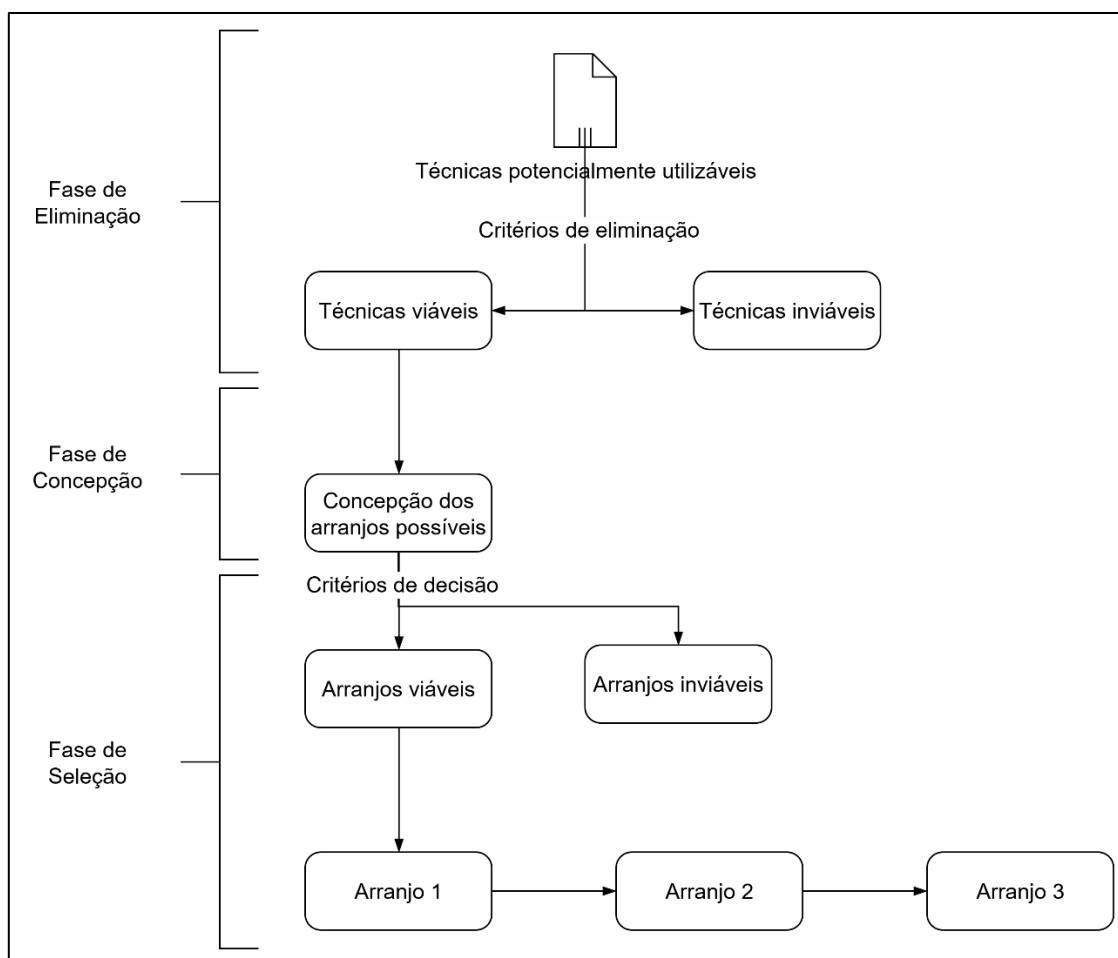


Figura 8: esquema do processo de concepção de sistemas alternativos de drenagem. Fonte: adaptado de Baptista; Nascimento; Barraud (2011)

O tópico infiltração já foi citado no item 4.1, mas acrescentam-se a seguir algumas informações pertinentes. O perfil de umedecimento do solo durante a infiltração em três fases que podem ser descritas para explicar o processo de infiltração no solo. Na fase 1 há o avanço na frente de umedecimento, entre o início da alimentação da estrutura pela água e o momento em que o lençol freático sob a estrutura começa a ser alimentado. Na fase 2 há o escoamento misto, um escoamento vertical em meio não saturado, que é a própria infiltração, e um escoamento horizontal em meio poroso saturado no lençol freático. Na fase 3, predomina o escoamento horizontal em meio saturado, a depender das características do solo, que condiciona a forma do domo piezométrico sob a estrutura e sua conexão ou não com o lençol (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

O processo de colmatção também tem especial importância em estruturas de infiltração. A colmatção é causada pela deposição de partículas

de solo nos vazios do meio poroso. As partículas maiores são retidas nos primeiros centímetros de solo enquanto as mais finas penetram mais profundamente. Esse processo, que se desenvolve progressivamente, acaba por reduzir a condutividade hidráulica do solo e conseqüentemente sua capacidade de infiltração. Tal aspecto pode ser determinante na avaliação da vida útil de uma estrutura de infiltração (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Em um aspecto de projeto que é fundamentalmente associado à infiltração, destaca-se que para as estruturas de infiltração projetadas, recomenda-se que tenham ao menos 1,0 m de distância do lençol freático, permitindo uma zona de pré-tratamento das águas pluviais e reduzindo os riscos de contaminação do lençol freático (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011; SANDRE; POMBO, 2024).

Para o dimensionamento de técnicas alternativas, do ponto de vista hidrológico, os passos 1 a 4 do Quadro 1 são adequados. No passo 5, de dimensionamento hidráulico-hidrológico dessas estruturas, outros métodos de cálculo são relevantes.

A vazão de saída das estruturas deve ser compreendida. Essa vazão pode ser de descarga por infiltração, no caso de estruturas de infiltração ou descarga superficial, no caso de estruturas de retenção, ou ainda um misto de ambos. No caso de descarga por infiltração, a vazão de saída de uma estrutura é dada pelo produto entre a capacidade de absorção por unidade de área superficial e a superfície de infiltração. Esse valor pode ser minimizado por um coeficiente de segurança que considere a colmatação. Para descargas superficiais, deve-se utilizar as equações hidráulicas pertinentes para vertedores ou orifícios, por exemplo (BAPTISTA; NASCIMENTO; BARRAUD, 2011).

Os métodos de dimensionamento das estruturas compensatórias discutidas por Baptista; Nascimento; Barraud (2011) são apresentados no Quadro 2.

Quadro 2: métodos de dimensionamento, condições de utilização, vantagens e inconvenientes.

Método	Tipo de resultado fornecido	Hipóteses / dados necessários	Vantagens / limitações
Método das chuvas	<p>Fornece:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um volume máximo de armazenamento - Uma estimativa dos tempos de descarga e de funcionamento <p>Permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamento de estruturas individuais ou associação de estruturas 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazão de saída constante - Coeficiente de contribuição constante - Transferência instantânea da chuva à obra de retenção - Necessita curvas IDF/PDF relativas a longos períodos 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de utilização (método manual) - Geralmente subestimam volumes em relação ao método dos volumes para a mesma série de medidas
Método dos volumes	<p>Fornece:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um volume máximo de armazenamento - Uma estimativa dos tempos de descarga e de funcionamento <p>Permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensionamento de estruturas individuais 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazão de saída constante - Coeficiente de contribuição constante - Transferência instantânea da chuva à obra de retenção - Necessita de dados pluviométricos de longa duração 	<ul style="list-style-type: none"> - Facilidade de utilização (método manual) - Fornece valores mais corretos que o método das chuvas para a mesma série de medidas - Difícilmente utilizável para associação de estruturas
Método Puls	<p>Fornece:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Um ou vários hidrogramas de saída das estruturas - A evolução dos volumes e lâminas de água nas estruturas - Um volume máximo de armazenamento e um tempo de descarga, se necessário <p>Permite:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planejamento - Diagnóstico e uso em estado existente - Dimensionamento de estruturas individuais e associação de estruturas 	<ul style="list-style-type: none"> - Vazões de saída variáveis - Necessita do acoplamento com modelos hidrológicos ou hidrogramas de entrada - Necessita chuvas de projeto ou chuvas históricas 	<ul style="list-style-type: none"> - Adaptado a uma grande gama de problemas - Permite a simulação da dinâmica de escoamento das estruturas e do funcionamento das bacias complexas - Dificuldades para a modelagem de estruturas controladas por dispositivos específicos (infiltração por exemplo) - Dificuldades para escolha da chuva de projeto representativa

Fonte: Baptista; Nascimento; Barraud (2011).

4.4 Soluções Baseadas na Natureza (SBN)

Dado o contexto urbano intenso e crescente, a transição entre estratégias de drenagem urbana se faz presente no debate sobre planejamento urbano, saindo das abordagens convencionais (ou “cinzas”) para abordagens alternativas (“verdes”, “sustentáveis”, “de baixo impacto”). Nesse meio, novas ou renovadas abordagens são trazidas à tona como solução. Diferentes termos

foram identificados e serão apresentados com suas especificidades ao longo deste Item. A priori, define-se Soluções Baseadas na Natureza (SBN) como termo guarda-chuva para a apresentação das diversas abordagens.

Para o Banco Mundial (2008), SBN são abordagens que utilizam sistemas naturais para promover serviços essenciais que sustentam todos os aspectos da vida humana, podendo ser utilizadas em soluções “híbridas”, conjuntamente com infraestruturas cinzas.

Segundo o IUCN (2016), SBN são ações para proteger, gerir de forma sustentável e restaurar ecossistemas naturais ou modificados, que endereçam desafios sociais de forma efetiva e adaptativa, provendo simultaneamente bem-estar humano e benefícios à biodiversidade.

Dessa forma, trata-se de uma definição ampla de bioengenharia que contempla uma variedade de abordagens relacionadas aos ecossistemas e busca dar subsídios para questões e desafios socioambientais. As SbN podem ser utilizadas sozinhas ou de maneira integrada com outras soluções de engenharia clássica, visando a um ambiente urbano mais sustentável, resiliente e saudável. Nesse contexto, têm o potencial de limitar os impactos das mudanças climáticas, aumentar a biodiversidade e melhorar a qualidade ambiental. Ao mesmo tempo contribuem para atividades econômicas e para o bem-estar.

De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Ambiente, as SBN são:

“ações para proteger, conservar, restaurar, visando o manejo sustentável de recursos naturais ou modificados dos ecossistemas terrestres, de água doce, costeiros e marinhos, que também abordam desafios sociais, econômicos e ambientais de forma eficaz e adaptável, ao mesmo tempo em que promove bem-estar humano, serviços ecossistêmicos, resiliência e benefícios para a biodiversidade.” (UNEP, 2022).

O Catálogo Brasileiro de SBN as define como “intervenções que utilizam a natureza e as funções naturais de ecossistemas saudáveis para enfrentar os desafios mais urgentes do nosso tempo” (OICS, 2023).

De maneira geral, as definições apresentam as SBN como **estratégias**, pautadas na observação de **ecossistemas naturais**, cujos efeitos positivos no ambiente atingem as dimensões **humana**, de **biodiversidade** e contribuem com muitas outras.

Já LID (*Low Impact Development*, traduzido de forma direta como Desenvolvimento de baixo impacto) é uma abordagem de gestão de águas pluviais de base ecológica, que privilegia a engenharia *soft* para gerenciar a precipitação pluvial no local por meio de redes de tratamento vegetadas. Seu objetivo é manter o regime de escoamento pré-desenvolvimento de um local. Utiliza técnicas que infiltram, filtram, armazenam e evaporam o escoamento de águas pluviais próximo à sua fonte. De forma contrária à infraestrutura convencional que canaliza o escoamento para outro local por meio de tubulações, o LID remedia o escoamento poluído por meio de uma rede de paisagens de tratamento distribuídas no ambiente (UNIVERSITY OF ARKANSAS, 2010).

O Manual LID para a Região de Auckland (2000), da Nova Zelândia, defende que abordagens para o projeto do local que podem reduzir a geração de águas pluviais desde o início do escoamento são as ações mais efetivas para o manejo de águas pluviais, podendo reduzir significativamente superfícies impermeáveis.

O Manual LID (2000) também apresenta que o LID é baseado na noção positiva de que o equilíbrio ambiental pode ser menos impactado quando novas comunidades são desenvolvidas tendo certos princípios como premissas de projeto, tais como:

- Atingimento de diversos objetivos: as abordagens podem contribuir simultaneamente com a redução de picos de cheia e controle de volume, assim como com a qualidade da água e manutenção de temperatura;
- Integrar a gestão de águas pluviais e o projeto urbano em estágios iniciais de planejamento urbano: a gestão de águas pluviais deve ser prevista desde as primeiras etapas de projeto e considerada como ponto central do seu desenvolvimento;

- Prevenção antes de mitigação: a principal estratégia é prevenir a ocorrência de eventos críticos como enchentes, alagamentos e poluição;
- Gerenciamento próximo da fonte: tanto da perspectiva ambiental quanto econômica, o afastamento das águas é prejudicial. A gestão deve ser feita localmente, o máximo possível;
- Confie nos processos naturais do solo e cobertura vegetal: a ação de infiltração e filtração do solo, ação microbiana e reações químicas promovidas no solo e pela vegetação tem grandes potenciais de melhoria de qualidade da água.

Fletcher et al (2015), apresenta que o LID foi um conceito amplamente difundido nos Estados Unidos, Canadá e Nova Zelândia e é caracterizado por soluções em pequenas escalas dedicadas à contenção e tratamento das águas pluviais, em soluções como sistemas de biorretenção, telhados verdes e valetas, localizadas próximas às áreas geradoras de escoamento superficial.

Já as *Best Management Practices* (BMP) são práticas, técnicas e medidas que previnem ou reduzem a poluição da água proveniente de fontes difusas, utilizando os meios mais eficazes e praticáveis para atingir metas de qualidade da água. As BMP incluem, entre outras, legislações, controles estruturais e não estruturais e procedimentos de operação e manutenção (MINNESOTA POLLUTION CONTROL AGENCY, 2022).

BMP (Melhores Práticas de Gestão ou Gerenciamento, em tradução direta) é um termo utilizado amplamente nos Estados Unidos e pode ser classificado como um tipo de prática ou abordagem voltada à prevenção de poluição (FLETCHER et al., 2015).

Usualmente, as BMP foram utilizadas em estruturas convencionais para identificar soluções na escala do lote voltadas à gestão de águas, como bacias de detenção. No entanto possuem uma abordagem mais voltada à engenharia em si e menos dedicada a uma visão de planejamento (UNIVERSITY OF ARKANSAS, 2010).

Segundo Fletcher (2015), o termo BMP, no contexto de drenagem urbana, tem uma base histórica na gestão do tratamento de efluentes de processos e

inicialmente era focado em soluções não-estruturais, como treinamentos de operação e manutenção e padronização de procedimentos.

Em outro termo encontrado na literatura, os SUDS (*Sustainable Drainage Systems*, sistemas de drenagem sustentáveis, em tradução direta), são projetados para maximizar as oportunidades e benefícios que podemos garantir com o gerenciamento de águas superficiais (CIRIA, 2016).

Segundo o Manual de SUDS (2016), há quatro categorias de benefícios que podem ser atingidos com a aplicação das técnicas apropriadas: qualidade da água, volume de água, qualidade do ambiente e biodiversidade. SUDS podem ter diversas configurações, tanto abaixo quanto acima do solo. Algumas abordagens incluem plantio, outras utilizam-se de produtos industrializados. De maneira geral, são projetados para gerenciar e utilizar águas pluviais próximo de onde esta precipita. Muitas soluções utilizam uma composição de componentes para atingir um objetivo geral.

O termo foi cunhado no Reino Unido, tendo sido amplamente utilizado na Escócia e Irlanda do Norte também (FLETCHER et al., 2015). Para Fletcher (2015), os princípios apresentados pelos manuais de SUDS são muito consistentes com os princípios e técnicas LID já discutidos.

O termo WSUD (*Water-sensitive Urban Design*) pode ser traduzido, de forma direta, como “Design Urbano” ou “Planejamento Urbano” Sensível à Água, em um sentido de sensibilidade com conotação de um planejamento que coloca a Água em um lugar de importância ou relevância.

Os objetivos do WSUD, listados por Whelans et al (1994), são:

- Gerenciar o balanço hídrico;
- Manter ou melhorar, onde for possível, a qualidade da água (incluindo sedimentação, proteção de vegetações ciliares e minimizar o transporte de poluentes para águas superficiais ou subterrâneas);
- Encorajar a conservação da água, minimizando a importação de água potável; e
- Manter ambientes com corpos d’água com qualidade e confortáveis à recreação e lazer.

Apesar de esta e outras referências trazerem definições bastante amplas e com sentido filosófico do planejamento urbano, as aplicações práticas do conceito de WSUD nos últimos anos tem se focado na gestão de águas pluviais (FLETCHER et al., 2015).

O Manual de SUDS (2016) também reforça o sentido amplo do WSUD, com uma perspectiva de que este tem um olhar para todo o ciclo da água, incluindo tratamento de efluentes e abastecimento de água, com uma maior integração do desenvolvimento urbano com cursos d'água e áreas alagáveis, tendo-as como parte da estratégia geral de planejamento e desenho urbano. Nos demais aspectos, os objetivos são correlatos.

O termo *Green Infrastructure* surge nos Estados Unidos nos anos 1990, com conceitos mais amplos do que os hoje relacionados às águas pluviais. Sua origem se dá na arquitetura paisagística, sendo promovida como uma rede ou conjunto de espaços verdes (FLETCHER et al., 2015).

Segundo o CNT (2010), Infraestrutura Verde é uma rede de soluções descentralizadas, como telhados verdes, árvores, jardins de chuva e pavimentos permeáveis, que podem capturar e infiltrar água de chuva onde ela cai, reduzindo o escoamento superficial. Porém, a capacidade dessas soluções entregarem múltiplos benefícios ao ambiente urbano foi crucial para sua popularização, sendo citados: impacto no consumo de energia, qualidade do ar, recreação e lazer, sequestro de carbono, preços de propriedades do entorno e adaptabilidade climática.

Escobedo et al. (2019) apresentam definições de outros autores bastante semelhantes às descritas acima e acrescentam que a literatura científica raramente buscou diferenciar ambos os conjuntos de conceitos e práticas. Segundo os autores, o termo “Infraestrutura” é usado com um sentido estrito, com referência à infraestrutura cinza convencional.

Para Fletcher (2015), *Green Infrastructure* é o termo mais amplo, que poderia abrigar os demais termos e abordagens, cada um com sua especificidade.

Já o termo *Green-blue Infrastructure*, ou Infraestrutura Verde-azul, amplifica o olhar para a gestão da água, reforçando a produção de Infraestruturas Verdes com enfoque em manejo de águas pluviais.

A Infraestrutura Verde-azul é uma abordagem ambientalmente amigável para o manejo do risco urbano de inundações e surgiu mais fortemente em meados de 2008, advindo de uma crescente necessidade de abordagens mais integradas para o manejo das infraestruturas verdes e azuis. Pode ser descrita como uma rede de paisagens naturais e projetadas, incluindo corpos d'água, espaços verdes e espaços abertos, com técnicas como telhados verdes, bacias de retenção e detenção, córregos renaturalizados, valetas e biovaletas e jardins de chuva (LAMOND; EVERETT, 2019).

A prefeitura de São Paulo (2022), em seu Manual de Desenho Urbano e Obras Viárias aborda diferentes temas dentro das duas nomenclaturas tratadas neste tópico. Para tal, Infraestrutura Verde abarca o tema da Arborização, enquanto Infraestrutura Verde e Azul abarca: Parques Lineares, Jardins de Chuva, Poços de Infiltração, Trincheiras de Infiltração e Detenção, Valas e Valetas de Detenção e Infiltração.

Com surgimento mais recente, o termo *Sponge Cities* pode ser encontrado a partir de 2012, com produção científica focada na China (JIAYU; MANHUA; YANG, 2019). Para Jiayu, Manhua e Yang (2019), a proposta das cidades esponja é que uma cidade tenha flexibilidade em se adaptar às mudanças do ambiente e lidar com desastres naturais “como uma esponja” – quando chover, ela absorve água e purifica, liberando-a quando é necessário. Ainda segundo os autores, sua ênfase está em ter a cidade como um todo como objeto de estudo.

Para Chan et al. (2018), o conceito de Cidades Esponja é similar ao LID, SUDS, BGC (*Blue-Green Cities*), WSUD e LIDUD (*Low Impact Developments Urban Design*), buscando:

- Adotar e desenvolver conceitos LID que melhoram o controle de picos de cheia e escoamento superficial e armazenam, reciclam e purificam águas pluviais;

- Melhorar os sistemas tradicionais de drenagem utilizando infraestruturas mais resilientes às enchentes e aumentar os sistemas de segurança da drenagem utilizando soluções LID;
- Integrar corpos d'água naturais e impulsionar espaços multifuncionais contidos no planejamento da drenagem urbana, promovendo corpos d'água artificiais e espaços verdes que melhorem a qualidade do ambiente.

Por fim, as técnicas compensatórias, segundo Fletcher (2015), tem origem em meados da década de 1980, na França. Seu paradigma se afasta da abordagem tradicional de disposição rápida das águas pluviais, se voltando às soluções mais naturais ou naturalizadas. As Técnicas Compensatórias foram apresentadas como formas de lidar não só com a drenagem e poluição, mas também melhorar a qualidade de vida nos ambientes. Também chamadas de Técnicas Alternativas, buscavam: otimizar o uso da terra; e reduzir a necessidade de investimentos.

O termo foi muito usado na França e no Brasil. A denominação “compensatória” adjetiva as técnicas por considerar-se que estas compensam o impacto da urbanização. Essa busca por uma compensação pode ser descrita pela redução do volume de escoamento superficial, redução dos picos de cheia e redução da vulnerabilidade de áreas urbanas (FLETCHER et al., 2015).

Diversos artigos citados neste Item apresentam visões conjuntas sobre os termos utilizados nas áreas de drenagem urbana ou manejo de águas pluviais e/ou apresentam análises comparativas, destacadas a seguir.

Fletcher (2015) produz, ao final da análise dos diversos termos da literatura, um diagrama que busca consolidar o escopo de cada um deles no momento de escrita do artigo. A Figura 9 reproduz o diagrama, de forma traduzida e adaptada.

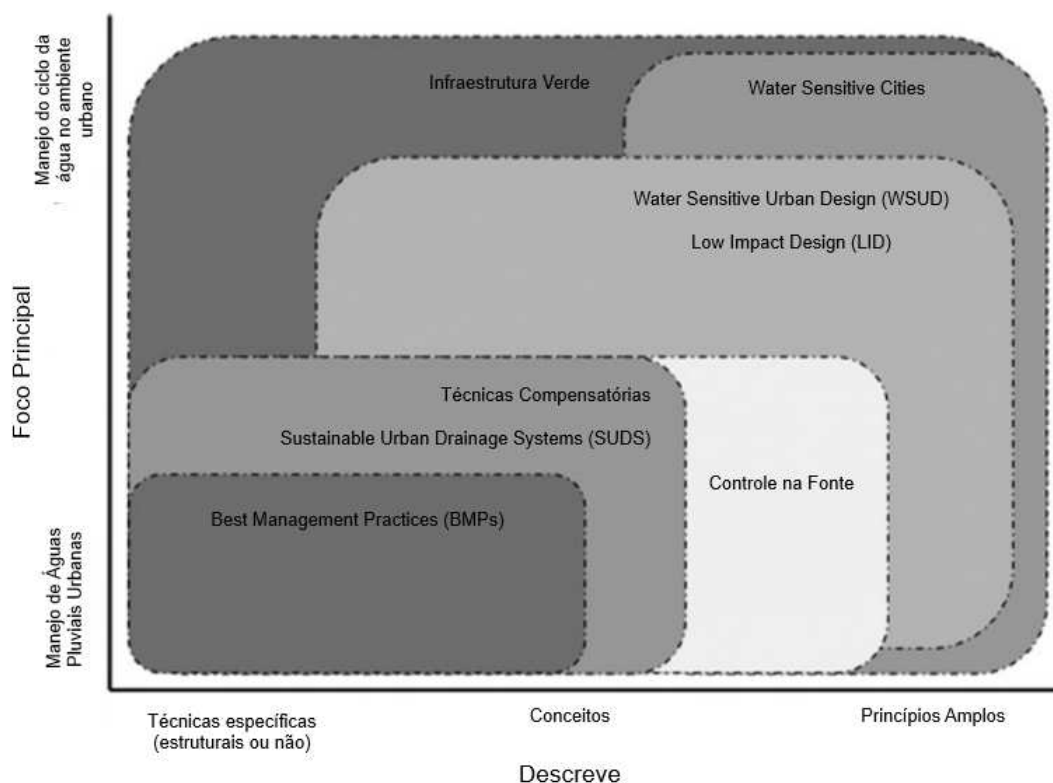


Figura 9: Classificação de termos relativos à Drenagem Urbana. Fonte: Fletcher (2015). Adaptado pelo Autor.

Jiayu, Manhua e Yang (2019) apresentam uma tabela comparativa de quatro termos avaliados na pesquisa. A tabela apresentada na Figura 10 foi traduzida e algumas colunas foram omitidas. Pode-se observar que o termo Cidades Esponja é o mais recente, tendo surgido com base nas demais teorias e conceitos. Destaca-se também que apesar das proximidades conceituais, cada modelo surge com base em uma necessidade local específica e se desenvolve neste contexto.

Termo	Abreviação	Principal país	Origem	Ênfase	Tempo de existência (atualizado pelo Autor)
Water Sensitive Urban Design	WSUD	Australia	1960 - 1980	Planejamento urbano e métodos de design	Cerca de 60 anos
Low Impact Development	LID	Estados Unidos	Final de 1990	Controle na fonte	Cerca de 35 anos
ABC Water Plan	Plano ABC	Singapura	2006	Integração entre canais de captação e planejamento urbano	19 anos
China's Sponge city	Cidades Esponja	China	2012	Funcionamento da cidade como um todo	13 anos

Figura 10: Termos inspiradores das Cidades Esponja. Fonte: (JIAYU; MANHUA; YANG, 2019). Adaptada pelo Autor

4.5 Técnicas Construtivas de SBN

Dentro de todos os termos discutidos no Item 4.4, diversas soluções de Arquitetura, Engenharia, Paisagismo, técnicas ou tipologias construtivas foram abordadas e/ou estão presentes. Para o prosseguimento da pesquisa, todas as Técnicas Construtivas serão abordadas a partir do termo “Soluções Baseadas na Natureza” ou apenas “SBN”, sem distinções pela origem ou predominância de correlação com alguma outra nomenclatura.

Para apresentação das técnicas, a Figura 11 apresenta de maneira ilustrativa e simplificada 21 soluções, classificadas entre mais mecânicas ou mais biológicas, maior ou menor capacidade volumétrica e característica funcional.



Figura 11: Técnicas Construtivas de SBN. Fonte: (UNIVERSITY OF ARKANSAS, 2010). Adaptada pelo Autor.

Os nomes de cada técnica não foram traduzidos na imagem pois serão apresentados a seguir.

- *Oversized pipes*: tubulações maiores do que o necessário para atender as vazões de projeto, tem como objetivo reduzir picos de vazão;

- *Flow control devices*: dispositivos de controle de fluxo, tem como objetivo reduzir picos de vazão desacelerando o escoamento;
- *Dry swale*: vaga vegetada, um canal linear com grama ou vegetações rasteiras que filtra e reduz a velocidade da água;
- *Underground detention*: armazenamento local e enterrado de águas de chuva. Amortece onda de cheia;
- *Detention Pond*: bacias de detenção, armazenam temporariamente água de chuva, liberando-a com uma vazão controlada para amortecer onda de cheia;
- *Wet vault*: similar ao item 4, porém com determinado volume de água permanente;
- *Rainwater harvesting*: armazenamento de água de chuva, reduz escoamento e gera aproveitamento na fonte;
- *Retention pond*: bacia de retenção, mantém certa quantidade de água permanentemente e pode receber um grande volume em eventos de chuva, amortecendo onda de cheia;
- *Filter strip*: filtros lineares, usualmente locados de forma paralela e continua junto a áreas impermeáveis, como rodovias, desacelerando e filtrando o escoamento;
- *Underground sand filter*: filtro de areia enterrado, recebe e armazena temporariamente o primeiro escoamento superficial (*first flush*);
- *Surface sand filter*: filtro de areia em superfície, recebe e filtra o primeiro escoamento superficial (*first flush*);
- *Vegetated wall*: paredes verdes ou paredes vegetadas, contribuem com a biodiversidade e qualidade do ar, podendo receber água de chuva;
- *Vegetated roof*: telhado verde, coberturas que recebem plantio, podem armazenar água permanentemente ou temporariamente, reduzindo ondas de cheia. Contribui para o conforto térmico da edificação;
- *Pervious paving*: pavimento permeável, garantem a pavimentação sem impermeabilizar totalmente o solo;
- *Infiltration Trench*: trincheiras de infiltração, estruturas lineares preenchidas com agregado de diversos tamanhos, criando volumes de

vazios que são preenchidos por água e infiltram lentamente, reduzindo escoamento superficial, ondas de cheia e aumentando a infiltração no solo;

- *Tree box filter*: similar ao jardim de chuva, consiste em uma caixa preenchida com agregado de diversos tamanhos e recebe plantio de árvores, acumula e infiltra água;
- *Rain garden*: jardim de chuva, constituído de depressão no solo que pode receber água temporariamente, reduzindo escoamento superficial e promovendo a infiltração;
- *Riparian buffer*: mata ciliar, sua preservação ou reconstituição reduzem a velocidade do escoamento e retém poluição e sólidos para que não cheguem a corpos d'água;
- *Bioswale*: similar ao item 15, técnica linear com volume para acumular e infiltrar água de chuva;
- *Infiltration basin*: bacia de infiltração, áreas de alagamento temporário, com solo com alta permeabilidade, amortecem cheia e aumentam a infiltração;
- *Constructed wetland*: alagados construídos, áreas alagadas permanentemente, com vegetação abundante, recebem água de chuva amortecendo ondas de cheia, promovem o tratamento biológico da água e promovem a infiltração.

Além das 21 técnicas apresentadas, conforme referência do Manual LID, destaca-se as SBN apresentadas pelo Catálogo Brasileiro de Soluções Baseadas na Natureza. O Catálogo apresenta Telhado Verde, Jardim de Chuva e Alagado Construído, de forma coincidente à lista acima. Acrescentam-se as seguintes técnicas, conforme Catálogo (OICS, 2023):

- Praças úmidas: “As praças se caracterizam fundamentalmente como intervenções urbanísticas de interesse ecológico e paisagístico, nas quais coexistem distintas funções, especialmente: recreação, contemplação, cultura, paisagismo, gestão das águas pluviais, proteção da biodiversidade, entre outras”;
- Parque Linear Multifuncional: “são obras estruturadoras de programas ambientais e de gestão de áreas degradadas, sendo parte de sistemas

integrados conectados por ruas arborizadas, servindo, muitas vezes como espinha dorsal da infraestrutura verde urbana.”, “agregam vários elementos da infraestrutura natural (verde e azul) combinados a elementos da infraestrutura cinza em um mesmo espaço”;

- Nascentes e Mananciais com PSA Hídrico: promoção da restauração e preservação de mananciais de abastecimento de água urbano, incentivados pelo PSA (Pagamento por Serviços Ambientais).

Este item apresentou as diversas possibilidades de técnicas construtivas para aplicação de SBN, em diversas escalas, capacidades de amortecimento de onda de cheia, redução do escoamento superficial, integração paisagística, melhoria da qualidade da água, melhoria do bem-estar urbano dentre outros benefícios diretos e indiretos.

4.6 Projetos de Drenagem Urbana com SBN

A concepção de qualquer técnica construtiva de SBN passa por fatores específicos de dimensionamento. Com foco em SBN cujos impactos majoritários são relacionados à drenagem urbana, teremos um elenco de parâmetros de projeto que devem ser conhecidos, estimados ou medidos para que um projeto que adote SBN seja desenvolvido.

4.6.1 Diagnóstico e caracterização da Bacia

Segundo o Catálogo de Soluções Baseadas na Natureza para Espaços Livres (2024), o primeiro passo para a seleção de SBN trata-se do diagnóstico socioambiental e caracterização urbanística e morfológica da bacia hidrográfica e do curso d'água.

Projetos de drenagem utilizam como base para sua concepção uma chuva de projeto. É uma precipitação de referência para o dimensionamento das estruturas. Baseado em dados históricos, tem-se a equação de IDF (intensidade-duração-frequência), determinada para cada região. Usualmente, projetos adotam TR de 2 a 5 anos para sistemas de microdrenagem e de 10 a 100 anos para macrodrenagem, sendo o TR 25 um critério bastante usual (SANDRE; POMBO, 2024).

A duração da chuva de projeto está diretamente relacionada ao Tempo de Concentração de uma bacia – definida como o tempo que demora para que toda a bacia contribua com escoamento para um dado ponto, chamado exutório, contando a partir do início de uma chuva (SANDRE; POMBO, 2024). A partir do TR e da duração da chuva, pode-se obter na IDF um total precipitado, que é utilizado para modelar hidrológicamente uma bacia a partir da transformação chuva-vazão, feita através de modelos simplificados ou *softwares* específicos.

A Figura 12 ilustra o conceito de onda de cheia, relativa à vazão de pico, que deve ser amortecida para atingir uma condição equivalente à pré-urbanização. Ou seja, as soluções de drenagem devem ser dimensionadas para atender ao Volume de Déficit.

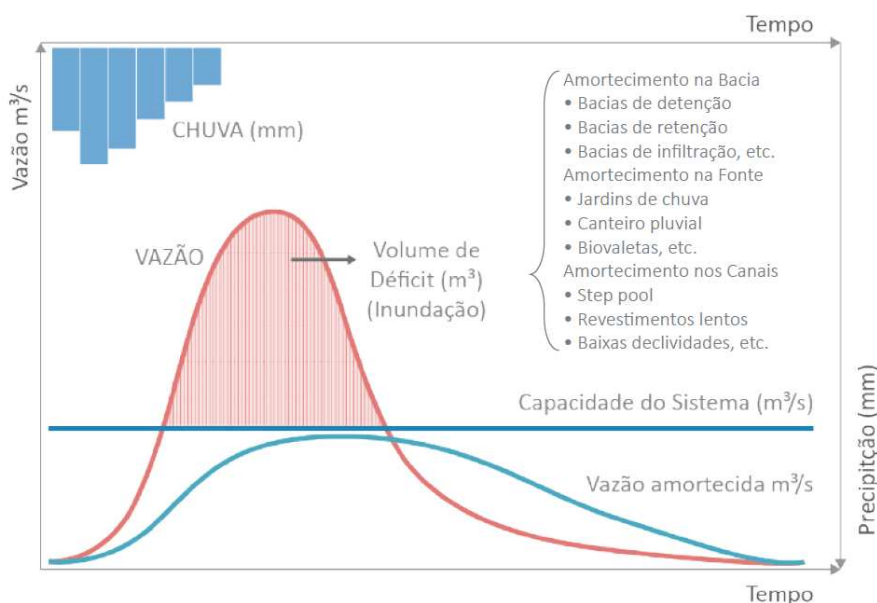


Figura 12: Gráfico ilustrativo do conceito de vazão de restrição e do método de determinação do volume de amortecimento necessário para o controle de inundações em uma bacia. Fonte: Sandre e Pombo (2024).

Após a etapa descrita de caracterização Hidráulico-Hidrológica, prossegue-se com uma análise urbanística da Bacia. Sandre e Pombo (2024) apresentam os fatores mais relevantes:

- Evolução histórica da área e dinâmicas de urbanização: identificar áreas favoráveis para aplicação de SBN, entendendo o histórico regional, dinâmicas sociais e ambientais e os reflexos disso no espaço. Analisar o histórico de ocupação do território a partir dos elementos existentes;

- Meio social e econômico: análise sobre divisão administrativa, áreas urbanizadas, uso e ocupação do solo, perfil da população, demografia, serviços urbanos existentes, grupos de interesse e ação locais;
- Legislação em projetos urbanos: análise de normas jurídicas, instrumentos legais, Plano Diretor e outras legislações referentes ao uso e ocupação do solo e zoneamento;
- Meio biofísico: identificação de áreas verdes existentes, levantamento da biodiversidade local, conflitos ambientais, áreas de risco para potenciais intervenções, análise do tipo de solo, sua capacidade de infiltração e vulnerabilidade à erosão;
- Infraestrutura, equipamentos e serviços urbanos: levantamento do viário que pode interferir nas aplicações, caracterização do uso do solo, análise da distribuição da população, edificações relevantes e interferências subterrâneas.

Por fim, observam-se os aspectos pedológicos, com destaque para: (i) permeabilidade do solo e condutividade hidráulica; (ii) declividade; (iii) carga de sedimentos; (iv) tipo de solo; (v) características do terreno / cadastro de interferências; (vi) nível do lençol freático (SANDRE; POMBO, 2024).

Com as caracterizações feitas, é possível avançar para a etapa seguinte, onde é feito a compatibilização entre a vocação das áreas disponíveis e os benefícios de cada técnica de SBN.

4.6.2 Definição das Soluções Baseadas na Natureza

A definição das técnicas construtivas possíveis de serem aplicadas é feita com a análise conjunta das necessidades do local e aptidão das SBN. Sandre e Pombo (2024) apresentam uma tabela avaliativa, cruzando as características descritas no Item 4.6.1 com cada técnica. As técnicas debatidas no Catálogo são similares às apresentadas no Item 4.5.

Para a implementação de SBN, é essencial a escolha de vegetações corretas para cada aplicação. Estas precisam ter capacidade para biorretenção das águas, absorção de nutrientes, fitorremediação e estabilização e sustentação do solo a longo prazo (SANDRE; POMBO, 2024).

Os critérios gerais para escolha das vegetações são: clima, solo, presença de poluentes, manutenção e manejo, porte da vegetação, visibilidade, quantidade de plantas e sustentabilidade econômica (SANDRE; POMBO, 2024).

4.7 *Building Information Modelling* (BIM)

Nesta seção, será discutido o conceito de *Building Information Modelling*, traduzido de forma direta como “Modelagem da Informação da Construção” e tratado daqui em diante apenas pelo acrônimo “BIM” ou “Metodologia BIM”.

A Metodologia BIM é um conceito em rápido e constante desenvolvimento, mas que apesar de ainda inovador, não é novo. Eastman et al. (2014) identifica em seu “Manual de BIM” a primeira aparição documentada do que pode ser considerado uma menção ao BIM enquanto conceitos gerais, datada de 1975:

(...) definir elementos de forma interativa (...) derivando seções, planos isométricos ou perspectivas de uma mesma descrição de elementos (...) qualquer mudança no arranjo teria que ser feitas apenas uma vez para todos os desenhos futuros. Todos os desenhos derivados da mesma disposição de elementos seriam automaticamente consistentes (...) qualquer tipo de análise quantitativa poderia ser ligada diretamente à descrição (...) estimativas de custos ou quantidades de material poderiam ser facilmente geradas (...) fornecendo um único banco de dados integrado para análises visuais e quantitativas (...) verificação de código de edificações automatizado na prefeitura ou escritório do arquiteto. Empreiteiros de grandes projetos podem achar esta representação vantajosa para a programação e para os pedidos de materiais. (EASTMAN, 1975)

Nos recortes do artigo original dispostos acima, pode-se identificar diversos usos do BIM que hoje são presentes nos *softwares* de mercado e nas publicações científicas a este respeito.

Já em 1986, Robert Aish publica artigo identificando três abstrações fundamentais do “*Building Modelling*”, termo ainda precursor do BIM. Dados de projeto estruturados; uso de uma abordagem de projeto capaz de definir um modelo 3D da construção; e a combinação de geometrias reais e representações simbólicas da construção em um mesmo ambiente (AISH, 1986).

Aish (1986) ainda discute que, após o estabelecimento de uma estrutura de dados em sistemas CAD (*Computer-aided Design*) convencionais, seria possível caminhar em direção a uma combinação dessa abstração de dados com representações 3D de construções.

Van Nederveen e Tolman (1992) discutem diversos aspectos relativos às estratégias de modelagem de edificações, tendo como foco a produção de “vistas” ou de desenhos de projeto que atendam às diferentes partes interessadas de forma eficiente, tanto do ponto de vista da produção da informação quanto do uso desta. Assim, tratam da modelagem da informação de construções, ainda que sem a formalização de um termo.

Penttila (2006) apresentou o conceito de BIM ainda ao lado de outros termos que o originaram: “*Building product modelling*” e “*product data modelling*”. Sua definição é de BIM como uma “metodologia para gerenciar os dados essenciais de projeto e construção em formato digital durante todo o ciclo de vida do edifício”.

Laiserin (2007) definiu BIM como um processo de representação, que cria e mantém visualizações multidimensionais e ricas em dados através do ciclo de vida do projeto, com objetivo de dar suporte à comunicação, colaboração, simulação, documentação e otimizações que melhorem o design.

Após certa consolidação do termo “BIM” como referência para esta área do conhecimento, Succar (2009) complementa a definição de Penttila (2006), definindo que a metodologia descrita pelo autor é pautada em um conjunto de Políticas, Processos e Tecnologias (SUCCAR, 2009a). Na mesma publicação, apresenta-se um *framework* para o BIM, que funda diversos conceitos e nomenclaturas que posteriormente seriam amplamente utilizados na indústria.

Já Hjelseth (2010) apresenta que o BIM costuma ser definido como um modelo 3D que contém informação, mas defende uma visão inversa, de que se trata de um modelo de informação com uma opção de visualização tridimensional. Com isso, se expandem as possibilidades para a metodologia, já que os mais diversos tipos de informações, se adequadamente modelados, podem ser trabalhados dentro de uma modelo de construção.

A definição de Hjelseth (2010) segue ao encontro do que foi elaborado posteriormente por Succar (2016). Os modelos BIM passaram a receber progressivamente mais “dimensões”, sejam elas de custo, tempo de projeto, relativas à sustentabilidade, entre outras. Isso gerou um acúmulo de “dimensões”, nomeadas como “4D”, “5D” ou “6D”. Porém, em se tratando de informação modelada, qualquer tipo de informação poderia passar a ser tida como uma dimensão. Assim, adota-se a abordagem de “Usos do Modelo”, em que inúmeras abordagens são possíveis, em termos de usos gerais da indústria, usos específicos e customizações (SUCCAR; SALEEB; SHER, 2016).

A partir da definição de Usos do Modelo, pode-se entender as diversas aplicações possíveis dos Modelos de Informação, como diferentes usos. Nos subtópicos a seguir, explora-se duas destas aplicações.

4.7.1 *City Information Modelling (CIM)*

Em uma busca na base de dados Scopus com a chave ["City Information Model*" AND CIM] foram encontrados 139 resultados, sendo o mais antigo de 2009. 86% dos resultados foram publicações entre 2020 e 2025, indicado a característica emergente do tema.

Para Xu et al. (2014), “CIM deveria ser um sistema de gestão integrada altamente eficiente”, a presença de dados urbanos atualizados e de qualidade deveriam contribuir para a existência de uma “cidade digital com gestão horizontal e vertical, contribuindo para a melhora da eficiente da gestão urbana”.

Um Modelo de Informação da Cidade pode trazer inúmeros benefícios para a gestão pública. O CIM pode suportar uma melhor tomada de decisão, com modelos baseados em dados capazes de indicar preferências de pesquisa para situar novos empreendimentos (THOMPSON et al., 2016).

Stojanovski (2018) discute questões conceituais a respeito do CIM em uma visão de integração BIM-GIS, duas áreas do conhecimento que tem formatações diferentes, dadas suas origens e funcionalidades. Destaca-se a incompatibilidade entre IFC, focado em elementos da construção, e CityGML, direcionado a informações geográficas, mas que suporta parcialmente algumas necessidades de projeto de edificações.

Huang et al. (2022) apresentam um sistema de gerenciamento do ambiente urbano desenvolvido através da integração de GIS, BIM, IoT (*Internet of Things*), SRS (*Satellite Remote Sensing*), GNSS (*Global Navigation Satellite system*). As diversas tecnologias foram utilizadas para gerar uma plataforma CIM capaz de suportar todas as informações necessárias e torná-las gerenciáveis. O *framework* criado maximizou a troca de informações e melhorou serviços essenciais à população.

Para Souza e Bueno (2022) o conceito de CIM segue em discussão e transformação, mas pode ser entendido como uma “ferramenta computacional equivalente ao BIM, mas para cidades, que incluiria a integração de BIM, GIS e uma base de dados urbanos completa e atualizada”.

4.7.2 *Landscape Information Modelling* (LIM)

Dentro dos Usos BIM, o *Landscape Information Modelling* ou Modelagem da Informação da Paisagem tem um papel importante no contexto desta Pesquisa, já que relaciona o BIM a questões ambientais mais amplas. Vale destacar que neste contexto, “*landscape*” remete à “Arquitetura Paisagística”, “Paisagismo” e “Vegetação”. Apesar do grande potencial, BIM para Arquitetura Paisagística enfrenta grandes dificuldades para implementação e avança mais lentamente que o restante da indústria (LU; WANG, 2013).

Nesta etapa da Revisão, buscou-se identificar as pesquisas que utilizaram especificamente esta nomenclatura para tratar sobre o uso do BIM. Com as bases de dados Scopus e Periódicos CAPES, utilizou-se a chave de pesquisa [“*Landscape Information Model**”]. Foram encontrados 32 resultados. O período de publicação não foi restringido devido ao baixo número de resultados, sendo o mais antigo do ano de 2013. Publicações de Congressos foram incluídas na revisão por se tratar de uma temática emergente.

Após a remoção das duplicatas, chegou-se a 19 artigos, com a leitura, 2 foram removidos por tangenciarem o assunto, resultando em 17 documentos.

Dentre os artigos estudados, seis deles abordaram LIM dentro do Design e Planejamento Urbano. Abdirad e Lin (2015) identificaram deficiências nos padrões BIM (IFC e OmniClass) no que diz respeito ao suporte à arquitetura

paisagística, algo que apenas recentemente teve maior desenvolvimento, mas ainda é insuficiente. Isso impacta diretamente na integração da disciplina com projetos desenvolvidos em BIM. A ausência de padrões gera uma demanda excessiva por trabalhos manuais de padronização interna, prejudicando a eficiência e sobretudo a interoperabilidade e troca de informação.

Em outra perspectiva, Huang et al. (2022) apresentam uma plataforma que apesar de não abordar o LIM diretamente, trata do gerenciamento de áreas verdes e recursos paisagísticos, com foco na gestão da informação, levantamento de áreas, gestão de espécies arbóreas, entre outros. Assim, se trata de um “uso LIM” para gestão e manutenção.

Sandre e Pellegrino (2021) abordam o LIM associado a uma ferramenta de design paramétrico e generativo. Com o suporte de tecnologias, busca-se viabilizar o LIM como ferramenta exploratório nos projetos de paisagem, permitindo criação de tipologias de paisagem em função de dados de entrada, simulações e avaliações de alternativa de projeto de forma mais eficiente. No trabalho, é feita a proposição conceitual de um novo *software* capaz de lidar adequadamente com as demandas existentes deste contexto.

Ainda no grupo de estudos que abordaram o LIM para Design e Planejamento Urbano, Zamora e Swarts (2014) estudam a aplicação da modelagem da paisagem para a gestão de um campus universitário, criando o termo CLIM (*Campus Landscape Information Modeling*). Em mais uma adaptação do termo para descrição de um uso específico, os autores reforçam as lacunas existentes na taxonomia do conhecimento para suportar abordagens como essa.

No segundo grupo de estudos, três artigos abordaram especificamente a temática de enchentes e inundações. Unindo ferramentas de design paramétrico (*Rhinocerus* e *Grasshopper*) com um método hidrológico (Método CN), Ali et al. (2016) apresentaram uma importante contribuição, viabilizando uma ferramenta de cálculo integrada ao design de alternativas de projeto utilizando LIM.

Huang e Li (2023) trazem outra importante contribuição para o contexto desta pesquisa. Os autores abordam o conceito LIM através de ferramentas

digitais para avaliar a aplicabilidade de *Ecological engineered landscaping* (EEL, traduzido diretamente como “Paisagismo Sustentável”). Com essa combinação, foi possível validar alternativas de projeto de *wetlands* entre diferentes estudantes, com diferentes especialidades, avaliando através de premissas parametrizadas a qualidade do projeto e seu impacto no ambiente construído.

De forma semelhante, com uso de LIM para avaliação conjunta entre topografia, densidade urbana e constituição de áreas verdes, Campos-Delgado et al. (2023) utilizaram ferramentas computacionais (*Rhinocerus*) com método hidrológico (Método Racional) para simular alternativas de projeto. Uma importante conclusão do estudo a partir das simulações realizadas, é que uma alta densidade urbana aliada a um bom projeto de Paisagem em termos de áreas verdes, pode ser mais eficiente na redução do volume de escoamento superficial.

No terceiro grupo de artigos, três estudos avaliaram diretamente Infraestruturas Urbanas, sendo dois direcionados a parques lineares e um direcionado a condomínio horizontal.

Nas pesquisas direcionadas a parques lineares, identificou-se como dificuldade para implementação a fraca integração entre ferramentas BIM e GIS. A criação de modelos LIM se mostrou viável, mas exige muitas operações manuais para modelagem e adaptações de padrões que não contemplam elementos de Arquitetura Paisagística. Apesar disso, os modelos permitem a execução de múltiplas análises, como a seleção parametrizada para a entrada de um parque (WU et al., 2023) ou otimização da operação e manutenção de áreas públicas (BORKOWSKI; ŁUCZKIEWICZ, 2023).

A baixa interoperabilidade entre BIM e GIS para desenvolvimento do LIM destacada em diversos artigos já citados, pode ser contornada de forma manual, como estudado por Borkowski et al. (2023). O estudo não propõe uma solução conceitual para a integração entre BIM e GIS, mas demonstra uma alternativa prática, apesar de não automatizada, para desenvolvimento de análises conjuntas em projetos da Paisagem.

No quarto conjunto temático, foram analisados dois artigos com foco em manutenção. Em um estudo de 2019, identificou-se que o padrão OmniClass foi capaz de suportar as especificações de vegetação; porém, o padrão COBie não

apresenta classes relativas à diversas características e atividades de manutenção que são próprias das vegetações e de atividades paisagísticas (CHEN; KUO; CHEN, 2019).

Conforme os casos de uso do modelo se expandem, os termos utilizados surgem continuamente. Para descrever uma aplicação de BIM voltada à herança histórica, Yang et al. (2019) utilizaram o termo HLIM (*Heritage Landscape Information Model*, traduzido de forma direta como Modelo de Informação de Paisagem Patrimonial).

No quinto grupo temático, dois artigos descrevem usos LIM voltados ao uso do solo. Knezevic et al. (2022) descrevem uma abordagem que integra de maneira profunda GIS, análise de dados e modelagem por objetos, criando a capacidade de identificar alterações de uso do solo em grandes áreas, envolvendo agricultura, rotas de transporte, cadastro de propriedades e presença de vegetação/desmatamento. Tal abordagem amplia a escala dos trabalhos citados anteriormente, levando o LIM mais próximo ao CIM e lógicas de planejamento regional.

De forma próxima à identificação de uso do solo citada acima, Lin et al. (2022) elaboraram um fluxo de trabalho capaz de identificar vegetações e cobertura vegetal em edificações e em ambientes urbanos. O processo proposto é pautado apenas em IFC, de forma a ser interpretável pelo *software* proprietário de preferência. Aqui, a ausência de informação a respeito do Paisagismo também foi impulsionadora, mas com foco na geração de objetos BIM de forma automatizada a partir de identificações características em vistas 2D.

Por fim, foi identificada uma aplicação de LIM voltada ao mapeamento da paisagem no entorno de uma ferrovia. Utilizando tecnologias de nuvem de pontos, é possível recriar o contexto das margens de uma ferrovia, permitindo a identificação de necessidades de manutenção, fornecendo subsídios para a preservação ambiental, melhoria da segurança e prevenção à desastres (KIM et al., 2023).

Uma definição semântica de LIM apresentada por Sandre (2022) é do LIM como “um método baseado no conceito de modelagem algorítmica

computacional, projetos generativos e algoritmos genéticos de suporte à proposição de projetos de arquitetura da paisagem”.

4.8 openBIM

Esse tópico da revisão bibliográfica busca trazer a compreensão de termos e conceitos relativos ao openBIM e seus fluxos de trabalho, em complemento aos temas de *Building Information Modelling* já trabalhados nos tópicos anteriores. Um dos focos do openBIM está na busca da interoperabilidade. Muito além da simples troca de informações entre *softwares*, a interoperabilidade é ferramenta essencial para que fluxos de trabalho BIM sejam aplicáveis sem que dependam especificamente de uma solução de *software*, possibilitando diversas soluções integradas.

O primeiro registro localizado e que foi relacionado à padrões de interoperabilidade remete ao padrão IGES (*Initial Graphics Exchange Specifications* ou Especificação Inicial de Troca de Gráficos, em tradução livre). O IGES é um formato de arquivo neutro, criado em 1979 para funcionar como linguagem de troca de informação entre diversos softwares CAD (*Computer-Aided Design*) que existiam à época (KEMMERER, [s.d.]). Segundo o autor, o IGES foi uma iniciativa do projeto *Integrates Computer Aided Manufacturing* (ICAM) da Força Aérea dos Estados Unidos. A primeira edição do IGES serviu como um marco, introduzindo uma mudança na forma como fabricantes pensavam sobre capturar, criar e compartilhar informações de produtos e projetos.

Conforme descrito por Kemmerer, o IGES foi o precursor que propiciou condições para a novos formatos de padronização, como o STEP (*Standard for the Exchange of Product model data*) (KEMMERER, [s.d.]). O formato STEP é utilizado até hoje para a descrição dos padrões abertos de BIM, como será visto adiante.

A Figura 13 representa a proposta de estruturação hierárquica entre entidades, atributos e parâmetros. Tais elementos são essenciais na composição de toda a organização da informação relacionada à interoperabilidade, buscando formas eficientes de representar e armazenar as informações.

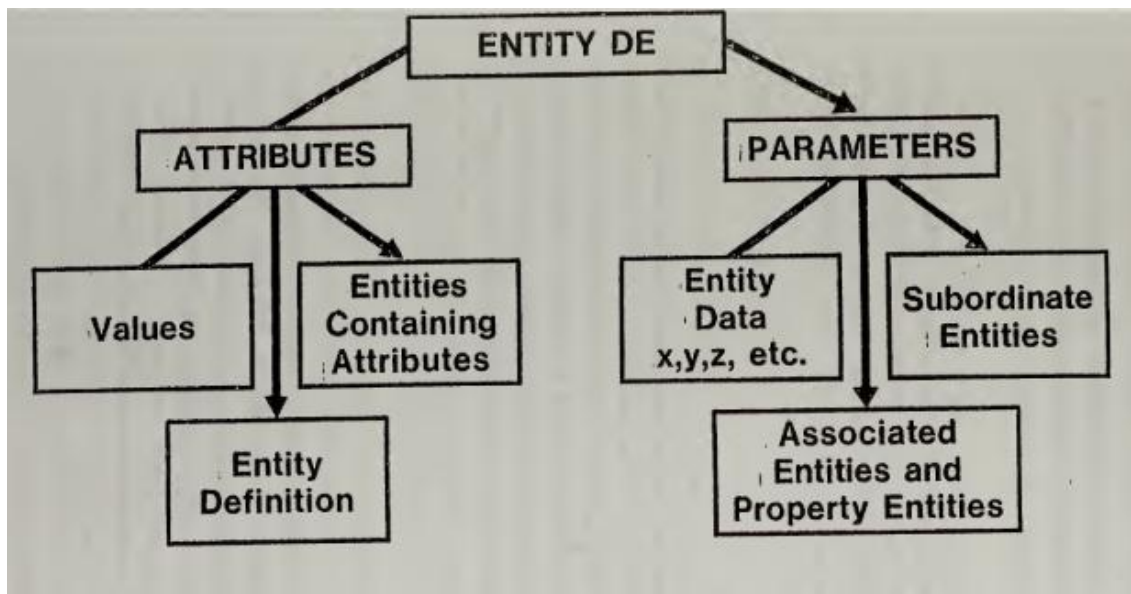


Figura 13: recorte da publicação da versão 1.0 do IGES, representando a estrutura hierárquica das entidades descritas pelo padrão (NAGEL; BRAITHWAITE; KENNICOTT, 1980).

A Figura 14 apresenta um histórico dos Padrões de Dados de Produtos elaborados pela indústria desde 1970, com a presença da primeira versão do IGES em 1979, como citado anteriormente, e o surgimento do padrão STEP como formato para atendimento do PDES (*Product Data Exchange Specification*) em meados dos anos 1980.

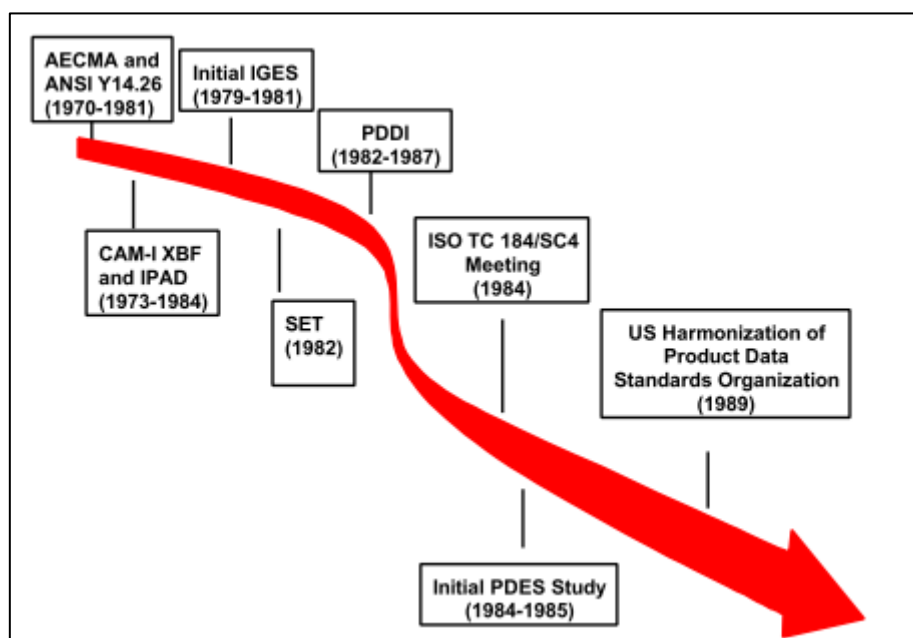


Figura 14: Histórico dos Padrões de Dados de Produto (KEMMERER, 1999).

No documento “*STEP: The Grand Experience*”, Kemmerer (1999) descreve a estruturação do formato STEP como um aprimoramento do padrão IGES. A maior diferença descrita é que o STEP foca não apenas no “o que” são

os dados, mas também no que ele significa e em como cada dado se relaciona com os demais. O padrão STEP é normatizado pela família de normas internacionais ISO 10303, cuja primeira publicação data de 1994.

Dentro da família de normas ISO 10303, conhecidas como STEP, é importante acrescentar a concepção da linguagem EXPRESS, descrita na parte 11 da norma (ISO 10303-11). EXPRESS é a linguagem utilizada dentro do padrão STEP para definir formalmente a semântica dos dados. Ou seja, STEP é o padrão de troca de dados, EXPRESS é a linguagem de modelagem do esquema de dados (KEMMERER, 1999). Relacionamentos, atributos, restrições e herança são conceitos centrais do EXPRESS (LAAKSO, 2012).

Ainda na publicação de Kemmerer (1999), destaca-se na Figura 15, a Figura 2-2 do documento, onde se retrata o conceito de interoperabilidade e formato neutro de forma bastante similar às imagens que buscam representar o IFC atualmente. Nela, reforça-se a função fundamental da interoperabilidade de garantir que as trocas de informação possam ocorrer entre diferentes partes envolvidas no projeto de forma eficiente.

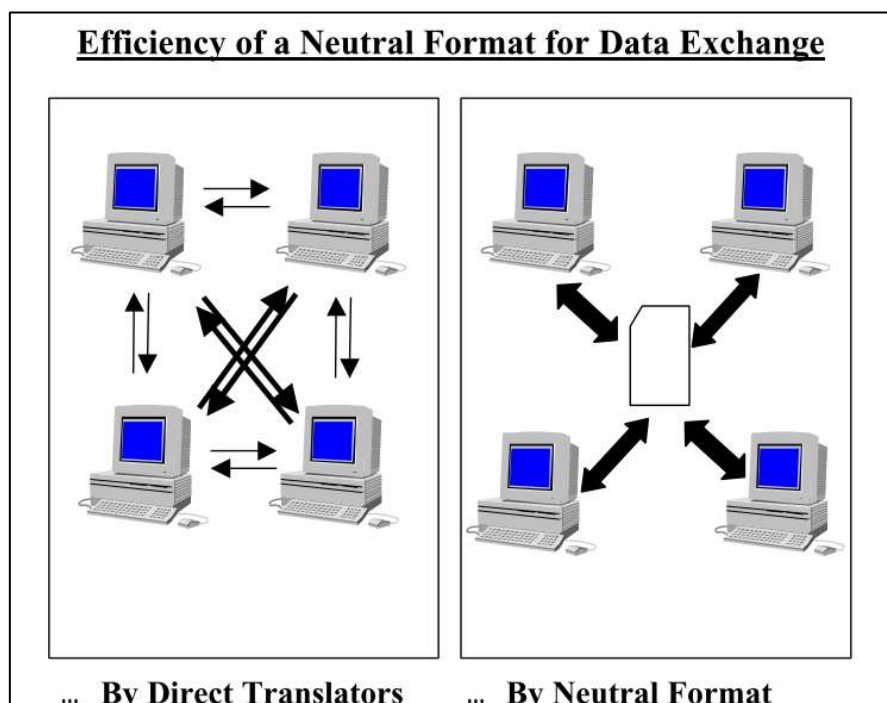


Figura 15: Troca de informações com formato neutro de dados (KEMMERER, 1999).

Em 1994, um grupo de empresas do setor de Construção dos Estados Unidos forma uma aliança para discutir a modernização do setor e formas de

trazer tecnologia, formando a “*Industry Alliance for Interoperability*”, iniciando trabalhos de interoperabilidade entre *softwares* CAD e ferramentas de simulação do mercado de Arquitetura, Engenharia e Construção (AEC) (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997).

Entre 1995 e 1996 a organização passou a ter caráter internacional, adotando o nome de “*International Alliance for Interoperability*” (IAI). A IAI é criada como uma organização voltada à ação e sem fins lucrativos. Sua missão é publicar e promover especificações para o IFC (*Industry Foundation Classes*) como base para a gestão de informações em projetos da indústria de AEC e FM (*Facilities Management*) através de todo o ciclo de vida dos empreendimentos (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997).

O padrão IFC “define um único modelo de dados orientado a objetos de edifícios, compartilhado por todos os aplicativos compatíveis com IFC” (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997).

O IFC é descrito a partir do STEP, com a linguagem EXPRESS (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997). Apesar de ser correntemente utilizado como nome de uma extensão de arquivo “.ifc”, o IFC é o esquema de dados, baseado no padrão STEP, descrito em linguagem interpretável por computador pelo EXPRESS.

```
#14290= IFCQUANTITYAREA('GrossSideArea',,$,$,13.5);
#14292= IFCQUANTITYAREA('NetSideArea',,$,$,13.5);
#14294= IFCQUANTITYVOLUME('GrossVolume',,$,$,2.376);
#14296= IFCQUANTITYVOLUME('NetVolume',,$,$,2.376);
#14298= IFCQUANTITYAREA('GrossFootprintArea',,$,$,0.88);
#14300= IFCELEMENTQUANTITY('39WRngk_9CBgT2CyuJQGwI',#29,'BaseQuantities',,$,'',
(#14284,#14286,#14288,#14290,#14292,#14294,#14296,#14298));
#14305= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('3pBHU4_rT0HfoLp_Fbra9j',#29,$,$,(#14122),#14300);
#14307= IFCMATERIALLAYERSETUSAGE(#14105,.AXIS2,.NEGATIVE,.0.1);
#14308= IFCDIRECTION((0.,-1.,0.));
#14312= IFCCARTESIANPOINT((12.,7.,0.));
#14316= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#14312,#52,#14308);
#14320= IFCLOCALPLACEMENT(#2946,#14316);
#14323= IFCWALLSTANDARDCASE('2JXm8iNNv7LfVrBi4z0_Vd',#29,'Wand-019',,$,
$,#14320,#14393,'35C73C96-4BA7-4334-A6-A1-102EFD27E980');
#14342= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
```

Figura 16: trecho de um modelo IFC BIM em arquivo de texto armazenado como STEP *physical file format*. Fonte: Laakso (2012).

Segundo Laakso (2012), apesar dos escopos do STEP e IFC se sobreporem em alguns aspectos, os dois padrões diferem em relação foco de

padronização e missão central. O STEP foi concebido de forma a ser desenvolvido tomando o tempo necessário, enquanto para a IAI o IFC deveria ser desenvolvido o mais rápido possível, levando a um entendimento de que os padrões coexistiriam (LAAKSO, 2012). Ainda, o STEP foca em troca de informações de produtos em geral, enquanto o IFC é destinado à indústria de AEC.

Em junho de 1996, a IAI publica a primeira versão do IFC. Segundo Bazjanac e Crawley (1997), o IFC 1.0 consistia em:

Um modelo central orientado a objetos, quatro modelos de recursos independentes e quatro extensões de domínio iniciais (arquitetura, serviços de construção, gestão da construção e gestão de instalações). O modelo central define objetos, atributos e relacionamentos comuns às extensões de domínio. Os modelos de recursos documentam a definição de geometria, unidades e utilidades comuns. Os modelos de extensão definem objetos, atributos e relacionamentos específicos para os domínios (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997), traduzido pelo autor.

Na publicação do IFC 1.0, 26 empresas dos Estados Unidos, Canadá e Europa demonstraram interesse na implementação do padrão em seus *softwares*. Entre elas, constavam os maiores distribuidores de programas CAD à época: Autodesk, Bentley, Nemetschek e IEZ (BAZJANAC; CRAWLEY, 1997). As três primeiras se mantem como líderes globais do mercado de *softwares* BIM.

O padrão IFC surge em um contexto em que não havia uma ontologia preexistente da indústria da construção (LAAKSO, 2012). Nessa lacuna, estrutura-se a ISO 12006-2: *Building construction — Organization of information about construction works — Part 2: Framework for classification*. Sua primeira versão é publicada em 2001, e a norma apresenta uma “estrutura para o desenvolvimento de sistemas de classificação de ambientes construídos”.

Em 1999 é publicada a versão 2.0 do padrão IFC. No documento de publicação, destacam-se os valores da IAI descritos no documento e reproduzidos abaixo (IAI, 1999):

- Organização da indústria e sem fins lucrativos;
- Associação aberta a qualquer empresa que atue na indústria de AEC/FM;

- Orientação para a ação: Aliança vs. Associação
- Tomada de decisão baseada em consenso
- **Entrega incremental em vez de estudo prolongado**
- Solução global
- Profissionais da indústria de AEC/FM trabalhando com profissionais de software para definir especificações padrão
- Especificação aberta para implementação e uso por todos os fornecedores de software
- Design para que a especificação seja extensível
- **A especificação evoluirá com o tempo**

Os valores conectam fatores importantes do IFC ao contexto desta pesquisa. Em especial os itens destacados acima, indicam que a ausência de padrões para atendimento de um cenário específico, como o de gestão de águas pluviais com Soluções Baseadas na Natureza, é esperado em um contexto global. Os padrões evoluem e devem evoluir também para contemplar este contexto.

O IFC teve sua primeira publicação ISO com o lançamento da versão 2x. A ISO/PAS 16739 foi publicada em 2005.

Em 2006, a *International Alliance for Interoperability* (IAI) passa por um processo de *rebranding* e adota o nome de buildingSMART. Nessa mudança, a visão da organização que antes remetia à interoperabilidade de *softwares* exclusivamente, passa a compor uma visão mais ampla, de “otimizar a comunicação, produtividade, tempo de entrega, custo e qualidade através de todo ciclo de vida da construção” (LAAKSO, 2012).

A buildingSMART, em uma comunicação de 2006 intitulada “*The useful minimum*”, ou “O mínimo útil” define o conceito como “O escopo mínimo para troca de dados, o que torna a troca baseada em IFC uma solução melhor do que qualquer outro formato disponível”. Um importante padrão tem sua origem nesse conceito é o *Information Delivery Manual* (IDM), especificação introduzida em 2007 (LAAKSO, 2012).

Um IDM, ou Manual de Entrega de Informação, busca ser uma referência integrada para processos e dados exigidos em processos BIM. Deve especificar onde um processo se encaixa; porque é relevante; quem são os atores que criam, consomem e se beneficiam das informações; quais são as informações; e como as soluções de *software* devem dar suporte às necessidades (WIX, 2010).

O padrão IDM possui quatro partes principais, descritas por Wix (2010) e reproduzidas a seguir:

- **Mapas de processos:** um mapa de processos descreve o fluxo de atividades dentro dos limites de um tópico específico; seu objetivo é compreender a configuração das atividades que o fazem funcionar, os atores envolvidos, as informações necessárias, produzidas e consumidas;
- **Requisitos de troca:** é um conjunto de informações que precisam ser trocadas para dar suporte a um requisito de negócio específicos em uma etapa específica do projeto. Normalmente, o conjunto de informações deve ser definidos dentro do modelo IFC, mas o IDM também funcionará com outros padrões. Um Requisito de troca fornece uma descrição das informações em termos não técnicos; seu principal público é o usuário (arquiteto, engenheiro, construtor). No entanto, ele também deve ser usado pelo provedor de *software* pois fornece a chave para os detalhes técnicos que permitem que a solução seja fornecida;
- **Partes funcionais:** uma parte funcional é uma unidade de informação, ou uma ideia de informação única, usada por provedores de *softwares* para dar suporte a um requisito de troca. Uma parte funcional descreve a informação em termos dos recursos exigidos pelo modelo de informação padrão da indústria no qual se baseia. Para o IDM, as partes funcionais são baseadas em versões do modelo IFC. Uma parte funcional é totalmente descrita como um modelo de informação por si só, além de ser um subconjunto do modelo de informação no qual se baseia;

- **Conceitos:** Um conceito é um fragmento de informação que pode ser usado em uma parte funcional (onde está vinculado a uma versão do modelo IFC) ou a um requisito de troca (onde é expresso em termos genéricos). Ele pode ser usado para capturar as funcionalidades básicas de um modelo, como nomenclatura, identificação etc. Um conceito não precisa ser simplesmente relacionado a uma única entidade ou mesmo a uma entidade inteira. Por exemplo, o conceito de um identificador simplesmente descreve como um atributo identificador único é afirmado para uma entidade.

A arquitetura básica inicial do IDM, conforme partes descritas acima, é reproduzida na Figura 17 e Figura 16. A metodologia do IDM foi publicada formalmente como ISO 29481-1 em 2010.

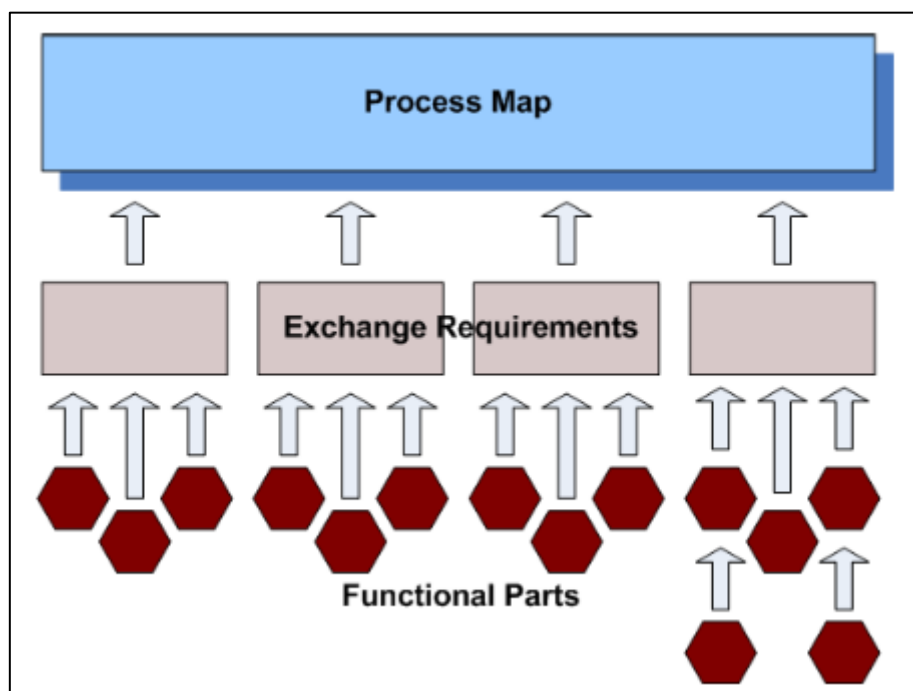


Figura 17: arquitetura do padrão IDM. Fonte: Wix (2010).

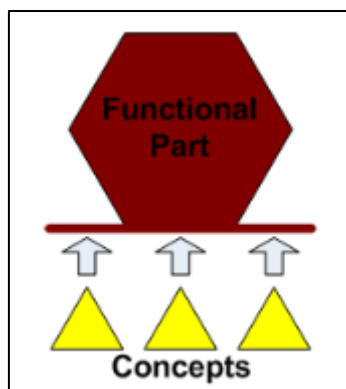


Figura 18: relação entre Conceitos e Partes funcionais. Fonte: Wix (2010).

Outro padrão derivado do conceito de mínimo útil é o de *Model View Definition* (MVD), cujo objetivo é “encontrar um equilíbrio útil entre os desejos dos usuários/clientes e as possibilidades dos desenvolvedores de software, e documentar o resultado claramente”. Um MVD documenta como trocas de dados serão aplicadas entre diferentes aplicações (LAAKSO, 2012).

Como terceiro pilar da troca de dados com IFC, define-se o IFD (*International Framework for Dictionaries*), que provê mecanismos que permitem a criação de dicionários ou ontologias, conectando informação de bases existentes ao IFC e vice-versa. O IFD foi desenvolvido em acordo com os princípios da ISO 12006-3 (LAAKSO, 2012).

Os padrões IFC (ISO 16739), IDM (ISO 29481) e IFD (ISO 12006) formam uma importante base conceitual do BIM, podendo ser agrupados conforme Figura 19.

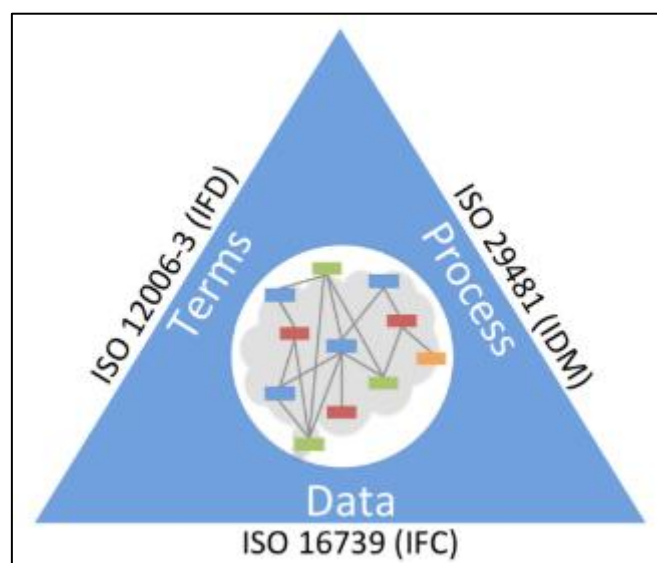


Figura 19: padrões da buildingSMART. Fonte: Laakso (2012).

O padrão IFC segue em desenvolvimento constante. Em 2006 foi publicada sua versão 2x3 e em 2013 a versão IFC4. Na Figura 20 e Figura 21 podemos observar, respectivamente, a evolução no número de entidades definidas pelo esquema IFC e a quantidade de atributos disponível no esquema.

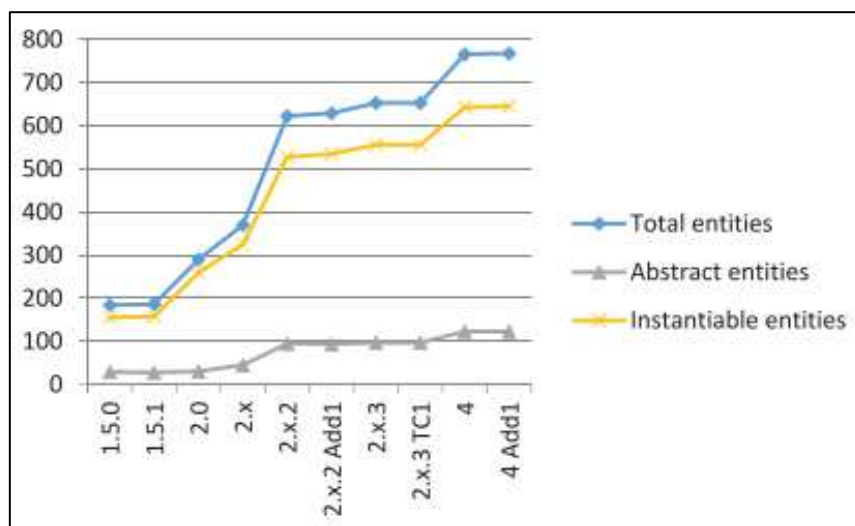


Figura 20: total de entidades, divididas entre abstratas e instanciáveis. Fonte: Amor (2015).

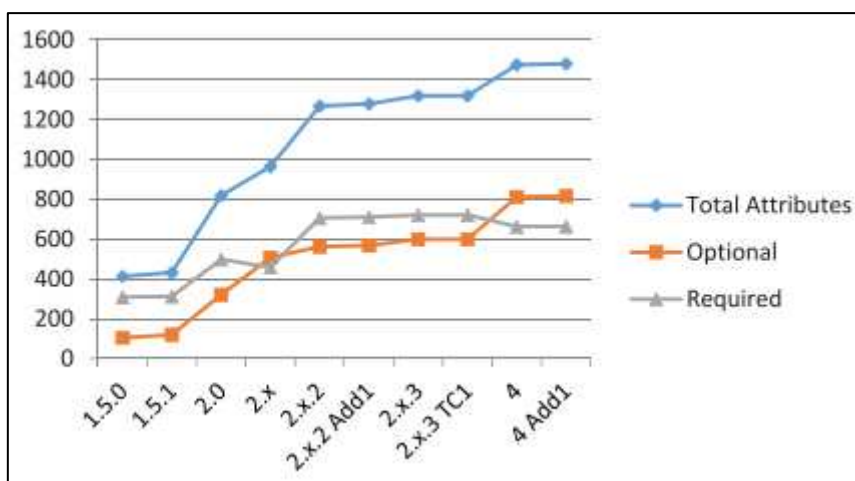


Figura 21: total de atributos do esquema, divididos entre opcionais e obrigatórios. Fonte: Amor (2015).

A versão mais recente do IFC, 4x3, carrega 1418 Classes e 2501 propriedades, organizadas em 745 conjuntos de propriedades, em um movimento contínuo de expansão de áreas do conhecimento atendidas.

Conforme definido na Norma, o IFC apresenta quatro camadas: camada dos recursos, camada central, camada da interoperabilidade e camada dos domínios. As definições da versão brasileira da ISO 16739 (ABNT, 2023) são as seguintes:

- **Camada dos recursos** – é a camada mais baixa, que inclui todos os esquemas particulares que contêm as definições de recursos; essas definições não contêm um identificador global único e não podem ser usadas sem que uma definição seja declarada em uma camada superior;
- **Camada central** – inclui o esquema do núcleo e os esquemas de extensão, contendo as definições de entidade mais gerais; todas as entidades definidas na camada central ou acima possuem um identificador único global exclusivo e, opcionalmente, podem receber informações que identifiquem seu proprietário e histórico;
- **Camada da interoperabilidade** - esta camada reúne esquemas com as definições de entidade de produtos, processos ou recursos que são usadas por várias disciplinas; essas definições são utilizadas para troca e compartilhamento interdomínios de informações da construção;
- **Camada dos domínios** – é a camada mais alta, que reúne os esquemas com as definições de entidade de produtos, processos ou recursos que são usadas por uma determinada disciplina; essas definições são utilizadas para troca e compartilhamento intradomínios de informações.

Mais recentemente novos padrões continuaram sendo criados pela buildingSMART. O padrão IDS (*Information delivery Specification*, Especificação de Entrega de Informações) é um padrão buildingSMART para definir requisitos de informação em um formato interpretável por computador. Permite a verificação automática de conformidade de modelos IFC, o que aumenta o controle de qualidade e a fidelidade dos dados. A IDS também auxilia na entrega eficiente dos dados, definindo expectativas e fornecendo diretrizes claras sobre o que precisa ser trocado. Um usuário da IDS pode especificar como objetos, classificações, materiais, propriedades e até mesmo valores devem ser entregues em um modelo IFC (BUILDINGSMART, 2025a). O padrão IDS responde diretamente à especificação de Requisitos de troca, citados no contexto do IDM.

Já o padrão BCF (*BIM Collaboration Format*, Formato de Colaboração BIM) foi desenvolvido para atender a necessidade e premissa de colaboração constante dentro de um projeto, também de forma padronizada e interoperável (BUILDINGSMART, 2025b). É um protocolo para troca de informações eficiente através da referência direta a objetos de modelo, organização em tópicos e temas e controle de progresso.

O padrão IFD foi implementado pela buildingSMART através do bSDD (*BuildingSMART Data Dictionary*). O Dicionário de Dados buildingSMART é um serviço global projetado para garantir uma terminologia consistente e estruturada para o ambiente construído (BUILDINGSMART, 2025c).

Todos os padrões openBIM discutidos foram criados e são mantidos para que um fluxo de trabalho aberto seja possível. Esse fluxo é resumido pela buildingSMART na Figura 22.

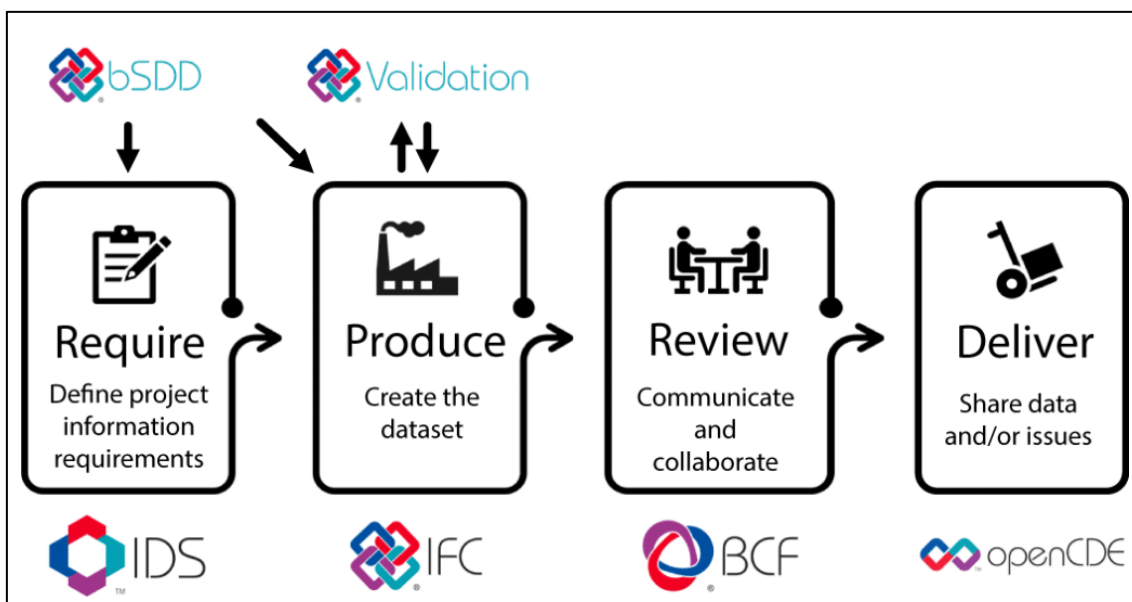


Figura 22: fluxo de trabalho openBIM. Fonte: BuildingSMART (2025d).

De forma resumida: o bSDD esclarece as terminologias utilizadas para aplicação consistente. O IDS é a ferramenta de especificação dos requisitos de informação. A produção de informação é feita com base no padrão IFC e verificada contra a especificação do IDS. Qualquer divergência é comunicada através do padrão BCF e a entrega da informação é feita em um CDE (*Common Data Environment*).

Segundo a buildingSMART (2025d), o fluxo de trabalho openBIM apresentado na Figura 22 não é único ou universal, devendo ser adaptado conforme a necessidade de cada projeto e realidade de trabalho. Destaca-se também que não há obrigatoriedade ou expectativa na aplicação de todos os padrões abertos em todos os projetos e a necessidade que deve direcionar as ferramentas utilizadas.

Em 2019 é publicada a família de normas ISO 19650, contando hoje com seis partes, sendo que as duas primeiras já possuem versão traduzida pela ABNT. A ABNT NBR ISO 19650-1: “Organização e digitização da informação sobre edifícios e obras de engenharia civil, incluindo modelagem da informação da construção (BIM) — Gestão da informação usando modelagem da informação da construção Parte 1: Conceitos e princípios” trata sobre recomendações para uma estrutura de gestão da informação, incluindo troca, registro, versionamento e organização para todos os envolvidos.

O texto da NBR ISO apresenta novos conceitos de Requisitos de Informação, destrinchados em seis diferentes conjuntos (ABNT, 2022), sendo eles:

- **Requisitos de Informação da Organização (OIR):** detalham a informação necessária para responder a tomadas de decisão estratégica, relacionadas ao alto nível de gestão da contratante.
- **Requisitos de Informação do Ativo (AIR):** estabelecem os aspectos comerciais, gerenciais e técnicos da produção de informação de um ativo, detalhando os conjuntos de informação necessários para responder os requisitos da organização (OIR).
- **Requisitos de Informação do Projeto (PIR):** detalham as informações necessárias para se dar resposta e/ou informar a tomada de decisões estratégicas de um ativo a ser construído.
- **Requisitos de Troca de Informação (EIR):** detalham os aspectos gerenciais, comerciais e técnicos da produção de informação do projeto. É recomendado que sejam capazes de detalhar as informações necessárias para responder aos requisitos de projeto (PIR). Convém que os requisitos de troca de todas as tarefas

formem um único, coerente e coordenado conjunto de requisitos de informação.

- **Modelo de Informação do Ativo (AIM):** dá suporte à estratégia diária de gestão do ativo construído estabelecida pela contratante.
- **Modelo de Informação do Projeto (PIM):** dá suporte à entrega do projeto e contribui com o modelo do ativo (AIM) nas atividades de gestão do ativo. É recomendado um arquivamento de longo prazo para propósitos de auditoria do projeto.

Os requisitos e sua interrelação são ilustrados na Figura 23.

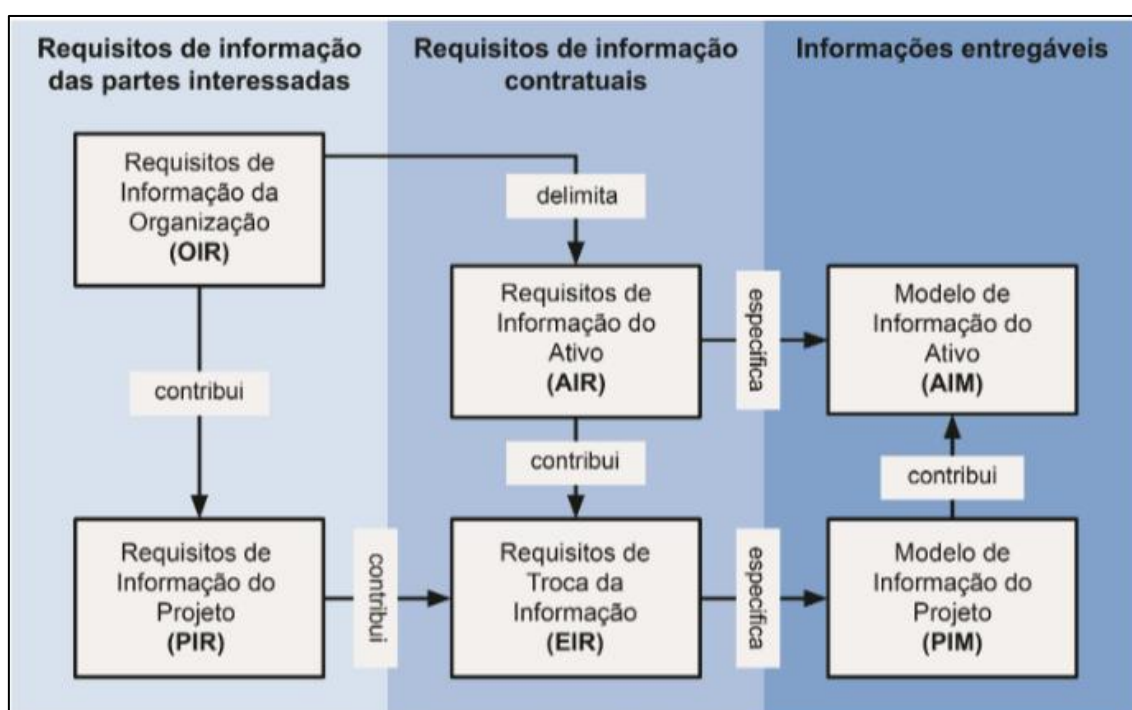


Figura 23: Hierarquia dos requisitos de informação. Fonte ABNT (2022).

Toda a troca de informações em processos BIM deve ser contida em uma solução de CDE (*Common Data Environment*, Ambiente Comum de Dados). Neste ambiente, busca-se a centralização da informação, bem como seu controle de status e versionamento (ABNT, 2022).

Outro conjunto de normas brasileiras importantes é a família de normas ABNT NBR 15965, que trata sobre Sistemas de Classificação da Informação da Construção. Dentro do conceito de dicionário de dados, como o bSDD, apresentado anteriormente neste tópico, a NBR 15965 é um sistema de classificação baseado na ISO 12006-2, que pode ser utilizado para a

padronização de elementos da construção, contribuindo para a interoperabilidade (ABNT, 2011a).

Dentro da arquitetura do esquema IFC, destaca-se o conceito de Domínios. Os Domínios da buildingSMART são grupos abertos de especialistas da indústria que colaboram para aprimorar o ambiente construído por meio do desenvolvimento de soluções e padrões abertos. Os domínios se concentram em uma área ou contexto específico (BUILDINGSMART, 2025e).

Na versão 4.3, o IFC conta com os seguintes domínios:

- *IfcArchitecturalDomain*
- *IfcBuildingControlsDomain*
- *IfcConstructionMgmtDomain*
- *IfcElectricalDomain*
- *IfcHvacDomain*
- *IfcPlumbingFireProtectionDomain*
- *IfcPortsAndWaterwaysDomain*
- *IfcRailDomain*
- *IfcRoadDomain*
- *IfcStructuralAnalysisDomain*
- *IfcStructuralElementsDomain*

Outros domínios são continuamente estudados para entendimento e implementação. Em 2023, o documento “*Whitepaper of the buildingSMART specialist group openBIM in water management*”, apresentado pelo capítulo Alemão da buildingSMART abriu as discussões sobre um novo Domínio no IFC relacionado à gestão da água (BUILDINGSMART GERMANY, 2023).

Conforme identificado pela buildingSMART Germany (2023), o openBIM traz características de interoperabilidade; formatos neutros e abertos; troca de dados confiáveis; fluxos de trabalho para colaboração; flexibilidade na escolha de tecnologias; e sustentabilidade pela perenidade de padrões de dados interoperáveis. Tais fatores possuem grande valor para toda a cadeia de gestão da água.

Existem algumas áreas de aplicação do openBIM para os sistemas de gestão da água, podendo ser divididos em construções lineares e delimitadas espacialmente (BUILDINGSMART GERMANY, 2023). Nas construções lineares, identificam-se:

- Redes de abastecimento de água;
- Redes de drenagem de águas residuais.

Nas construções delimitadas espacialmente, temos:

- Captação/bombeamento de água potável e de processo;
- Tratamento de água potável e de processo
- Tanques de armazenamento de água potável e de processo;
- Bombeamento e armazenamento de águas residuais;
- Tratamento de águas residuais;
- Pontos de descarga para águas residuais tratadas.

O objetivo da criação de padrões openBIM é “fornecer uma interface de dados openBIM, como IFC e BCF, para todos os projetos lineares e pontuais do setor hídrico, a fim de permitir a troca de grande parte das informações necessárias ao ciclo de vida de um projeto ou instalação técnica“ (BUILDINGSMART GERMANY, 2023). O *Whitepaper* também avalia que uma grande parte das entidades necessárias à gestão hídrica e suas características já estão disponíveis no IFC. A Figura 24 apresenta uma avaliação inicial sobre os elementos de um sistema genérico de tratamento de água e a correspondência de elementos existentes no IFC, bem como destacando as lacunas (texto em vermelho com fundo amarelo).

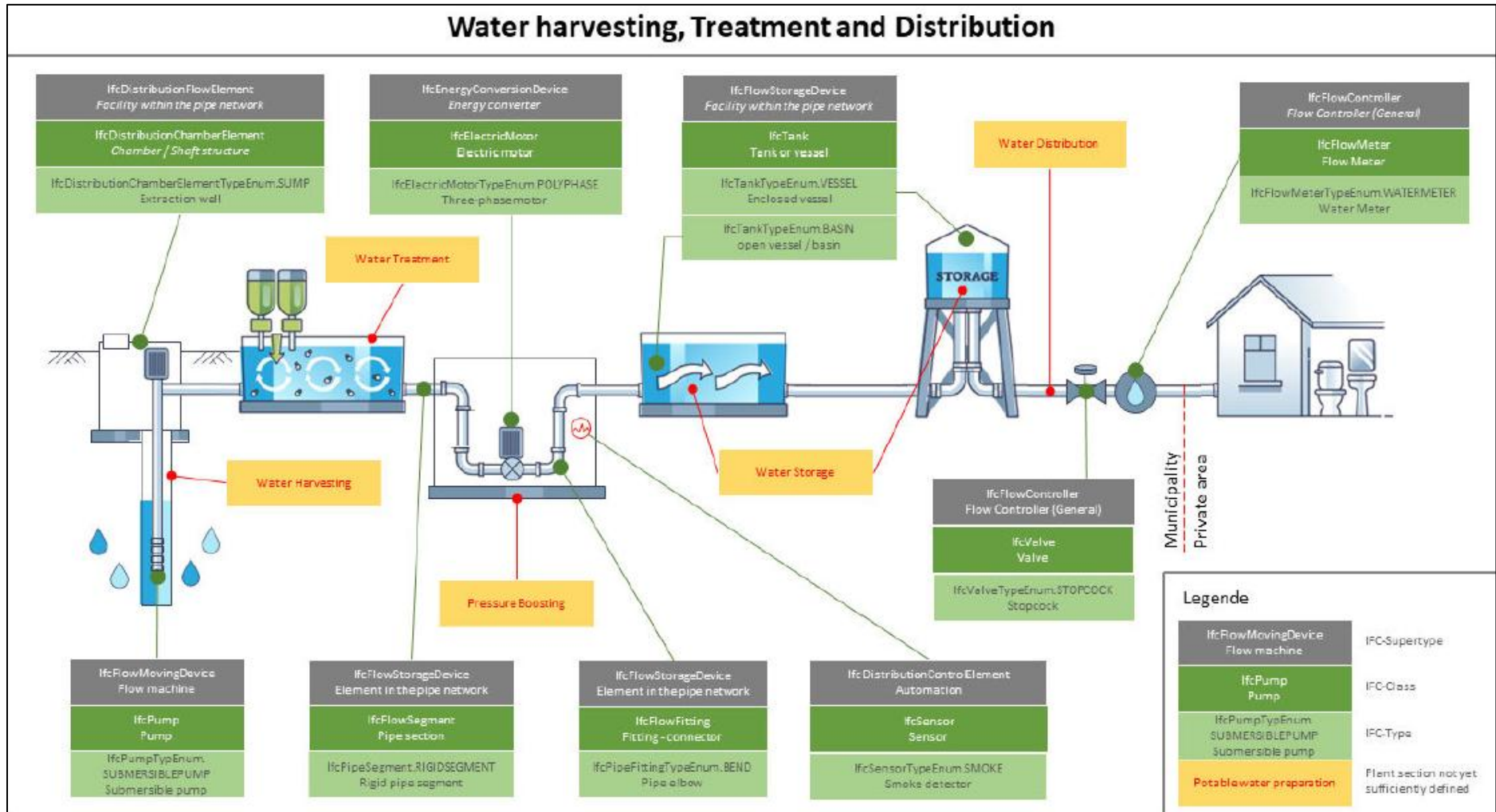


Figura 24: Exemplo de classificação com IFC 4.3 de um sistema de tratamento de água. Fonte: BuildingSMART Germany (2023).

Já para os domínios de Planejamento Urbano e Paisagístico, foi identificada iniciativa de trabalho em 2018 através de chamamento público pelo site da *buildingSMART international*. Não foi encontrado nenhum registro posterior em termos de trabalhos desenvolvidos (BUILDINGSMART, 2018). Destaca-se porém o potencial deste Domínio, que busca levar o openBIM para o planejamento das cidades e buscou, no chamamento público, profissionais relacionados com: arquitetura paisagística, engenharia civil, gestão de águas pluviais, serviços públicos, geotecnia, agrimensura, planejamento urbano, engenharia elétrica, botânica. Tal variedade destaca a multidisciplinaridade de um Domínio como o Planejamento Urbano, Urbanismo e Paisagismo de cidades.

Considerando o histórico apresentado, destaca-se como última parte deste item da revisão sobre openBIM o *roadmap* da *buildingSMART* e as perspectivas futuras para os padrões abertos.

A Figura 25 apresenta o estado dos padrões e soluções em 2020, data de publicação do documento.

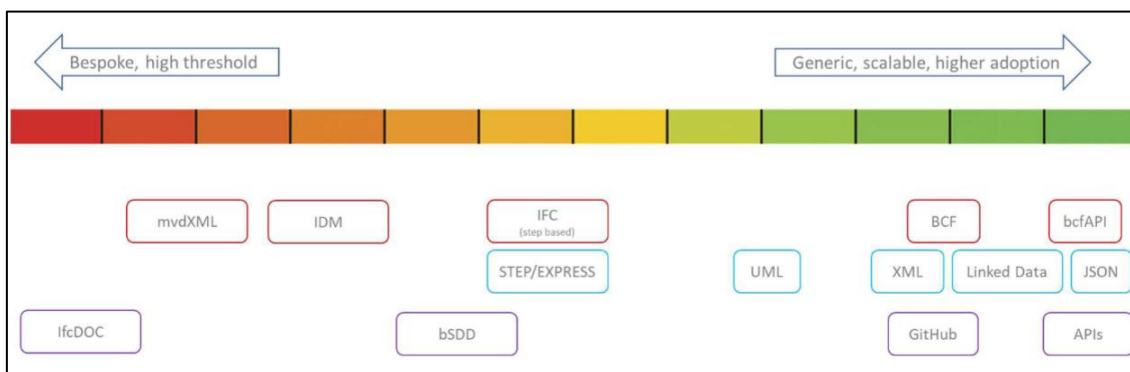


Figura 25: *status* dos padrões e soluções da *buildingSMART*. À esquerda, padrões e soluções sob medida e com alta limitação; à direita, padrões e soluções genéricas e escaláveis, com maior adoção. Fonte: *buildingSMART* (2020).

A Figura 26 apresenta o estado desejado dos padrões. O *roadmap* destaca o papel crucial e central do padrão IFC, que passará por mudanças estruturais, separando as definições do padrão IFC da linguagem e formato de arquivo, permitindo o uso de linguagens mais modernas como XML, RDF e JSON (BUILDINGSMART, 2020).

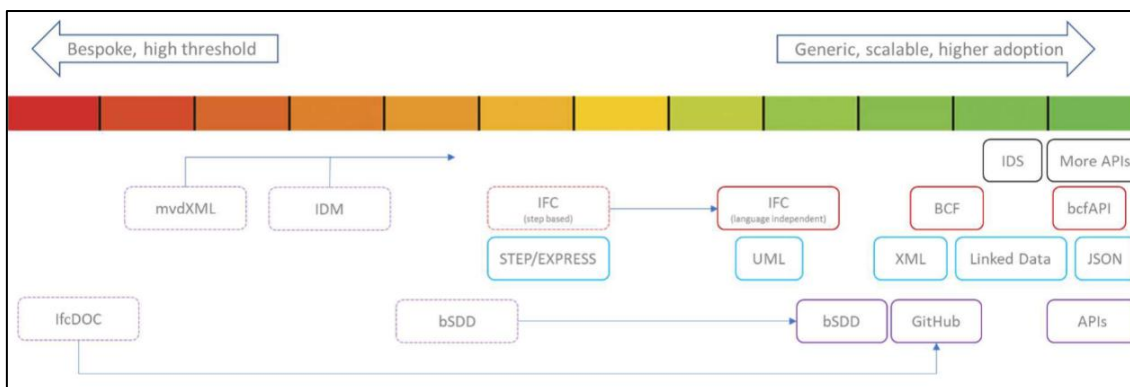


Figura 26: *status* desejado dos padrões e soluções da buildingSMART. À esquerda, padrões e soluções sob medida e com alta limitação; à direita, padrões e soluções genéricas e escaláveis, com maior adoção. Fonte: buildingSMART (2020).

O padrão IDS, altamente adaptável, já surge com grande expectativa de adoção. O serviço de dicionário de dados, bSDD, será fortalecido como ferramenta essencial para a integração entre diferentes padrões de classificação da informação e especificação de propriedades (BUILDINGSMART, 2020).

Para melhor compreensão do serviço de dicionário de dados bSDD, a Figura 27 apresenta uma estrutura conceitual. Nela, observamos as camadas de recursos e interoperabilidade do IFC (em vermelho). Acima, as extensões do IFC (em amarelo escuro), agrupadas por módulos. No topo, passamos aos domínios do bSDD (em amarelo), onde é possível agregar classificações e padrões regionais, bem como conjuntos de propriedades adequados a usos e projetos específicos.

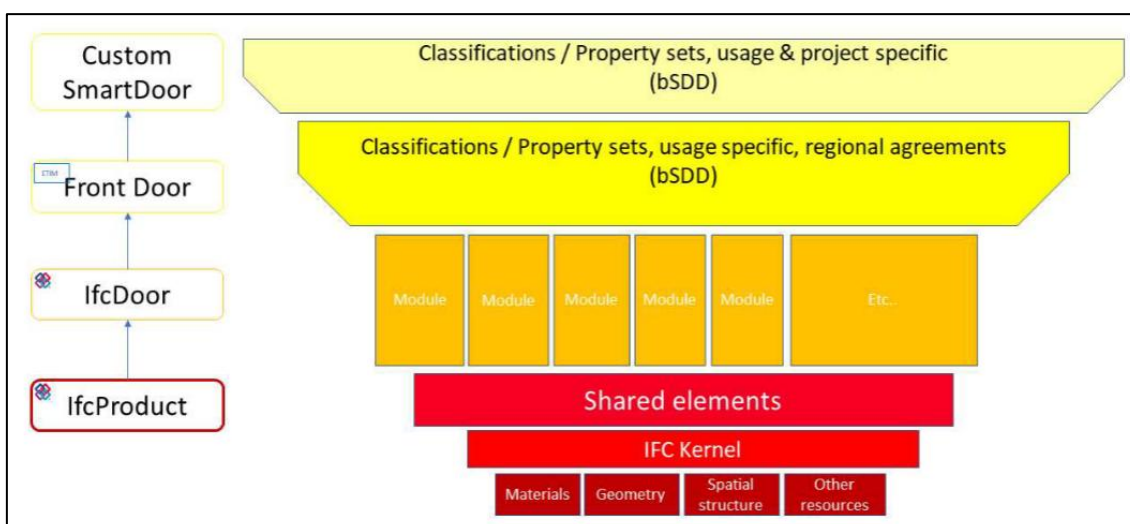


Figura 27: Árvore de especialização, com as camadas de IFC e bSDD. Fonte: buildingSMART (2020).

Por fim, os novos desenvolvimentos do padrão IFC tem como referência a publicação de “Dez princípios para um IFC Futuro” (VAN BERLO, 2020). Os

dez princípios, disponíveis na página do *github* da buildingSMART, são traduzidos a seguir:

- **Segue abordagens e padrões contemporâneos:** use a tecnologia com a qual desenvolvedores e usuários finais já estão familiarizados;
- **Favorece a simplicidade em detrimento da complexidade:** complexidades foram frequentemente adicionadas para versatilidade, compatibilidade ascendente ou eficiência, mas a simplicidade deve ser a principal preocupação sem uma perda significativa de expressividade;
- **Não possui recursos de uso único:** Recursos de propósito único (análogos às partes 4x e 5x do STEP) aumentam o esforço de implementação sem agregar valor suficiente;
- **Busca a interoperabilidade e não possui paradigmas de modelagem concorrentes:** Várias maneiras de modelar a mesma situação dificultam a interoperabilidade e aumentam o esforço de implementação;
- **Adequação:** Construções de modelagem apropriadas são usadas para implementar princípios de modelagem de dados;
- **Versatilidade:** As construções de modelagem devem ser limitadas a um subconjunto bem suportado de conceitos suportados em linguagens de programação (Java, C++, C#, Python), linguagens de esquema (OWL, XSD, JsonSchema), formatos de dados (SPFF, XML, RDF, JSON, HDF5);
- **Clareza:** Usar nomes claros de atributos e entidades evitará confusões;
- **Um esforço de implementação reduzido para (a) autoria (b) processamento:** Uma quantidade reduzida de entidades e recursos geométricos sem perda de expressividade resultará em menos esforço de implementação, especialmente para domínios relacionados, como planejamento urbano, gerenciamento de instalações e sistemas geoespaciais;

- **Harmonioso e consistente:** A consistência reduz o esforço de implementação e a confusão;
- **Modularidade:** Nenhum padrão pode/deve reger todos os casos de uso. O IFC deve ter foco e escopo claros. Embora os casos de uso possam ser suportados, isso não significa que devam ser quando houver padrões alternativos disponíveis. A modularidade auxilia no pareamento com outros padrões e reduz o esforço de implementação quando apenas módulos relevantes precisam ser implementados. Isso significa que relacionamentos extensos entre módulos distintos precisam ser minimizados.

Os princípios de novos desenvolvimentos de padrões IFC são relevantes no contexto desta pesquisa por indicarem o caminho pelo qual o padrão deve seguir, auxiliando na antecipação de erros e incompatibilidades dentro do aprimoramento dos Domínios, por exemplo.

4.8.1 Requisitos de Informação

Os requisitos de informação, em suas mais variadas formas conceituais descritas no item anterior, assumem, na prática, estruturas que se relacionam diretamente com o uso esperado da informação.

Tomczak et al. (2022) revisaram os diferentes métodos de especificação de requisitos de informação em projetos de construção digital. Foram identificados sete padrões que oferecem metodologias para especificação de requisitos. Dentre as já citadas neste texto, temos: Dicionários de Dados, Manual de Entrega de Informação (IDM), Especificação de Entrega de Informação (IDS) e *Model View Definition* (MVD). Além destes, os autores identificam: *IFC Property Templates* (IPT), *Level of Information Need* (LOIN), *Product Data Templates* (PDT) (TOMCZAK et al., 2022).

O conceito de IPT foi introduzido pelo IFC 4, como uma parte da especificação dedicada para definir padrões para criação de instancias de *property sets*; não é um padrão dedicado a requisitar informações, mas pode descrever como a informação deve ser entregue em um IFC (TOMCZAK et al., 2022).

O Nível de Informação Necessária (LOIN) define pré-requisitos que devem ser especificados para estabelecer o contexto da informação, sendo seu propósito (porque), momento de entrega (quando, marco de projeto), o ator da entrega (quem) e o objeto ao qual o requisito está associado (o que) (TOMCZAK et al., 2022). O nível de informação necessário deve estar descrito nos requisitos da organização (OIR), requisitos do projeto (PIR), requisitos do ativo (AIR) ou requisitos de troca de informação (EIR) (ABNT, 2022). Além de ser apresentado na ISO 19650, também possui uma norma própria, ISO 7817-1.

A NBR ISO 19650 recomenda que os níveis de informação sejam determinados pela quantidade mínima de informação necessária para se responder a cada requisito aplicável do projeto ou do ativo, incluindo todas as partes do projeto, mas nada além disso (ABNT, 2022). Os elementos podem ter requisitos geométricos e alfanuméricos.

Os PDTs foram estabelecidos para permitir a comparação de produtos similares, sobretudo para etapas de licitação de projetos. Compartilhando o mesmo *template* de dados permite a comunicação clara entre fabricantes e compradores. Quando o *template* de dados é preenchido com informação, se torna uma Folha de Dados de Produto, de preferência incorporada no modelo de informação (TOMCZAK et al., 2022). A metodologia relacionada aos *templates* de Dados é definida pela ISO 23386.

A Figura 28 apresenta uma tabela comparativa dos padrões de requisitos de informação. A metodologia de avaliação comparativa de Tomczak et al. (2022) abordou os seguintes itens, contantes do cabeçalho da figura:

- Padronização – se o formato de requisito é padronizado ou não;
- Aplicabilidade – é comum que requisitos especifiquem sua aplicabilidade, a atribuição a quais elementos se aplicam, por exemplo, uma parede, um cano ou outro;
- Capacidade de atender às informações de tipo, tipo de dado, unidade de medida, descrição e referências;
- Capacidade de gerar restrições a valores, sendo igual, dentro de uma faixa, parte de uma enumeração ou definido por algum padrão;

- Capacidade de validar conteúdo, se ele existe, se documentos estão adequados e se a estrutura dos elementos e suas interrelações estão corretas;
- Capacidade de especificar requisitos geométricos, em termos de representação e detalhamento; e
- Capacidade de definir atores responsáveis por cada informação, seu propósito e os mapas de processos relacionados com a troca de informação em questão.

	Standardised	Applicability	Fields					Value constraints				Content			Geom.		Metadata		
			Info. type	Data type	Unit of meas.	Description	References	Equality	Range	Enumeration	Patterns	Existence	Documents	Structure	Representation	Detailedness	Purpose	Actors	Process map
Spreadsheet	○	●	●	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
PDT*	●	●	●	●	●	●	○	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
Data Dict.	●	○	●	●	○	●	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
IDS*	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
mvdXML	●	●	●	●	●	○	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
idmXML	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
LOIN*	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
IFC P.T.	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
LD+SHACL	○	●	●	●	●	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

Figura 28: Avaliação comparativa da aptidão de cada padrão de especificação de requisitos de informação. Fonte: Tomczak et al. (2022).

Em uma segunda avaliação, os autores agrupam os padrões em quatro aspectos (TOMCZAK et al., 2022):

- Expressividade, ou capacidade de expressão da informação. Divido em: Livre, parcialmente limitado, muito restrito, estrito;
- Dependência semântica. Divido em: implícita, dependente de um esquema (indefinido ou explícito) e autossuficiente;
- Agnosticismo da tecnologia. Divido em: agnóstica e definida/imposta;
- Governança. Dividida em: customizada, buildingSMART e ISO/CEN.

A Figura 29 apresenta a tabela resumida com a avaliação de todos os itens reproduzidos acima.

Expressiveness	Free	Partially limited	Very constrained	Strict
	<i>DOC, IDM, MVD^a, Other^a</i>	<i>XLS, PDT, LD+SHACL, LOIN</i>	<i>IDS, DD</i>	<i>MVD^a, IPT, Other^a</i>
Semantic dependency	Implicit	Schema dependent		Self-contained
		Indefinite	Explicit	
	<i>DOC, XLS, MVD^a</i>	<i>IDM, LOIN, DD, PDT</i>	<i>IDS, IPT</i>	<i>MVD^a, LD+SHACL</i>
Technology agnosticity	Agnostic			Impose technology
	Plain text	Tabular	XML schema (XSD)	
	<i>DOC</i>	<i>XLS, DD, PDT</i>	<i>IDM, IDS, MVD, IPT, LOIN</i>	<i>LD+SHACL, Other</i>
Governance	Custom	buildingSMART	ISO/CEN	
	<i>DOC, XLS, LD+SHACL, Other</i>	<i>MVD</i>	<i>IDS, IPT, DD</i>	<i>LOIN, IDM, PDT</i>

Figura 29: agrupamento de métodos de requisitos de informação. Fonte: Tomczak et al. (2022).

Além de todos os padrões descritos, Tomczak et al. (2022) destacam que documentos como planilhas *Excel* e/ou arquivos de texto seguem sendo utilizados como ferramentas básicas de descrição do que se espera em um projeto e/ou entregável. Tal processo será visitado em algumas referências a seguir.

O Caderno de Requisitos Técnicos BIM do DNIT (2025) apresenta toda a delimitação da gestão da informação com base nos padrões da NBR ISO 19650. A seguir, destacam-se os itens de Requisitos de Informação que são tratados e uma breve descrição do que os compõe:

- **Requisitos de Informação da Organização (OIR):** descreve os objetivos estratégicos do DNIT enquanto organização, conectando tais objetivos aos objetivos estratégicos BIM na autarquia, bem como aos correspondentes Usos BIM esperados para atendimentos destes objetivos;
- **Requisitos de Informação do Ativo (AIR):** descreve os documentos, manuais e normas pertinentes ao tema tratado e que devem ser atendidos no processo de produção de informação do ativo;
- **Requisitos de Troca de Informação (EIR):** descreve as exigências que a plataforma de CDE deve atender, em termos de gestão de arquivos, acessibilidade e controles. Delimita o processo de gestão do ciclo de projeto, etapas e formas de colaboração e comunicação;

- **Requisitos de Informação do Projeto (PIR):** descreve os tipos de informações a serem inseridos no projeto (gerais, geométricas por elemento, geográficas e especiais, para planejamento, para orçamento etc.). Delimita requisitos de parametrização dos elementos e classificação dos elementos da construção.

Após a delimitação dos Requisitos, utiliza-se o padrão LOIN para estruturação da entrega da informação. A Figura 30 apresenta trecho das tabelas anexas ao documento (DNIT, 2025). Pode-se observar o tipo de informação, o uso correspondente do modelo (“porque”), o agrupamento das informações por tipo e a identificação de cada informação (“o que”).

INFORMAÇÃO	TIPO DE INFORMAÇÃO	USO BIM DO DNIT	GRUPO/PRODUTO	NÍVEL DE INFORMAÇÃO	EXEMPLO	OBSERVAÇÕES	
1 - DADOS DO EMPREENDIMENTO	01.01	Informações gerais do empreendimento	Todos	Dados do Contrato	01.01.01	Objeto	Projeto de engenharia do Portal de Fiscalização Flutuante no Rio Purus, em Lábrea/AM
					01.01.02	Modalidade de Contratação	Concorrência
					01.01.03	Edital	123/2020-00
					01.01.04	Contrato	123/2020
					01.01.05	Contratada	Empresa de Engenharia Ltda
					01.01.06	Lote	4
				Localização do Empreendimento	01.01.07	Endereço	Quadra 03, Lote A, St. de Auarquias Norte, Brasília - DF, 70040-902
					01.01.08	Rodovia/UF	BR-319/AM
					01.01.09	Trecho	Entr. BR-364/RO
					01.01.10	Segmento	km 20 – km 30
					01.01.11	Subtrecho	Entr. BR-421/RO
					01.01.12	Estaqueamento Inicial	Ex: 1+00,00 m
					01.01.13	Estaqueamento Final	Ex: 5+00,00 m
				Responsáveis pelo Projeto	01.01.14	Nome e Id. Conselho	Nome: João Sousa Silva Registro: Crea Nº 000000001-0
				Entregas ao DNIT	01.01.15	Número Sei do Termo de Referência - TR	Processo SEI Nº: xxxxxxxx-xx/xx
				LOIN	01.01.16	Ciclo de Vida	Projeto e/ou Obra e/ou Operação e Manutenção

Figura 30: trecho da tabela de LOIN de Obras de Arte Especiais. Fonte: DNIT (2025).

A Figura 31 apresenta a etapa de projeto (“quando”) e a disciplina de projeto responsável pela informação (“quem”).

		ANTEPROJETO - OAE													
LEGENDA		SIM		S		OPCIONAL				NÃO					
		1		2		3		4							
ELEMENTO		01.01	02.01	02.02	02.03	02.04	02.05	02.06	03.01	04.01					
INFRAESTRUTURA	ESTACA RAIZ CIRCULAR SIMPLES	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N
	ESTACA RAIZ CIRCULAR DUPLA	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N
	BLOCO DE COROAMENTO RETANGULAR	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N
	BLOCO DE COROAMENTO QUADRADO	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N
	BLOCO DE COROAMENTO CIRCULAR	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N
	SAPATA ISOLADA RETANGULAR TRAPEZOIDAL	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N
CONCRETO DE REGULARIZAÇÃO	N	N	S	S	O	O	S	O	N	O	N	O	N	N	

Figura 31: trecho da tabela de LOIN de Obras de Arte Especiais. Fonte: DNIT (2025).

O Caderno BIM de Edificações do Governo do Paraná (2023) segue a mesma estrutura do material do DNIT citado, correspondente à ISO 19650. Dele, destacam-se os escopos de conteúdo atribuído a cada tipo de Requisito de Informação:

- **Requisitos de Informação da Organização (OIR):** descreve os objetivos estratégicos da organização, conectando tais objetivos aos Usos BIM esperados;
- **Requisitos de Informação do Projeto (PIR):** descreve os elementos de projeto, sua classificação e correspondente Nível de Detalhe (ND) e Nível de Informação (NI) em função de cada etapa de projeto;
- **Requisitos de Informação do Ativo (AIR):** descreve os documentos, manuais e normas pertinentes ao tema tratado e que devem ser atendidos no processo de produção de informação do ativo, em termos de gestão, atendimento técnico e de legislação;
- **Requisitos de Troca de Informação (EIR):** descreve as exigências que a plataforma de CDE deve atender, em termos de gestão de arquivos, acessibilidade e controles. Apresenta a estrutura de organização da informação (EOI), o plano de comunicação e colaboração, as tabelas de referência para custos, indica ferramentas BIM, define a responsabilidade de cada elemento, estratégia de federação e nomenclatura de arquivos;

Destaca-se que o documento trata os quatro Requisitos como subitem do LOIN (GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2023), diferentemente do Caderno Técnico do DNIT que descreve os Requisitos e posteriormente utiliza o LOIN como padrão para estruturar as informações de entrega (DNIT, 2025). Com isso, a Figura 32 apresenta a um trecho da tabela de PIR, em que constam os elementos com seu ND e NI (“o que”) e as fases de projeto (“quando”).

2. NÍVEL DE INFORMAÇÃO NECESSÁRIA - LOIN									
2.2 REQUISITOS DE INFORMAÇÃO DE PROJETO (PIR)									
Preenchido pelo Contratante									
Código			Descrição	Anteprojeto		Projeto Básico		Projeto Executivo	
G	00	00	GERAL						
G	01	00	CADASTRO DE INTERFERÊNCIAS	ND	NI	ND	NI	ND	NI
G	01	05	POSTE EXISTENTE						
G	01	10	ÁRVORE EXISTENTE						
G	01	15	EDIFICAÇÃO EXISTENTE						
G	01	20	CAIXA DE INSPEÇÃO EXISTENTE						
G	01	99	OUTROS ELEMENTOS DE CADASTRO DE INTERFERÊNCIAS						

Figura 32: trecho da tabela de PIR, como subitem do LOIN. Fonte: Governo do Estado do Paraná (2023).

A Figura 33 apresenta trecho da tabela para descrição da responsabilidade de cada elemento em um modelo BIM (“quem”). Neste formato,

o uso BIM associado a cada informação (“porque”) é apresentado apenas em uma tabela específica, não constando em conjunto com os demais Requisitos (GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ, 2023).

2.4 REQUISITOS DE TROCA DE INFORMAÇÃO (EIR)												
2.4.8 Responsável pela Exportação da Informação Geométrica												
Preenchido pela Contratada												
Elementos Exportados						Informação geométrica exportada da disciplina						
GERAL						ARQ	EST	ELE	HID			
G	01	00	CADASTRO DE INTERFERÊNCIAS									
G	01	05	POSTE EXISTENTE									
G	01	10	ÁRVORE EXISTENTE									
G	01	15	EDIFICAÇÃO EXISTENTE									
G	01	20	CAIXA DE INSPEÇÃO EXISTENTE									
G	01	99	OUTROS ELEMENTOS DE CADASTRO DE INTERFERÊNCIAS									

Figura 33: trecho da tabela de EIR, como subitem do LOIN. Fonte: Governo do Estado do Paraná (2023).

Já o Caderno de Modelagem BIM de Projetos de Habitação de Interesse Social da Secretaria Municipal de Habitação de São Paulo (2022) apresenta uma estratégia diferente, consolidando em uma única tabela todos os elementos. Podemos observar na Figura 34 as colunas de Projetista responsável (“quem”), aba por assunto e descrição do elemento e tipos de informação (“o que”), padronização de código que suporte os usos (“porque”), mas não consta uma segmentação por etapa de projeto (“quando”).

ELEMENTOS DA EDIFICAÇÃO												
PROJETISTA RESPONSÁVEL	ITEM	SH_ID (CÓDIGO SEHAB)	DESCRIÇÃO	ORIGEM	REFERENCIA	DATA BASE	UNIDADE	TIPO DE IFC	SH_NOME_ELEMENTO			
COMPOSIÇÃO												
AQ		sh_ce_11_0_0_B_A_A	AZULEJO ASSENTADO COM ARGAMASSA COMUM SOBRE CHAPISCO E EMBOÇO	Própria		Jan-20		IfcWall; IfcCovering	REVIXX			
AQ		sh_ce_11_0_0_B_A_A	AZULEJO ASSENTADO COM ARGAMASSA COMUM SOBRE CHAPISCO E EMBOÇO, COM IMPERMEABILIZAÇÃO POLIMÉRICA	Própria		Jan-20		IfcWall; IfcCovering	REVIXX			
AQ		sh_ce_11_0_0_B_A_B	AZULEJO ASSENTADO COM ARGAMASSA COLANTE SOBRE CHAPISCO E EMBOÇO	Própria		Jan-20		IfcWall; IfcCovering	REVIXX			
AQ		sh_ce_11_0_0_B_A_B	AZULEJO ASSENTADO COM ARGAMASSA COLANTE SOBRE CHAPISCO E EMBOÇO, COM IMPERMEABILIZAÇÃO POLIMÉRICA	Própria		Jan-20		IfcWall; IfcCovering	REVIXX			
AQ		sh_ce_11_0_0_B_B_C	CHAPISCO COMUM, EMBOÇO INTERNO DESEMPENADO PARA PINTURA E RODAPÉ CERÂMICO DE 7CM À 10CM.	Própria		Jan-20		IfcWall; IfcCovering	REVIXX			
AQ		sh_ce_11_0_0_B_B_C	IMPERMEABILIZAÇÃO DE SUPERFÍCIE COM ARGAMASSA POLIMÉRICA, CHAPISCO COMUM, EMBOÇO INTERNO DESEMPENADO PARA PINTURA E RODAPÉ CERÂMICO DE 7CM À 10CM	Própria		Jan-20		IfcWall; IfcCovering	REVIXX			
ELEMENTOS ISOLADOS												
AQ	REVESTIMENTO DE FORROS	sh_ed_11_01_01	CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	EDIF	11 01 01	Jan-20	M2	IfcCovering; IfcSlab	REVIXX			
AQ		sh_ed_11_01_09	EMBOÇO DESEMPENADO PARA PINTURA - ARGAMASSA MISTA CIMENTO, CAL E AREIA 1:3:12	EDIF	11 01 09	Jan-20	M2	IfcCovering; IfcSlab	REVIXX			
AQ		sh_ed_11_01_13	REBOCO INTERNO - ARGAMASSA PRÉ-FABRICADA	EDIF	11 01 13	Jan-20	M2	IfcCovering; IfcSlab	REVIXX			
AQ		sh_ed_11_02_01	CHAPISCO COMUM - ARGAMASSA DE CIMENTO E AREIA 1:3	EDIF	11 02 01	Jan-20	M2	IfcCovering; IfcSlab	REVIXX			

Figura 34: trecho da tabela de especificação de elementos SEHAB. Fonte: SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2 (2022).

4.9 Criação de objetos BIM

O desenvolvimento de aplicações práticas pautadas na metodologia BIM, seja no Domínio de gestão de recursos hídricos ou outros quaisquer, passa pela

etapa de criação da informação. Tal etapa pode ser atribuída às fases de pré-projeto e projeto. Nessas fases, é necessário que exista um conjunto de “objetos BIM”, elementos virtuais representativos dos elementos de construção, que assumem nomenclaturas diferentes em cada *software* de projeto, mas que a princípio serão genericamente identificadas por “objetos BIM” apenas.

Para mapear e embasar os procedimentos para a criação de novos objetos BIM, foi conduzida esta etapa de revisão da literatura, tanto de produção científica quanto de padrões e normatizações nacionais e internacionais.

No item 4.8 já foi citada a norma ISO 12006-2, traduzida para o português e identificada como ABNT NBR ISO 12006-2. A norma define uma estrutura para o desenvolvimento de sistemas de classificação de ambientes construídos (ABNT, 2018a). Ou seja, a norma não descreve um sistema de classificação específico, mas sim a estrutura básica de qualquer sistema, como diversos desenvolvidos em cenários nacionais. Dessa forma, serve como alicerce conceitual para o desenvolvimento desta pesquisa, como fundamentação para as proposições de classificação que serão feitas.

A NBR ISO 12006-2 estabelece classes que se relacionam com um modelo de processo básico, onde um “processo da construção” utiliza “recursos da construção” para alcançar “resultados da construção”. A etapa em que um projeto está em termos do seu ciclo de vida é o que caracteriza um processo da construção. As “unidades da construção” são agregadas em “complexos da construção” e são compostas por “elementos da construção” em vários níveis de complexidade. Os “recursos da construção” são produtos, agentes, ações de apoio e informações. Todos os objetos da construção possuem propriedades, sendo estas representadas como atributos nas informações da construção (ABNT, 2018a).

A Figura 35 apresenta o modelo de processo descrito no parágrafo acima. A linha espessa com um círculo representa uma relação “tipo de” e as outras linhas representam outros tipos de relação, descritos em cada ponto.

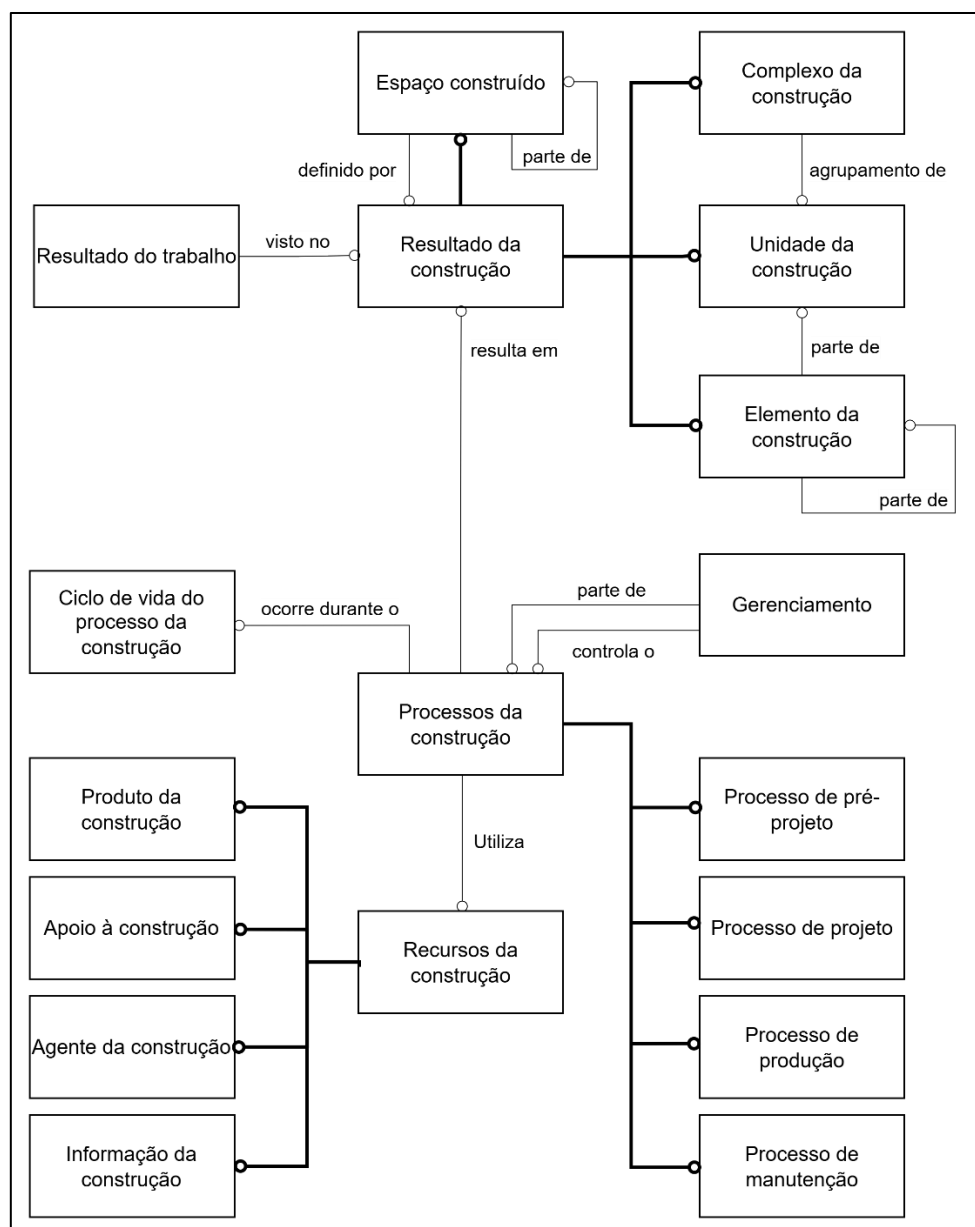


Figura 35: classes e suas relações gerais. Fonte: Adaptado de ABNT (2018a).

Cada classe pode receber subclasses em quantidade variada de níveis de especialização. A classificação “tipo de” organiza a relação entre classes e subclasses, onde cada classe mais específica é um tipo de classe mais geral. As classes mais gerais podem receber propriedades comuns à toda coleção de itens, que podem ser mais especializadas em vários degraus com base nas diferentes propriedades pertinentes (ABNT, 2018a).

Outra forma de organizar a informação são os sistemas e a estrutura de composição “parte de”. Todo sistema pode ser dividido em subsistemas em diferentes níveis de composição, permitindo a manipulação de projetos complexos em partes menores. Um objeto pode ser definido como uma “parte

de” algo, se “quando adicionado a um todo, o todo se mantiver”. Por exemplo, se um tijolo for adicionado a um sistema de paredes, o todo ainda é um sistema de paredes (ABNT, 2018a).

As partes podem ser interpretadas a depender do contexto analisado. No sentido funcional, a função de uma parte é essencial para o todo. No aspecto espacial, uma parte está incluída no todo. Do ponto de vista da montagem, a relação significa que a existência de uma parte física precede a existência do todo (ABNT, 2018a).

Os membros de cada classe possuem propriedades que podem ser usadas na definição e subdivisão das classes, aumentando o detalhamento. Propriedades são objetos por si só, devendo ser tratadas como uma classe que permeia resultados, processos e recursos (ABNT, 2018a).

Tomando como exemplo os “Elementos da construção” elencados por função, algumas classes são: sistema de construção de piso; sistema de construção de paredes; sistema de suprimento de água; sistema de transportes. Agora, tendo como exemplo ainda os Elementos da construção, mas elencados por posicionamento e forma, temos: fundações (estaca, alvenaria de embasamento), estrutura (pavimento de rodovia, vigas, lajes) (ABNT, 2018a).

Já as classes de Propriedades da construção podem ser divididas por tipo de propriedade, por exemplo: propriedades físicas e funcionais (desempenho estrutural; desempenho térmico), propriedades físicas e especiais e temporais (forma, tamanho, tempo), propriedades culturais e administrativas (nome, estilo, preço, metadados) (ABNT, 2018a).

Diversos sistemas de classificação são baseados nas premissas estruturadas pela ISO 12006-2. O próprio IFC, como citado anteriormente, tem suas hierarquias e formas de classificação relacionados com a mesma ISO. No contexto brasileiro, a NBR 15965-1 define a terminologia, princípios do sistema de classificação e os grupos de classificação para o planejamento, projeto, gerenciamento, obra, operação e manutenção de empreendimentos da construção civil. Tem em seu escopo, o objetivo de se estender à outras normas que apliquem conceitos relacionados à Modelagem da Informação da Construção (BIM) (ABNT, 2011b).

Segundo a NBR 15965-1 (2011b), a tecnologia BIM necessita de um sistema normatizado de classificação para embasar os projetos de empreendimentos na indústria brasileira de AEC, visando terminologias e parâmetros unificados e aplicados por todos; ampliar a cooperação e comunicação na cadeia produtiva; facilitar a interoperabilidade de diversos sistemas de dados; aumentar a produtividade e qualidade dos serviços; e facilitar a operação e gestão da logística da construção.

Como descrito anteriormente, a ISO 12006-2 apresenta seis grandes classes da construção: espaços, resultados, processos, recursos, propriedades e informações. Tais classes são aplicadas pela NBR 15965 em tabelas, organizadas em seis grupos:

- Grupo 0 – características dos objetos da construção
 - 0M – Materiais da construção
 - 0P – Propriedades da construção
- Grupo 1 – processos da construção
 - 1F – Fases da construção
 - 1S – Serviços da construção
 - 1D – Disciplinas da construção
- Grupo 2 – recursos da construção
 - 2N – Função da construção
 - 2Q – Equipamento da construção
 - 2C – Produtos da construção
- Grupo 3 – resultados da construção
 - 3E – Elementos da construção
 - 3R – Resultados de serviços da construção
- Grupo 4 – unidades e espaços da construção
 - 4U – Unidades da construção
 - 4A – Espaços da construção
- Grupo 5 – informações da construção
 - 5I – Informações da construção

A partir disso, define-se uma estrutura de identificadores para cada item das tabelas, compostos pelo nome da tabela (0M, 2C, 4A etc.), seguidos de seis

níveis de especialização, cada nível composto por dois dígitos, de 00 até 99, sendo “99” reservado para a entrada “outros”. Nas tabelas, os níveis de especialização são itemizados de maneira não sequenciada, permitindo a inserção posterior de novos itens. Como exemplo, na tabela 2C da NBR 15965-4, para localizarmos um elemento de galeria de águas pluviais, temos a seguinte hierarquia:

- 2C 02 00 00 00 00 00 – Produtos relacionados ao terreno
- 2C 02 22 00 00 00 00 – Pavimentação
- 2C 02 22 18 00 00 00 – Drenagem do pavimento
- 2C 02 22 18 02 00 00 – Galeria

Um item da construção pode receber mais de um identificador. A Figura 36 apresenta uma relação esquemática entre as diferentes tabelas da NBR 15965.

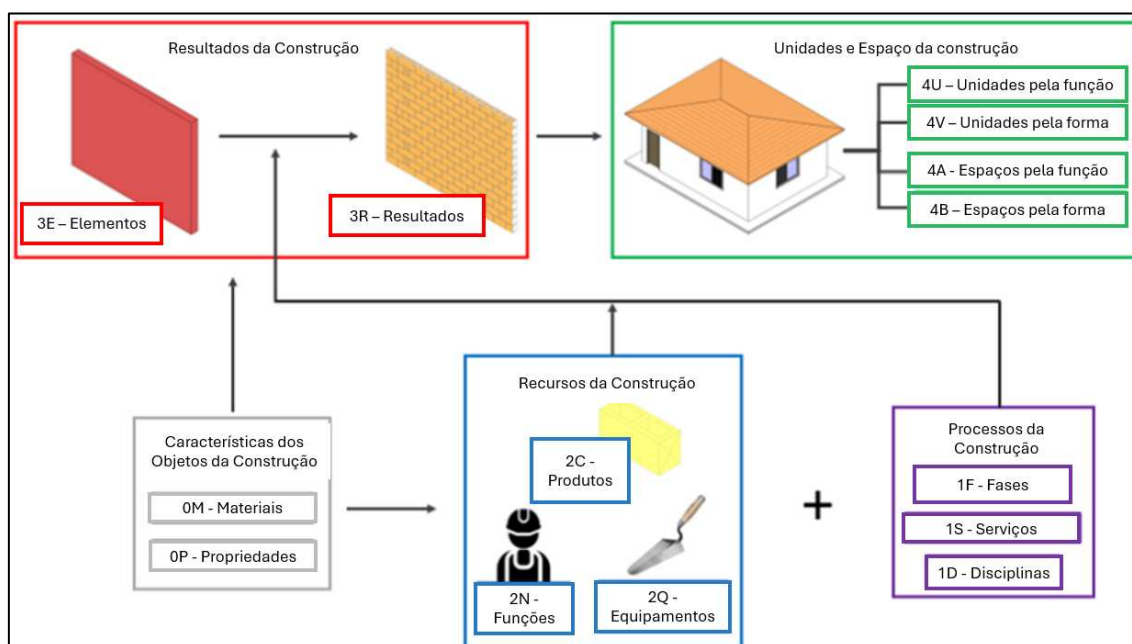


Figura 36: exemplos de relações entre os temas e as tabelas do sistema de classificação. Fonte: ABNT NBR 15965-4 (2021).

Ao se elaborar Objetos BIM, tanto as classificações conforme o padrão IFC como a classificação a partir de outros sistemas como o da NBR 15965 serão relevantes e complementares, assim como outros sistemas de classificação podem cumprir papéis importantes em seus contextos.

Outros aspectos importantes no que diz respeito à criação de Objetos BIM podem ser observados quando se idealiza a criação de um conjunto de objetos, com objetivo de se produzir uma “biblioteca de objetos”. Para tal, observa-se a ABNT NBR ISO 16354: Diretrizes para as bibliotecas de conhecimento e biblioteca de objetos.

A NBR ISO 16354 tem como escopo distinguir as categorias de bibliotecas de conhecimento e estabelecer as bases para estruturas uniformes e conteúdo destas bibliotecas, assim como a uniformização do seu uso. Seu objetivo é categorizar as bibliotecas de conhecimento e bibliotecas de objetos, fornecendo recomendações para a criação destas. Segundo a norma, as bibliotecas que estão em conformidade com as diretrizes estabelecidas por ela podem ser mais facilmente vinculadas ou integradas a outras bibliotecas (ABNT, 2018b).

O conjunto de bibliotecas produzidas nas diversas áreas do conhecimento carecem de uma metodologia comum. Com esta ausência, a integração entre bibliotecas se torna dificultosa ou impraticável. Quase todas as formas de aplicação das bibliotecas de conhecimento aumentam seu valor conforme aumenta sua capacidade de integração e harmonização (ABNT, 2018b). Uma forma de solucionar este problema é o uso de um dicionário comum e taxonomia, vinculando bibliotecas.

A NBR ISO 16354 se propõe a criar diretrizes para a elaboração das bibliotecas do conhecimento, assumindo que diretrizes claras sejam ferramentas concretas para suportar a criação destas bibliotecas. No item 6.2 da norma referida, apresenta-se a definição de “biblioteca de conhecimento” e exemplificam-se alguns tipos. Tais informações serão interpretadas nos parágrafos seguintes.

Uma biblioteca de conhecimento é “uma coleção de modelos de conhecimento e/ou modelos de requisitos, que expressam o conhecimento (podendo incluir definições) e/ou requisitos sobre tipos de coisas (conceitos)”. Sua gestão é feita de forma eletrônica, com modelos de informação. A partir deste conhecimento, é possível criar, categorizar e verificar informações sobre coisas individuais. Os conceitos são como âncoras, bases a partir das quais pode-se expressar requisitos sobre eles (ABNT, 2018b).

Faz-se uma distinção entre classes ou conceitos e coisas individuais. “Minha cadeira” é uma coisa individual, enquanto “cadeira” é uma classe. Uma classe ou conceito abrange características comuns a uma série de coisas individuais. (ABNT, 2018b). “Soluções Baseadas na Natureza” são uma classe, enquanto o “Jardim de Chuva #2352” é uma coisa individual (“#2352” é utilizado como um exemplo de identificador individual de um elemento).

A forma de representar uma biblioteca de conhecimento também é uma característica central. Sua expressão deve ser feita sob uma estrutura de dados, que pode ser chamada de modelo de dados. Tais modelos podem ser vistos como uma rede de coisas relacionadas, onde “nós” representam conceitos e vértices representam relacionamentos. Os conceitos, se organizados em uma hierarquia de subtipos e supertipos, serão denominados de taxonomia (ABNT, 2018b).

Alguns tipos de bibliotecas de conhecimento descritos na NBR ISO 16354 são:

- **Catálogos de produtos:** bibliotecas de objetos criadas para aplicações específicos em um determinado contexto. A maioria dos catálogos são usados para apoiar a seleção e compra de itens. Os modelos utilizados em catálogos de produto geralmente incluem apenas a informação necessária para sua seleção e compra;
- **Biblioteca de requisitos de dados do produto:** para preencher um catálogo de produtos, é necessário especificar os requisitos da informação para todos os tipos de produtos ou itens que serão incluídos no catálogo. Uma opção para isso é criar uma biblioteca de objetos de modelos de requisito. Tal ferramenta pode ser apresentada como uma folha de especificação ou folha de dados, onde se descreve quais aspectos podem ou devem ser preenchidos. Uma coleção de vários modelos de requisitos para os tipos de produto compõe uma biblioteca de *templates* (modelos);
- **Biblioteca de projetos:** uma biblioteca de projetos é preenchida com conhecimentos sobre os tipos de objetos a partir dos quais uma organização deseja criar partes. O catálogo de produtos não

tem a finalidade de descrever como um produto é feito, portanto a partir do produto é que se descreve uma biblioteca de projetos, com finalidade de constituir sua montagem, ou partes para compra. Uma biblioteca de projetos tem seu foco na fase de criação e montagem de um produto;

- **Dicionários inteligentes:** são bibliotecas de integração, focados em fornecer uma terminologia e linguagem comum para diversos sistemas, contendo definições comuns e com um propósito explicativo. Seu foco é a descrição do significado dos objetos. São constituídos de modelos que incluem definições e relações de especialização entre objetos;
- **Sistemas de classificação:** criados para a harmonização da terminologia e descrição de contexto. Se caracterizam pela coleção de objetos com base nas suas características. São direcionadas para a classificação de objetos em uma aplicação específica.

Além dos tipos de bibliotecas, a NBR ISO 16354 define uma estrutura funcional para as bibliotecas do conhecimento. Tal estrutura é base para a elaboração de qualquer tipo de biblioteca. São seis as unidades funcionais: Vocabulário, Dicionário, Taxonomia, Modelos de aspecto, Modelos de composição e Modelos de coleção (ABNT, 2018b).

A primeira função analisada de uma biblioteca de conhecimento é gerar nomes de conceitos, que podem ser chamados de um Vocabulário, Glossário ou Nomenclatura. Esta unidade funcional trata de como as palavras ou frases são escritas em um determinado idioma (ABNT, 2018b).

A segunda função para uma biblioteca de conhecimento é gerar definições de conceitos com um Dicionário. A partir de Vocabulários, utiliza-se nomes compostos, termos ou frases para descrever o significado daquele vocábulo, uma descrição que define seu conceito através de linguagem natural, podendo relacionar outros conceitos como parte das definições (ABNT, 2018b).

A terceira função descrita é a de Taxonomia. Nesta função, o foco é na relação entre os diversos elementos de um vocabulário. A principal definição de relação é a relação de especialização, onde um conceito é um subtipo e o outro

é o supertipo. Nesses termos, uma taxonomia é uma hierarquia de conceitos, composta por múltiplas relações de especialização, onde um supertipo é mais genérico que seus subtipos. As taxonomias podem ser estruturadas como monoparental (pai-filho) ou multiparental (múltiplos pais), onde cada conceito tem apenas um supertipo ou mais de um, respectivamente (ABNT, 2018b).

A quarta parte funcional consiste em Modelos de Aspectos. Esta unidade inclui aspectos que descrevem tipos de objetos em detalhes, podendo incluir todos os valores de aspectos de um certo objeto ou apenas os aspectos que são requisitos na perspectiva de um determinado uso da informação. Comumente utilizados em catálogos de produto. Um modelo de aspecto poderia ser uma folha de especificação padrão de produtos, que quando preenchida por um determinado fornecedor se torna um catálogo (ABNT, 2018b).

A quinta unidade funcional são os Modelos de Composição, onde se descreve a composição específica dos objetos como uma montagem, os aspectos dessa montagem e a características dos seus componentes. É uma extensão dos modelos de aspecto, sendo que a principal diferença está no fato de que os modelos de composição também suportam a modelagem da configuração de produto. No modelo de aspecto, todas as partes são especificadas como se fossem aspectos do todo, enquanto o modelo de composição possui a descrição de todas as partes separadamente. Poderia se dizer que um modelo de composição é composto por modelos de aspecto de cada uma de suas partes, podendo incluir ainda suas relações de conexão (ABNT, 2018b).

A sexta e última unidade funcional é chamada de Coleções. Sua função principal é ser um agrupamento de objetos que aparecem em outras unidades funcionais, permitindo a definição de “vistas” de partes da informação sobre o objeto (ABNT, 2018b).

As estruturas funcionais, bem como os tipos de bibliotecas apresentados, definidos e explicados pela NBR ISO 16354 são parte da base teórica que dá suporte ao desenvolvimento da metodologia desta pesquisa.

Em um contexto mais específico, a família de normas ISO 16757, sob título geral de “Estruturas de dados para catálogos eletrônicos de produtos para

sistemas prediais”, possui atualmente duas partes publicadas e três em planejamento. As duas primeiras partes já contam com tradução para o português, sob títulos: “Parte 1: Conceitos, arquitetura e modelo” e “Parte 2: Geometria”. As partes 3, 4 e 5 planejadas tem respectivamente os seguintes títulos em inglês: “*Script language and functions*”, “*Cooperation with Building information modelling standards*” e “*Product catalogue Exchange format*”.

As normas ISO 16757 não serão exploradas afundo neste trabalho por tratarem especificamente de sistemas prediais. A aplicação, descrita nas partes 1 e 2, trata diretamente do contexto de empresas de *software*, fornecendo a estrutura de dados para catálogo eletrônico de produtos, incluindo um metamodelo para a especificação de classes e suas propriedades e um metamodelo para os dados do produto que são trocados em um catálogo de produtos. Apesar disso, destaca-se a Figura 37, onde é possível observar o contexto de atuação da norma dentro do panorama maior de Modelagem da Informação da Construção.

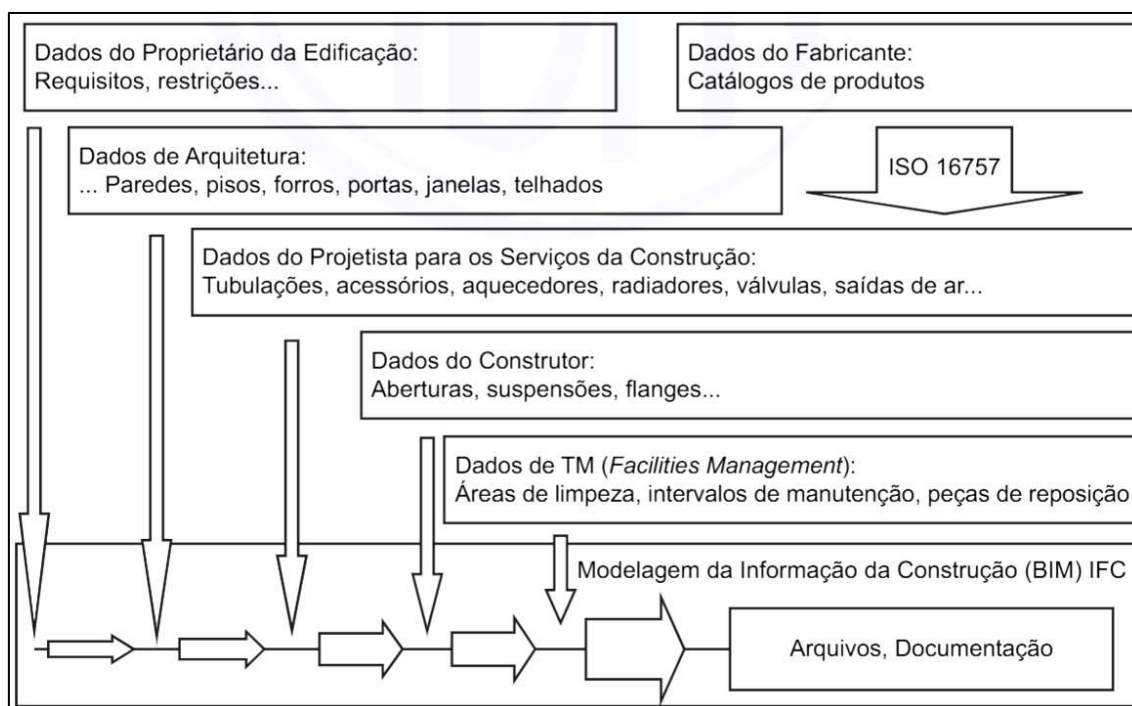


Figura 37: integração da NBR ISO 16757 no BIM. Fonte: ABNT (2018b).

Após o panorama de normas, será analisada a contribuição do Guia de Objetos BIM para a Indústria de Materiais de Construção, elaborado pelo BIM Fórum Brasil. Segundo o Guia, Objetos BIM são objetos virtuais que representam

os produtos utilizados no setor da construção, dando suporte à elaboração de modelos BIM (BFB, 2024b).

Os objetos BIM agregam informação para reproduzir digitalmente a geometria tridimensional do produto e suas características técnicas e funcionais, de forma estruturada e padronizada para que os *softwares* do setor AEC e FM possam interpretá-las e usá-las de forma inteligente para diversas finalidades (BFB, 2024b). Segundo o Guia (2024b), isso permite que tanto usuários quanto computadores possam: identificar a função de um objeto BIM; interpretar como um objeto se relaciona com os demais objetos de um modelo; interpretar a interligação topológica entre objetos BIM; reconhecer a forma geométrica do produto representado; e interpretar a informação das propriedades que o descrevem.

O Guia (2024b) descreve cinco etapas para o desenvolvimento de Objetos BIM. A primeira etapa consiste em planejar qual será a abordagem de desenvolvimento e quais produtos serão incluídos no catálogo. A segunda etapa é de especificação dos usos aplicáveis e requisitos de informação correspondentes. A terceira etapa é de produção dos objetos BIM de acordo com a especificação definida. A quarta etapa busca a validação da qualidade e funcionalidade dos objetos produzidos. Por fim, a quinta etapa consiste em disponibilizar a biblioteca de objetos ao mercado e gerenciar sua manutenção.

Na etapa de planejamento de um Objeto BIM, é relevante o entendimento de esforços de trabalho necessários para tal, mas sobretudo a definição das estratégias dos passos seguinte e de quais produtos ou linhas de produtos serão incluídos na biblioteca (BFB, 2024b).

A etapa de especificação dos requisitos de informação, é necessário ter uma visão consolidada de quais os usos esperados. Nem todas as informações inseridas em objetos BIM são consumidas da mesma forma por profissionais do setor AEC, visto que cada um tem uma finalidade. Embora algumas informações sejam comuns para diversos usos ao longo do ciclo de vida, outras são úteis apenas em alguns casos. De maneira geral, pode-se dividir um objeto entre informações geométricas e não geométricas (BFB, 2024b).

Ainda na etapa de especificação de requisitos, o Guia (2024b) destaca que um objeto BIM não substitui o catálogo de um produto, sendo que as informações descritivas (não geométricas) inseridas em um objeto devem se restringir àquelas efetivamente consumidas digitalmente no processo que será aplicado. Já em termos de geometria, o objeto deve ser representativo o suficiente para atender o uso pretendido apenas, sem o refinamento de um modelo 3D de fabricação por exemplo. A Figura 38 resume a estruturação dos requisitos.



Figura 38: etapas para a especificação de objetos BIM. Fonte: BFB (2024b).

Dentro das informações não geométricas, destaca-se especialmente o campo de classificação, essencial para a interoperabilidade. A Figura 39 apresenta um exemplo de objeto BIM classificado conforme o padrão interno do *software*, conforme o esquema IFC e conforma a NBR 15965.



Figura 39: exemplos de classificação de um objeto BIM. Fonte: BFB (2024b).

A constituição do objeto BIM é dada pelas propriedades. Para serem interpretadas adequadamente, é necessário que sejam padronizadas e possuam valores definidos com tipos de dados compatíveis com sua finalidade. Ao especificar uma propriedade, deve-se definir seu nome, valor nominal, tipo de dado e unidade de medida quando necessário. Assim como na classificação, é essencial que as propriedades estejam diretamente relacionadas ao esquema IFC, que já contempla uma vasta coleção de conjuntos de propriedades e quantidades predefinidas para cada tipo de objeto (ABNT, 2023; BFB, 2024b).

O comportamento paramétrico de um objeto permite sua configuração conforme regras paramétricas vinculadas a variantes de produto, permitindo agrupar uma série de produtos semelhantes. Com isso, certas características de um produto podem ser reguladas de forma automática com base em outras características fornecidas (BFB, 2024b).

A produção de um objeto BIM é necessariamente direcionada a um *software* de autoria de projetos. Cada *software* possui um formato de arquivo e uma estrutura própria para gerenciar informações, de forma que a interoperabilidade deve ser considerada em todas as etapas do processo para que um objeto BIM possa ser corretamente classificado e interpretado em diversos *softwares* sem perda de informação (BFB, 2024b).

Para validação dos objetos produzidos, o Guia (2024b) apresenta quatro critérios de avaliação:

- Conformidade: o objeto contém as informações previstas em sua especificação?

- Funcionalidade: o objeto possui o comportamento funcional previsto em sua especificação?
- Uniformidade: o objeto segue o padrão de qualidade dos demais objetos da biblioteca?
- Eficiência: o objeto atende com eficiência os propósitos de uso previstos para sua aplicação?

Com um objeto planejado, desenvolvido e validado, pode-se disponibilizá-los através de plataformas proprietárias, *websites* ou portais na internet. Uma opção é a Biblioteca Nacional BIM (BFB, 2024b).

Em uma aplicação prática de biblioteca de objetos BIM, Manchado et al. (2025) desenvolveram uma biblioteca BIM para projeto de Soluções Baseadas na Natureza (SBN). A biblioteca foi elaborada como parte de uma nova metodologia para melhorar a aplicação de soluções híbridas de drenagem urbana, integrando soluções cinzas, convencionais, com soluções verdes como as SBN.

Manchado et al. (2025) iniciaram o desenvolvimento da biblioteca de SBN com a catalogação das soluções, descrevendo seus usos primários, sua aplicação, locações possíveis, escala, benefícios e considerações de projeto. Em conjunto com esse catálogo, planilhas de projeto foram propostas como ferramentas computacionais para o dimensionamento das diferentes soluções de gestão de águas pluviais, baseadas em condições específicas de um terreno. Com apoio dessas ferramentas de cálculo, é requerido do usuário a incorporação das principais características do local, a partir das quais se calcula o tamanho apropriado da intervenção para treze diferentes técnicas.

Com objetivo final de automatizar a criação de diferentes objetos BIM a partir de planilhas de cálculo, Manchado et al. (2025) propuseram famílias iniciais para as SBN, cada uma delas com diferentes geometrias, restrições geométricas, materiais e parâmetros. O *software* Revit foi a ferramenta de autoria escolhida com base na sua capacidade de modelagem paramétrica, parâmetros internos, interoperabilidade e disponibilidade de API (Interface de Programação de Aplicações) de desenvolvimento.

Em termos de restrições para a criação dos objetos BIM para SBN, pode-se observar: cada objeto deve conter camadas específicas com materiais associados, assim como uma variedade de propriedades relacionadas com parâmetros dependendo da técnica; as técnicas podem ser elementos lineares ou elementos superficiais, cobrindo uma certa área; algumas técnicas podem incluir elementos adicionais, como tubulações e elementos de drenagem em camadas específicas (MANCHADO et al., 2025). A Figura 40 apresenta três imagens de um dos objetos BIM elaborados pelos autores do artigo citado.

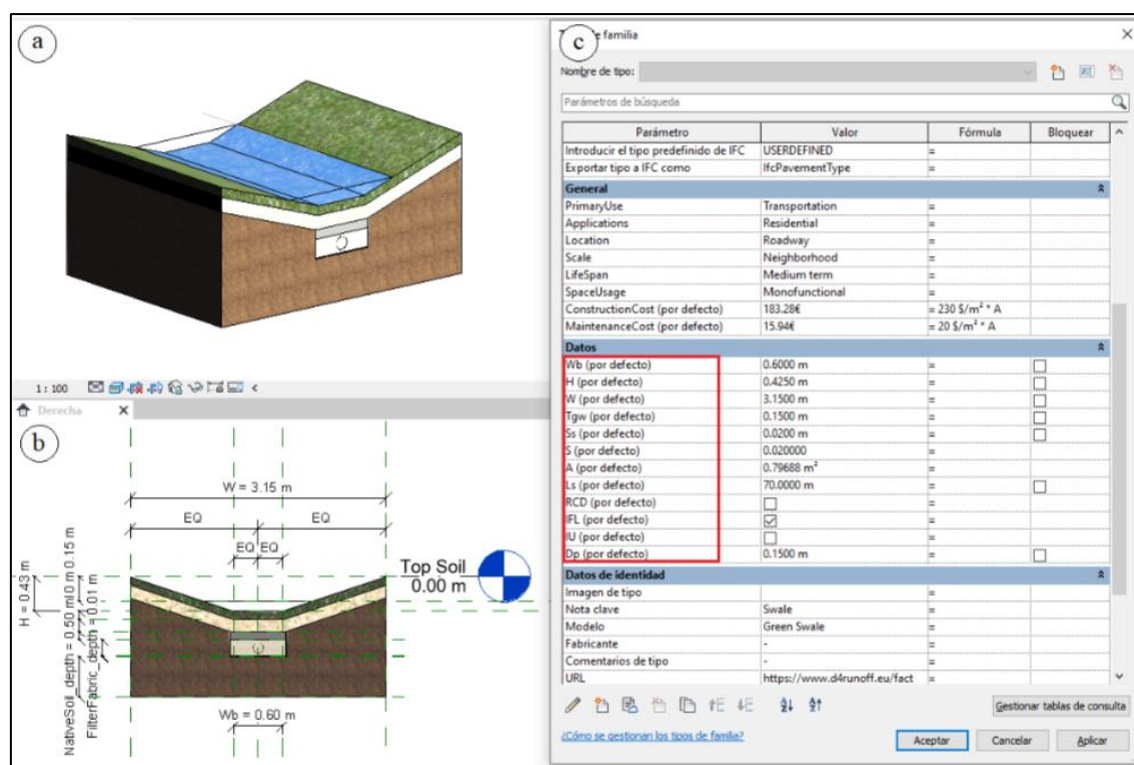


Figura 40: familia básica de vala vegetada. (a) vista 3D. (b) seção transversal com as restrições geométricas. (c) conjuntos de propriedades. Fonte: Manchado et al. (2025).

Os autores destacam que a classificação IFC dos elementos foi feita para o Tipo IFC *IfcPavementType*, com Tipo Predefinido *USERDEFINED*, conforme versão 4.3 (ISO 16739:2024). Tal escolha foi feita de forma preliminar e ainda era objeto de estudo (MANCHADO et al., 2025).

Após elaborar objetos iniciais, Manchado et al. (2025) prosseguem com a elaboração de um *plugin* para Revit dedicado ao dimensionamento dos objetos a partir de planilhas de cálculo elaboradas paralelamente. De maneira geral, o *plugin* opera recebendo os dados de projeto do usuário através de uma interface desenvolvida com a API .NET e linguagem C#. Na interface criada, é possível

selecionar a planilha de cálculo correspondente, testar os valores de entrada até que o resultado do dimensionamento seja considerado suficiente para após inserir o elemento dimensionado no projeto (MANCHADO et al., 2025).

Ainda no trabalho de Manchado et al. (2025), os autores obtiveram como resultado 22 objetos BIM criados no *software* Revit. Dentro do Revit foram utilizadas categorias diversas, com aplicação hospedada em outros elementos ou não. Alguns elementos foram criados em objetos únicos, como as bacias de retenção e *wetlands*, enquanto outros foram criados em camadas separadas, como as valas vegetadas. Em geral os parâmetros de dimensionamento foram obtidos a partir das planilhas de cálculo, mas diversos parâmetros internos às famílias precisaram ser criados para que o controle da geometria paramétrica fosse possível, conforme reproduzido na Figura 41.

NbS object	Size	Constraints	Boolean	Layers
01.Bioretention area	12	22	0	6
02.Detention basin	13	14	1	4
03.Filter strip	7	7	0	3
04.Green roof	11	7	0	6
05.Infiltration basin	11	21	2	4
06.Dry well	9	10	2	6
07.Infiltration trench	10	9	1	6
08.Permeable pavement	9	9	2	5
09.Retention pond	13	14	1	4
10.Filter drain	11	7	2	5
11.Grassed swale	8	3	1	5
12.Rain Garden	12	21	1	6
13.Wetland	23	17	1	4

Figura 41: parâmetros incluídos em cada técnica, dedicados ao tamanho, restrições, booleanos e de camadas. Fonte: Adaptado de Manchado et al. (2025).

4.10 BIM como ferramenta para análises ambientais

Neste item, discute-se seis trabalhos encontrados na revisão bibliográfica que apresentam metodologias, temas ou estratégias relevantes e contribuidoras para a construção da pesquisa em andamento.

No trabalho intitulado “Otimização da Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) integrada à Modelagem da Informação da Construção (BIM): Proposta de método para tomada de decisão em estudos preliminares de infraestrutura viária urbana”, Crippa (2024) teve como objetivos: Identificar métodos que utilizem otimização para tomada de decisão na Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV); identificar métodos que utilizem otimização em projetos de infraestrutura baseados na Modelagem da Informação da Construção (BIM); e propor um método de otimização de ASCV integrado com BIM como ferramenta de tomada de decisão para a concepção de traçados de corredores urbanos.

Crippa (2024) identifica como lacuna científica a aplicação conjunta de “Otimização”, “ASCV” e “BIM”. A metodologia de pesquisa é baseada na *Design Science Research* (DSR), integrando ASCV, BIM e Pesquisa Operacional (PO). De maneira geral, a Tese desenvolve uma aplicação prática para BIM voltado a uma temática externa (ASCV), utilizando a mensuração de impactos relativos à construção de rodovias como condicionantes para uma escolha de projeto em momentos iniciais de desenvolvimentos das soluções de infraestrutura.

No trabalho “*Implementation Trends for Rainwater-Harvesting Technologies and Strategies and Their Relationship with Building Information Modeling*”, Langar e Pearce (2017) discutem a correlação entre aplicações de tecnologias e estratégias de armazenamento de água de chuva (RwHTS) em projetos e a aplicação de BIM em projetos, estudando ambas as implementações em escritórios de projeto de Arquitetura dos Estados Unidos.

Diversas técnicas construtivas são avaliadas por Langar e Pearce (2017), sendo que todas são tipos de SBN identificados no Item 4.5 deste documento. A saber: bacia de retenção, armazenamento de água de chuva, pavimentos permeáveis, biovaletas, jardim de chuva, telhado verde, alagados construídos. Em diferentes escalas, todas são aplicadas entre os escritórios de projeto entrevistados pelos autores. Já em termos de implementação de BIM, os maiores usos, em ordem decrescente de ocorrência entre os entrevistados, são: visualização, apresentações iniciais, desenhos de projeto, detecção de interferências, construtibilidade, restauração e renovação, design sustentável, LEED, entre outras.

Há uma correlação moderada entre a aplicação de RwHTS e BIM, indicando como possibilidade o caráter inovativo de ambas. O artigo conclui que a aplicação de inovações tem correlação maior com o porte das empresas do que com sua experiência de mercado (LANGAR; PEARCE, 2017).

Em outra pesquisa, voltada a ferramentas de projeto para SBN, Petscheck et al. (2024) tiveram como principal objetivo desenvolver e demonstrar uma estrutura de implementação e análise que integre BIM com modelos hidrológicos/hidráulicos, visando apoiar o planejamento e otimização de Soluções Baseadas na Natureza (NBS) em projetos de paisagismo sustentável.

Foi feita a integração do software de modelagem BIM Autodesk InfraWorks com o modelo hidrológico/hidráulico PCSWMM, um sistema orientado a processos e amplamente utilizado para o planejamento de drenagem urbana. O modelo de estudo envolveu a inserção virtual de um edifício escolar em um terreno adjacente ao Parque Metro, onde foram simulados sete cenários de intervenção de SBN, combinando diferentes soluções como jardins de chuva, pavimentação permeável, lagoas de retenção e telhados verdes. As simulações hidrológicas consideraram chuvas de projeto com tempos de retorno de 2, 5 e 100 anos, permitindo avaliar o desempenho das NBS na gestão sustentável do escoamento superficial (PETSCHKEK et al., 2024).

Os resultados indicaram que a combinação de diversas SBN — como jardins de chuva com drenagem subterrânea, pavimentação permeável e telhados verdes — foi altamente eficaz na gestão do escoamento do terreno teórico, evitando riscos de alagamento mesmo sob eventos pluviométricos extremos, como as chuvas com período de retorno de 100 anos (PETSCHKEK et al., 2024).

Petschek et al. (2024) sugerem que futuras investigações devem focar no aperfeiçoamento da interoperabilidade entre as ferramentas BIM e os modelos hidrológicos, com destaque para o avanço na adoção do padrão IFC 4.3, que pode facilitar a troca de dados entre softwares. Além disso, propõem a ampliação da escala dos estudos, aplicando a metodologia para o planejamento regional de SBN e avaliação de serviços ecossistêmicos, especialmente em regiões

urbanas sujeitas a expansão desordenada e vulneráveis a eventos hidrometeorológicos extremos.

Ali, Ersoy e Seçkin (2016) tiveram como objetivo desenvolver um plugin para o *software Rhinoceros*, capaz de estimar e relatar o escoamento superficial pluvial em áreas urbanas, utilizando o Método do Número de Curva (CN). A proposta visa facilitar o cálculo do escoamento hídrico, automatizando o processo e oferecendo uma ferramenta de suporte à decisão para arquitetos e urbanistas, promovendo práticas sustentáveis. O *plugin* foi desenvolvido com *Rhinoceros* e *Grasshopper*, utilizando informações de uso do solo, grupos hidrológicos de solo, e dados pluviométricos. A metodologia seguiu quatro etapas: revisão bibliográfica, desenvolvimento do *plugin*, aplicação em estudo de caso na região de *Levent*, em Istambul, e avaliação da precisão comparando os resultados do plugin com os cálculos convencionais.

Os resultados mostraram que o *plugin* foi preciso, produzindo valores idênticos aos cálculos tradicionais. Além disso, a simulação de um cenário com telhados verdes indicou redução de 6,38% no escoamento, demonstrando o potencial do *plugin* como ferramenta para avaliar alternativas de projeto e estratégias de mitigação de enchentes. Os autores sugerem aprimorar o *plugin* para gerar modelos tridimensionais, gráficos estatísticos e visualizações mais completas, ampliando sua aplicabilidade no processo de projeto e planejamento urbano (ALI ÖRNEK; ERSOY; SEÇKIN, 2016).

Um estudo voltado ao LIM buscou avaliar quantitativamente sua eficácia combinada com o método *Stable Diffusion* (SD) para apoiar o design ecológico de paisagens (EEL) em um projeto experimental de um pântano fluvial urbano. O objetivo foi analisar se essa metodologia melhora a produtividade e a qualidade do design, além de investigar diferenças de desempenho entre estudantes com diferentes níveis de formação em design (HUANG; LI, 2023).

A pesquisa de Huang e Li (2023) envolveu 30 estudantes de três perfis: pós-graduandos em design industrial (ID), graduandos (UG) e pós-graduandos (PG) em arquitetura paisagística. Os participantes desenvolveram modelos 3D e renderizações de um projeto de pântano urbano usando ferramentas LIM-SD, seguindo critérios específicos de projeto. A qualidade dos designs foi avaliada

por especialistas em quatro aspectos (adequação ao local, estética, arranjo espacial e engenharia ecológica), complementada por análises paramétricas automatizadas e questionários sobre a experiência dos participantes.

Os resultados mostraram que a abordagem LIM-SD melhorou a produtividade e permitiu a geração de designs de qualidade. Os autores recomendam aprimorar a integração entre LIM e SD, especialmente no controle das renderizações e na geração automática de modelos detalhados. Futuras investigações podem explorar o uso de realidade aumentada, virtual e mista para aprimorar a visualização e colaboração em projetos de EEL, além de testar a metodologia em outras plataformas digitais e simular condições extremas, como enchentes, para avaliar a resiliência dos projetos (HUANG; LI, 2023).

Campos-Delgado et al. (2023) estudam cenários de desenvolvimento urbano para uma microbacia com o intuito de avaliar os impactos da urbanização sobre o escoamento superficial e o risco de inundações. Buscou-se incorporar princípios ecohidrológicos no planejamento urbano, propondo alternativas sustentáveis que conciliem alta densidade populacional com manutenção da infiltração de água no solo.

A metodologia baseou-se na modelagem de três cenários urbanos — situação atual (não urbanizada), alta densidade urbana e alta densidade com áreas verdes. Utilizou-se o método racional para estimar o escoamento superficial em diferentes períodos de retorno (2, 5, 10 e 25 anos). Os cálculos consideraram coeficientes de escoamento, tempo de concentração e intensidades pluviométricas específicas, e foram complementados por modelagens digitais tridimensionais com o *software Rhinoceros*. A área da microbacia foi analisada quanto à permeabilidade do solo e à proporção de superfícies verdes e impermeáveis em cada cenário (CAMPOS-DELGADO et al., 2023).

Os resultados de Campos-Delgado et al. (2023) demonstraram que a urbanização com alta densidade e ausência de áreas verdes apresentou os maiores coeficientes de escoamento e maior risco de inundações. Por outro lado, o cenário de alta densidade com áreas verdes se destacou por conciliar alto aproveitamento construtivo com significativa redução do escoamento superficial,

aproximando-se dos valores da situação atual. Concluiu-se que estratégias de planejamento urbano que integrem superfícies permeáveis, telhados verdes e vegetação adequada podem mitigar riscos hidrológicos e favorecer a sustentabilidade sem comprometer a viabilidade econômica do uso do solo.

Como próximos passos, os autores sugerem aprofundar o uso de dados locais sobre precipitação e infiltração, além de estudar o impacto real das coberturas vegetais específicas no controle do escoamento. Também recomendam a integração desses parâmetros hidrológicos nos marcos legais e regulatórios do desenvolvimento urbano. Pesquisas futuras podem explorar a implementação de tecnologias ecohidrológicas em contextos semelhantes e avaliar sua eficácia em longo prazo frente às mudanças climáticas (CAMPOS-DELGADO et al., 2023).

5 Metodologia

As ferramentas de trabalho utilizadas para o desenvolvimento da pesquisa devem ser adequadas a seus fins. Aqui, a pesquisa objetiva a criação de ferramentas para um determinado problema, bem como a sua avaliação e validação no contexto da realidade para o qual foram desenvolvidas. A metodologia de *Design Science Research* (DSR) foi adotada como caminho para embasar os processos de elaboração da pesquisa. No item 5.2 os princípios da DSR que foram aplicados nessa pesquisa serão objetivamente apresentados e estarão presentes, de forma implícita ou explícita, nos demais itens metodológicos.

5.1 Padronização para Diagramas de Processo

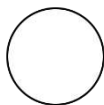

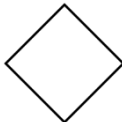




A elaboração da pesquisa demandou ferramentas de representação gráfica para uma padronização adequada da comunicação a ser feita. Para isso, utilizaram-se padrões abertos específicos para manutenção da integridade do material produzido e seu amplo entendimento.



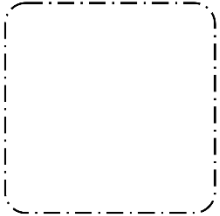
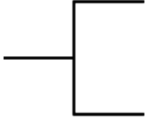
Para os diagramas de processo, o padrão utilizado foi o *Business Process Model Notation* (BPMN). O objetivo do BPMN é prover uma notação inteligível por todos os usuários, dos responsáveis pela criação de processos até os técnicos e desenvolvedores responsáveis por sua implementação. O BPMN cria

uma ponte padronizada para unir a criação e a implementação dos processos. Além disso, permite a interpretação dos processos na linguagem XML, permitindo sua interpretação por sistemas de computador (OMG, 2010).

O Quadro 3 apresenta os principais elementos BPMN utilizados nos diagramas de processo que serão apresentados posteriormente.

Quadro 3: Elementos gerais da notação BPMN.


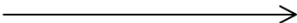
Elemento	Descrição	Notação
Evento	Um Evento é algo que "acontece" durante o curso de um Processo. Esses Eventos afetam o fluxo do modelo e geralmente têm uma causa (gatilho) ou um impacto (resultado). Existem três tipos de Eventos, com base em quando afetam o fluxo: Início, Intermediário e Fim.	
Atividade	Uma Atividade é um termo genérico para o trabalho realizado em um Processo. Uma Atividade pode ser atômica ou não atômica (composta). Os tipos de Atividades que fazem parte de um Modelo de Processo são: Subprocesso e Tarefa, que são retângulos arredondados.	
Gateway	Um Gateway é usado para controlar a divergência e a convergência de Fluxos de Sequência em um Processo. Assim, ele determinará a ramificação, bifurcação, fusão e junção de caminhos. Marcadores internos indicarão o tipo de controle de comportamento.	
Fluxo de sequência	Um Fluxo de Sequência é usado para mostrar a ordem em que as Atividades serão executadas em um Processo.	
Fluxo de mensagem	Um Fluxo de Mensagens é usado para mostrar o fluxo de Mensagens entre dois Participantes que estão preparados para enviá-las e recebê-las. Em BPMN, dois Pools separados em um Diagrama de Colaboração representam os dois Participantes.	
Associação	Uma Associação é usada para vincular informações e Artefatos a elementos gráficos BPMN. Anotações de Texto e outros Artefatos podem ser associados aos elementos gráficos. Uma ponta de seta na Associação indica a direção do fluxo (por exemplo, dados), quando apropriado.	
Piscina (Pools)	Um Pool é a representação gráfica de um Participante em uma Colaboração. Ele também atua como uma "raia" e um contêiner gráfico para particionar um conjunto de Atividades de outros Pools. Um Pool PODE ter detalhes internos, na forma do Processo que será executado. Ou um	

	Pool PODE não ter detalhes internos, ou seja, pode ser uma "caixa preta".	
Raia	Uma Raia é uma subpartição dentro de um Processo, às vezes dentro de um Pool, e se estende por toda a extensão do Processo. Raias são usadas para organizar e categorizar Atividades.	
Objeto de dados	Objetos de Dados fornecem informações sobre o que as Atividades precisam para ser executadas e/ou o que elas produzem. Objetos de Dados podem representar um objeto singular ou uma coleção de objetos. Entrada e Saída de Dados fornecem as mesmas informações para Processos.	
Grupo	Um Grupo é um agrupamento de elementos gráficos que estão dentro da mesma Categoria. Esse tipo de agrupamento não afeta os Fluxos de Sequência dentro do Grupo. O nome da Categoria aparece no diagrama como o rótulo do grupo. As Categorias podem ser usadas para fins de documentação ou análise. Grupos são uma maneira pela qual as Categorias de objetos podem ser exibidas visualmente no diagrama.	
Anotação de texto	Anotações de texto são um mecanismo para um modelador fornecer informações de texto adicionais para o leitor de um diagrama BPMN.	

Fonte: Adaptado de OMG (2010).

A linguagem BPMN atendeu aos diagramas de processo. Para os diagramas de classes IFC elaborados, a linguagem adotada foi a *Unified Modeling Language* (UML) simplificada. Como descrito na revisão bibliográfica, a linguagem própria do IFC é o formato EXPRESS, que tem em sua composição o EXPRESS-G, dedicado à representação gráfica. No entanto, a própria documentação do padrão IFC disponibilizada pela buildingSMART adotou a linguagem UML na versão 4.3.

Abaixo, a Figura 42 apresenta um trecho do diagrama completo da classe *IfcBuilding*, em EXPRESS-G do padrão IFC 4. A Figura 43 apresenta um diagrama para a mesma classe *IfcBuilding* no padrão IFC 4.3, de forma simplificada com a linguagem UML simplificada.

Relação de Agregação	Indica um relacionamento mais fraco “parte-todo”, onde as partes podem existir independente do todo	
Associação	Indica que há um relacionamento direcional entre as classes, no sentido da seta	

Fonte: OMG (2017).

5.2 Design Science Research

A *Design Science Research* (DSR) é a base epistemológica que fundamenta e operacionaliza a condução de pesquisa orientada à solução de problemas, buscando construir e avaliar artefatos que permitam transformar situações, alterando suas condições para estados melhores ou desejáveis (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

No contexto da DSR e ao longo do desenvolvimento deste texto, o termo “Artefato” é utilizado como termo guarda-chuva que remete à “Solução” que está sendo desenvolvida pela pesquisa. Dessa forma, “Artefato” é utilizado quando o assunto discutido se referir à pesquisa como um todo, ao problema completo ou a uma referência genérica para soluções possíveis ao problema identificado. Nos itens ou partes do texto em que as soluções propostas estiverem especificamente em discussão, suas nomenclaturas serão diferentes, porém sempre considerando que de forma abstrata ou generalizada, são “Artefatos”.

Os artefatos para a DSR conforme descrita por Dresch; Lacerda; Júnior (2015) podem assumir cinco formas: constructos, modelos, métodos, instanciações, e *design propositions*.

Os constructos são os elementos conceituais, que podem ser entendidos como o vocabulário de um domínio (MARCH; SMITH, 1995). Essa forma de artefato pode ser relacionada diretamente com a unidade funcional “vocabulário” de bibliotecas do conhecimento discutidas no contexto da NBR ISO 16354.

Os modelos são um conjunto de proposições ou declarações que expressam as relações entre constructos. São representações da realidade que apresentam as variáveis de determinado sistema e suas relações (MARCH; SMITH, 1995). Essa forma de artefato se relaciona com unidades funcionais

“taxonomia” e “modelos de aspecto” e nesta pesquisa tem certa dependência da unidade “dicionário” da NBR ISO 16354.

Os métodos representam um conjunto de passos para desempenhar uma determinada tarefa, podem ser representados graficamente ou em algoritmos específicos (MARCH; SMITH, 1995). Podem estar ligados aos modelos assim como a unidade funcional “modelo de composição” das bibliotecas de conhecimento se conecta aos “modelos de aspecto” no contexto da NBR ISO 16354. Os métodos serão amplamente discutidos nos itens a seguir a partir de diagramas de processos.

As instanciações são definidas como a execução do artefato em seu ambiente, sendo os artefatos que operacionalizam os outros artefatos (constructos, modelos e métodos). A operacionalização busca também demonstrar a viabilidade e eficácia dos artefatos construídos (MARCH; SMITH, 1995).

No quesito instanciação destacam-se três aspectos. O primeiro se refere à sua conexão com outros itens tratados, especialmente à unidade funcional “coleção” das bibliotecas de conhecimento, em que se pode de fato observar os modelos de composição criados. O segundo aspecto das instanciações utilizados nesta pesquisa se refere ao método de gestão da informação aplicado ao fluxo de trabalho de dimensionar e simular os efeitos de SBN.

O terceiro aspecto relevante da instanciação é que este tipo de artefato constitui um conjunto coerente de regras que orientam a utilização dos demais artefatos (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). No contexto da pesquisa envolvendo BIM, pode-se dizer que a instanciação é o que define os Requisitos de Informação dos artefatos (constructos, modelos, métodos) propostos.

Por fim, o quinto tipo de artefato proposto pela DSR é o de *design proposition*. Este se refere às contribuições teóricas que podem ser feitas por meio da aplicação da DSR. As *design propositions* correspondem a “um *template* genérico que pode ser utilizado para uma determinada classe de problemas” (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015). Este tipo de artefato é implementado na generalização da metodologia utilizada na pesquisa através dos diagramas de processo.

As classes de problemas para as quais se busca a generalização das soluções através de *design propositions* são definidas por Dresch; Lacerda; Júnior (2015) como a “organização de um conjunto de problemas práticos ou teóricos que contenha artefatos úteis para a ação nas organizações”. Aqui, a classe de problemas tratada se refere especificamente à interpretação de um determinado conceito (soluções baseadas na natureza); a partir de sua compreensão é possível interpretar suas necessidades (Requisitos de Informação) e traduzi-las para uma linguagem condizente com as ferramentas escolhidas (BIM).

A DSR conforme descrita por Dresch; Lacerda; Júnior (2015) é proposta a partir de onze etapas:

- Identificação do problema
- Conscientização do problema
- Revisão sistemática da literatura
- Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas
- Proposição de artefatos para resolução do problema
- Projeto do artefato
- Desenvolvimento do artefato
- Avaliação do artefato
- Explicitação das aprendizagens e conclusão
- Generalização para uma classe de problemas e comunicação dos resultados

Tais etapas são descritas no Quadro 5 a partir de sua correlação com os itens dessa dissertação.

Quadro 5: Protocolo de pesquisa com base na DSR

Item da dissertação	Etapa do protocolo DSR
4.3, 4.8	Identificação do problema
4.1 a 4.9	Conscientização do problema
4.7.1, 4.7.2	Revisão sistemática da literatura
4.4, 4.8.1, 4.9	Identificação dos artefatos e configuração das classes de problemas

5.4 a 5.10	Proposição de artefatos para resolução do problema
5.4 a 5.10	Projeto do artefato
6.1, 6.2, 6.3, 6.5	Desenvolvimento do artefato
6.4, 6.6, 6.7	Avaliação do artefato
7 e 8	Explicitação das aprendizagens e conclusão
6.8	Generalização para uma classe de problemas e comunicação dos resultados

Fonte: Dresch; Lacerda; Júnior (2015). Adaptado pelo Autor.

5.3 Revisão bibliográfica

A DSR conforme proposta por Dresch, Lacerda e Antunes (2015) preconiza três etapas iniciais de contextualização do problema de pesquisa: identificação do problema, conscientização do problema e revisão sistemática da literatura.

Para a localização do referencial teórico da pesquisa foram utilizadas as plataformas *Scopus* e Portal de Periódicos CAPES como fontes principais. De forma geral, o levantamento de referências para a pesquisa seguiu caminhos orientados pelos dois eixos da pesquisa: *Building Information Modelling* (BIM) e Soluções baseadas na natureza (SBN). Abaixo, a lista de termos chave utilizados em cada um dos temas.

Building Information Modelling (BIM):

- *Landscape Information Modelling* (LIM);
- *City Information Modelling* (CIM);
- openBIM;
- Objetos BIM.

Soluções baseadas na Natureza (SBN):

- Hidrologia
- Drenagem urbana convencional
- Drenagem urbana alternativa

A Figura 44 apresenta um desdobramento dos termos. Não há na figura ou neste trabalho uma intenção ou expectativa de hierarquização dos termos apresentados, outras pesquisas podem ser desenvolvidas para este fim. O agrupamento feito tem apenas um objetivo pragmático de compreensão

adequada dos assuntos agrupados por eixo e forma como foram organizados ao longo da dissertação.

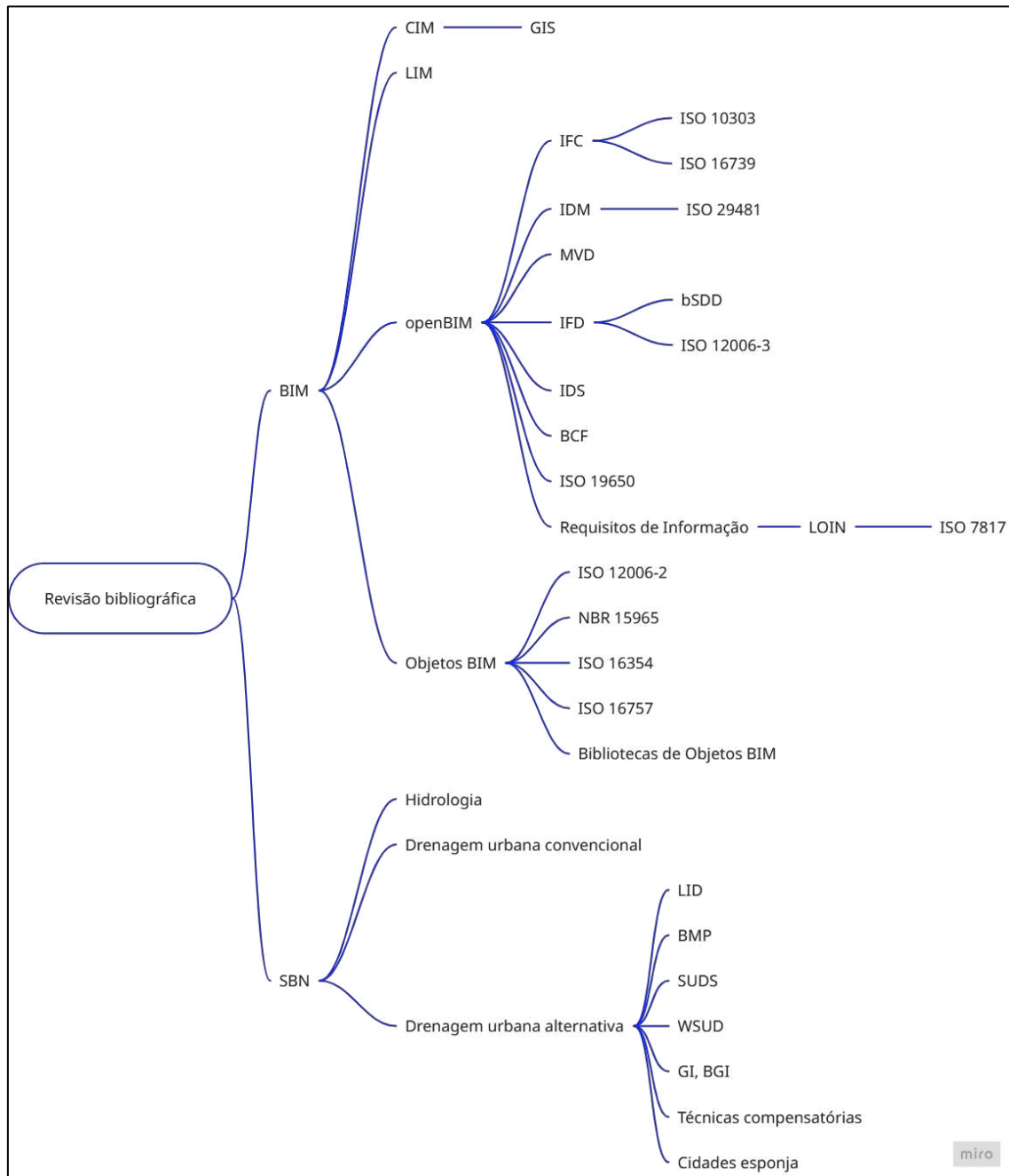


Figura 44: termos de pesquisa para revisão bibliográfica, organizados por tema principal. Fonte: Elaborado pelo Autor.

A revisão de SBN teve foco nas técnicas dedicadas ou com vocação principal de controle de escoamento superficial. SBN é um tema com outras vertentes, cujas técnicas tratam de diversos impactos e com efeitos estudados para além da gestão de águas pluviais.

O Quadro 6 apresenta, para cada um dos temas, as chaves de pesquisa utilizadas no levantamento de referências.

Quadro 6: Chaves de pesquisa da revisão bibliográfica.

Eixo da pesquisa	Chave de pesquisa utilizada
BIM	["Building Information Model*"] ["City Information Model*"] ["Landscape Information Model*"] [openBIM] ["BIM library" OR "BIM Object"]
SBN	["Nature-based solutions"] ["Low Impact Development"] ["Sustainable Drainage Systems OR SuDS"] ["Water sensitive urban design OR WSUD"] ["Green Infrastructure"] ["Sponge cit*"]
BIM + SBN	[(BIM OR "Building Information Modelling") AND (NBS OR "Nature-based solutions")] [IFC AND ("NBS OR "Nature-based solutions")] [BIM AND "Urban Drainage"] [BIM AND Flood*] [BIM AND LID] [BIM AND SUDS] [BIM AND WSUDS] [BIM AND "Green Infrastructure"]

Fonte: Elaborado pelo Autor.

As buscas de termos dentro do eixo BIM buscaram a contextualização geral da metodologia. O termo LIM foi objeto de uma Revisão Sistemática da Literatura, conforme apresentado no item 4.7.2. As buscas dentro do eixo SBN buscaram dar a dimensão e materialidade aos diversos termos identificados nas primeiras explorações da literatura, apontando para uma grande fragmentação do assunto.

Os termos de busca conjunta focaram em localizar eventuais trabalhos semelhantes, sendo então apresentados no item 4.10 de forma direcionada e em outros itens do trabalho quando pertinente.

5.4 Sistematização de técnicas alternativas de drenagem urbana

A constatação de que o campo do conhecimento relacionado à drenagem urbana alternativa é fragmentado, com iniciativas descentralizadas, que foram e

são documentadas em diferentes partes do mundo levou a uma necessidade de sistematização. Tal sistematização é um primeiro passo em direção à criação de Objetos BIM representativos das técnicas e contou com a NBR ISO 16354 como base conceitual para formalização das bibliotecas de conhecimento.

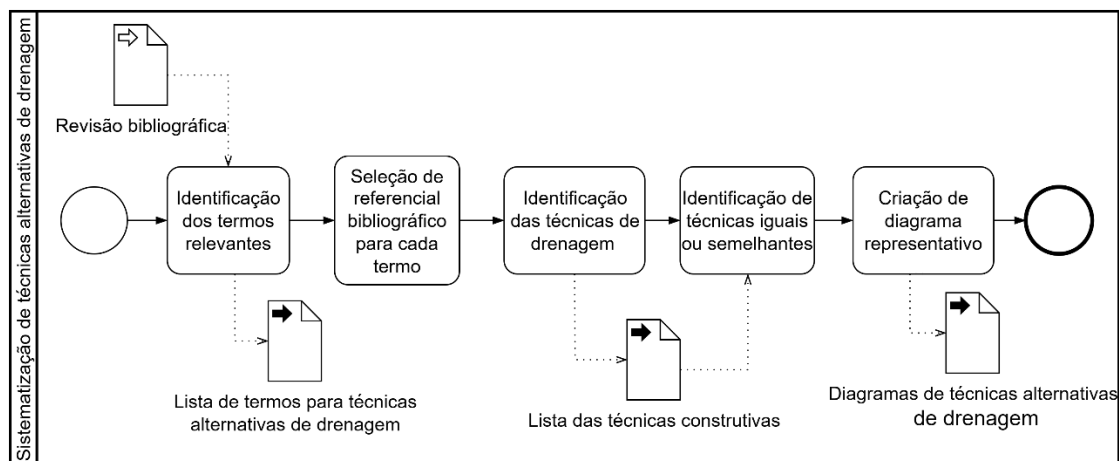


Diagrama 1: Processo de sistematização das técnicas alternativas de drenagem urbana. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O processo apresentado no Diagrama 1 tem início com a identificação dos termos relevantes dentro da temática. Esta atividade é cumprida tendo como dados de entrada a revisão bibliográfica, que trouxe entendimento sobre o contexto, e o documento de saída desta atividade é uma lista de termos que será apresentada nos resultados. A lista de termos foi elaborada considerando apenas os elementos construtivos e/ou estruturais de cada referência. Como algumas abordagens tratam de aspectos diversos de planejamento e qualidade da água, acabaram por ter menos técnicas construtivas relacionadas.

A segunda atividade consiste em selecionar referencial teórico para cada termo identificado. Esta atividade também foi cumprida na revisão bibliográfica. A atividade seguinte consiste em identificar as técnicas construtivas específicas para drenagem urbana elencadas em cada documento de referência, gerando um documento de saída de lista de técnicas construtivas.

Essa lista é insumo para a atividade seguinte, onde foi feita uma identificação de técnicas construtivas iguais e/ou correlatas. As técnicas iguais em nomenclatura foram identificadas; as técnicas iguais em funcionalidade, mas com nomes distintos foram identificados como sinônimos e agrupados sob o nome de uma delas, conforme critério específico.

Por fim, elaboraram-se diagramas de técnicas alternativas de drenagem por termo. A partir dos diagramas resultantes, optou-se por reduzir o volume total de resultados. Para tanto, após a elaboração de todos os diagramas, foi feito um levantamento da recorrência de cada técnica identificada, sobre o qual fez-se uma seleção apenas das técnicas que ocorreram ao menos duas vezes. Ainda, foram retiradas seis ocorrências da lista, por serem técnicas mais complexas espacialmente falando, ou por não serem propriamente técnicas construtivas.

Após esse filtro, termos semelhantes foram agrupados, gerando por fim uma simplificada de técnicas e um diagrama consolidado de agregação das técnicas selecionadas e termos.

Nos termos da ISO 16354, o produto desta etapa constitui uma biblioteca de conhecimento do tipo Catálogo de produtos, com funcionalidades de Vocabulário, Dicionário e Taxonomia.

5.5 Análise de classificação IFC de uma SBN

No item 5.4 foi descrito o estabelecimento de uma visão consolidada das técnicas construtivas de drenagem. A partir desse conteúdo, avalia-se a capacidade atual dos padrões BIM para correta descrição dos elementos.

A análise do atendimento do padrão IFC, enquanto padrão de dados fundamental do BIM, foi realizada através da documentação do IFC, disponível através da Norma NBR ISO 16739.

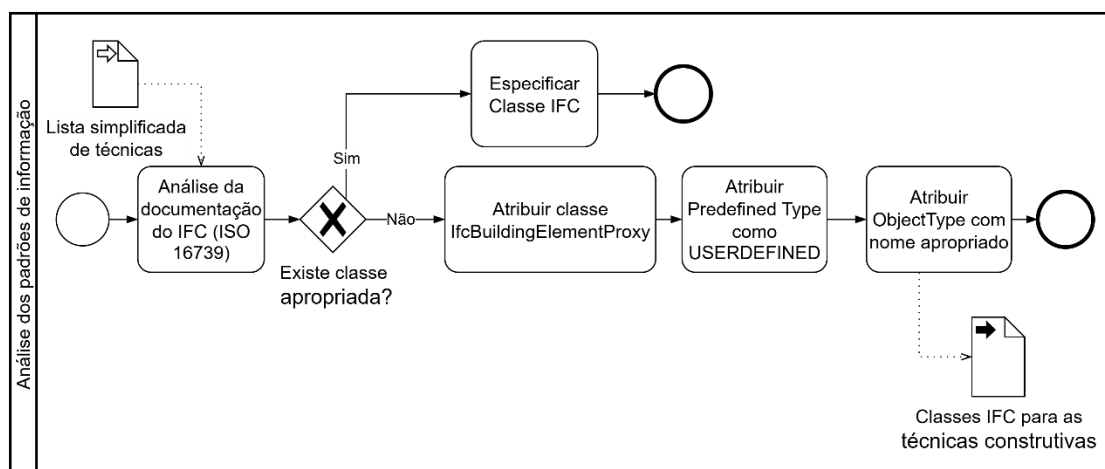


Diagrama 2: Processo de análise da correspondência entre as técnicas construtivas e padrões IFC.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

A primeira atividade do Diagrama 2 tem como dados de entrada o diagrama de técnicas de drenagem. Com isso, pode ser analisada a documentação do esquema IFC. A primeira atividade é seguida de um *gateway* do tipo exclusivo, em que para cada técnica apenas um caminho é seguido. No caso de haver classe IFC apropriada para o elemento, ele é especificado e o processo se encerra.

Caso não haja classe IFC apropriada para o elemento, atribui-se a classe de elementos genéricos do IFC denominada *IfcBuildingElementProxy*. Alternativamente, poderia se considerar classificar um elemento com a classe *IfcFacility*. Segundo a descrição da documentação: uma *Facility* (derivada de *IfcSpatialStructureElement*) pode ser uma *IfcBuilding*, uma *IfcBridge*, uma *IfcRailway*, uma *IfcRoad*, uma *IfcMarineFacility* (ou qualquer outro tipo de instalação construída definida no futuro, como *IfcTunnel*). Segundo esta descrição, a classe poderia receber outros elementos ainda não definidos.

Porém, a classe *IfcFacility* contém como tipos predefinidos (*PredefinedType*, análogos a subclasses) apenas as opções “COMPLEX”, “ELEMENT” e “PARTIAL”. Dado que as descrições de ambas as opções permitem o seu uso para representação de elementos não definidos antes, optou-se pelo uso da classe *IfcBuildingElementProxy*. *IfcBuildingElementProxy* é uma definição de *proxy* que fornece a mesma funcionalidade que os subtipos de *IfcBuiltElement*, mas sem ter um significado predefinido do tipo de elemento de construção que representa, pode ser usado:

- Para trocar tipos especiais de elementos de construção para os quais a especificação atual ainda não fornece uma definição semântica.
- Para representar elementos de construção para os quais os aplicativos participantes não podem fornecer uma definição semântica.

Com a classe escolhida, observa-se a enumeração de tipos predefinidos disponível. Nesse caso, a classe *IfcBuildingElementProxyTypeEnum* conta com apenas dois tipos para uso: “USERDEFINED” e “NOTDEFINED”. Em sua proposição formal, define-se que “ou o atributo *PredefinedType* não está definido

(por exemplo, porque um *IfcBuildingElementProxyType* está associado) ou o atributo herdado *ObjectType* deve ser fornecido, se o *PredefinedType* estiver definido como USERDEFINED.” (ABNT, 2023). Isso quer dizer que caso o tipo predefinido da classe seja identificado como USERDEFINED, o atributo *ObjectType* deve ser fornecido com o valor definido pelo usuário.

Assim, o Diagrama 2 é percorrido para cada uma das técnicas construtivas.

5.6 Proposição de Requisitos de Informação para Catálogo de Produtos de SBN

Em um contexto convencional da indústria da construção civil, os itens anteriores da metodologia já teriam sido supridos naturalmente pelo padrão IFC. Considerando a ausência de estrutura dentro do padrão para suporte das técnicas alternativas de drenagem, as definições elaboradas aqui serão experimentais buscando seguir ao máximo a documentação disponível do padrão.

Em contextos já normatizados, não só as classes, mas também seus conjuntos de propriedades (os *PropertySets* ou *Psets*) e seus conjuntos de quantidades (*QuantitySets* ou *Qtos*) já são estipulados, ao menos para atender as informações mais comumente utilizadas na indústria. Isso garante a uniformidade do tratamento da informação.

Uma classe *IfcPropertySet* é um contêiner de informação que contém as propriedades dentro de uma árvore de propriedades. Essas são interpretadas com seu atributo *name*. Cada propriedade individual possui um nome significativo e alguns são incluídos na especificação da norma, como citado acima. Todos os conjuntos de propriedades especificados na norma iniciam a nomenclatura com “Pset_Xxx”, como exemplos: *Pset_WallCommon*, *Pset_DoorCommon*, *Pset_Risk* (ABNT, 2023).

Novos conjuntos de propriedades podem ser definidos pelos usuários, devendo conter nomes significativos e não se deve iniciar com o prefixo “Pset_”. Dessa forma, adotou-se como convenção neste item o uso do prefixo “Sbn_” para os conjuntos de propriedades elaborados.

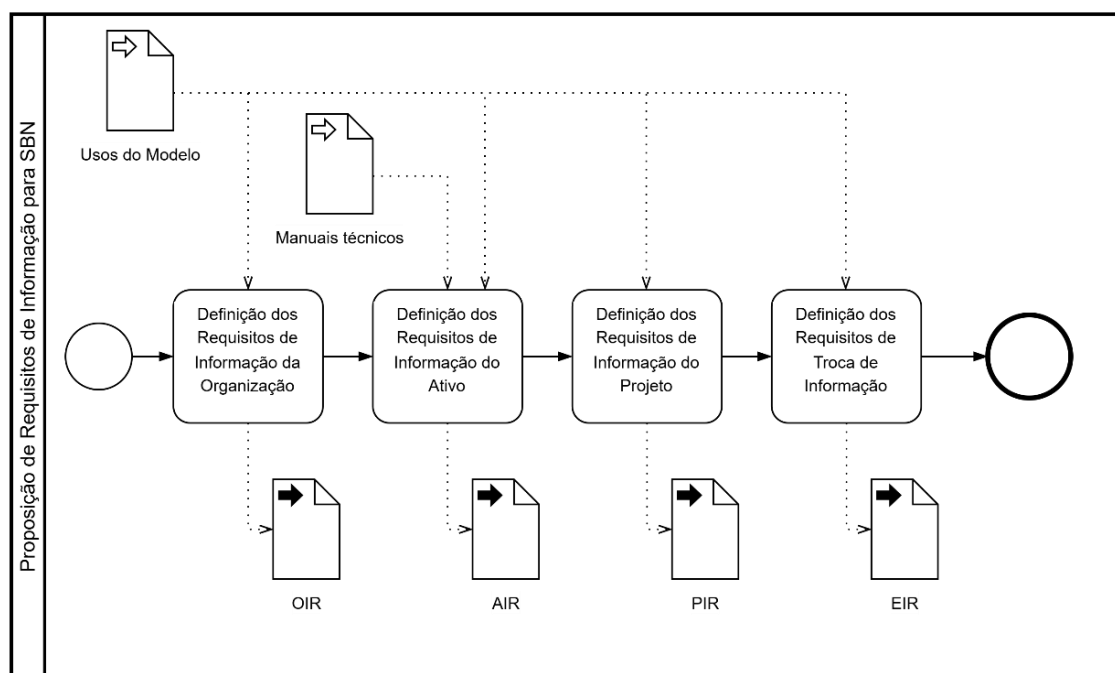


Diagrama 3: Processo de definição dos Requisitos de Informação de técnicas de SBN. Fonte: Elaborado pelo Autor.

A primeira atividade do Diagrama 3 tem como dados de entrada os usos do modelo e define os Requisitos de Informação da Organização (OIR). O uso principal pretendido pelo modelo de informação de Soluções Baseadas na Natureza é o de simulação hidrológica em bacias urbanizadas. Tal Uso não é formalmente mapeado, assim como o próprio domínio de gestão da água.

É possível relacionar o Uso do modelo com o uso geral de Modelagem de sistemas de drenagem, sob código 1090 na tabela elaborada por Succar (2016). Pode-se também fazer uma analogia com os usos de simulação da construção descritos pela Universidade da Pensilvânia, de Análise de performance energética ou Análise de performance de engenharia (PENNSYLVANIA, 2025).

Um segundo uso abordado de forma mais simplificada e apenas descritiva é o de operação e manutenção. Como elementos de infraestrutura urbana pública, as SBN têm como requisitos de informação para manutenção aspectos relativos à periodicidade e forma da manutenção.

A segunda atividade do Diagrama 3 consiste na definição dos requisitos do Ativo (AIR). Como não há normas técnicas específicas, os documentos norteadores dos requisitos de informação do ativo foram os manuais específicos

de dimensionamento, essencialmente livros e manuais técnicos elaborados por órgãos públicos, universidades e pesquisadores.

A terceira atividade identificada é a elaboração dos requisitos do Projeto (PIR). Nesta etapa detalhou-se a especificação de detalhamento geométrico e de informação exigido em cada elemento, através dos conjuntos de propriedades personalizados.

A quarta atividade trata da definição dos requisitos de troca de informação (EIR). No contexto da pesquisa, a necessidade de troca de informação é fundamentalmente tratada como uma questão a ser absorvida pelas premissas openBIM, ou seja, as trocas de informações devem ser baseadas em IFC e em outros padrões abertos. Além disso, o Uso do modelo de simulação hidrológica impôs um requisito de troca específico do *software* analisado.

Sob a ótica da ISO 16354, os Requisitos de Informação, especialmente o PIR, é interpretado como uma biblioteca de requisitos de dados de produto, que complementa um o catálogo de produtos, com funcionalidade modelo de aspecto.

5.7 Aplicação 1: Modelagem de Objeto BIM de Jardim de Chuva no Revit conforme Requisitos de Informação

Com base nos Requisitos de Informação elaborados, especialmente os Requisitos de Informação do Projeto (PIR), foi possível aplicá-los na criação de um Objeto BIM correspondente a um Jardim de Chuva para aplicação em processos decorrentes dos usos esperados e determinados no OIR.

Esta aplicação foi desenvolvida no *software* Revit e será descrita nos termos específicos do programa. Outros *softwares* que trabalham em BIM poderiam ser utilizados e possuem estruturas análogas, ainda que com suas especificidades.

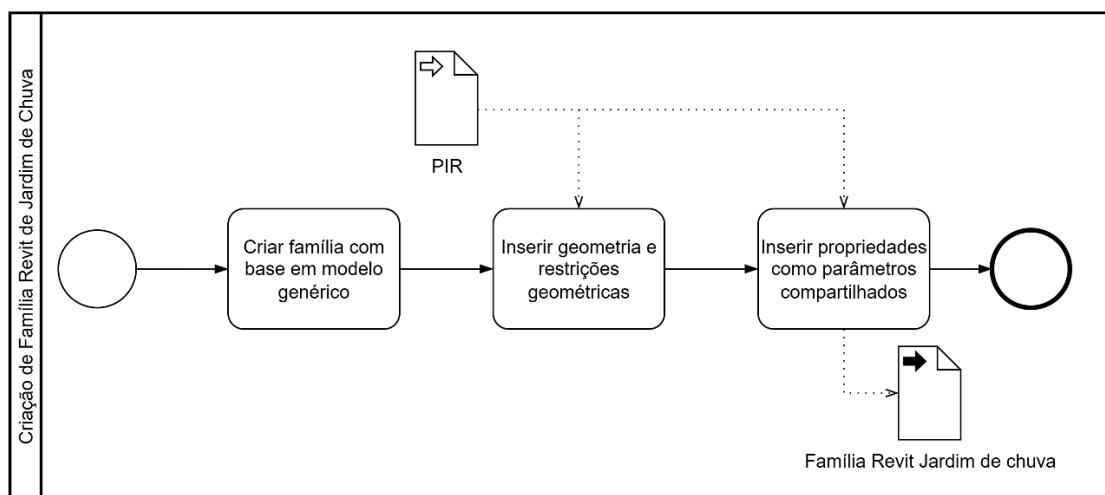


Diagrama 4: Processo de criação de família Revit com base no PIR. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Diagrama 4 apresenta o processo de criação da família Revit do jardim de chuva. O primeiro passo é dentro do *software* criar um arquivo de família (extensão “.rte”) com base nos modelos disponíveis. Dentro das opções de arquivos base para criação de famílias, utiliza-se o de “Modelo Genérico”.

A segunda atividade consiste em criar a geometria e as restrições geométricas pertinentes ao Objeto. Nesta atividade, é possível utilizar-se de mais funcionalidade de parametrização de objetos, que auxiliariam, por exemplo, no seu dimensionamento dentro do ambiente de projeto. Para fins de produção do objeto nesta pesquisa, adotou-se apenas geometrias básicas e as relações que eram pertinentes para o Uso específico de simulação hidrológica.

A terceira atividade consiste na inserção das propriedades na Família do Jardim de Chuva. Nessa atividade, utilizou-se como referência de propriedades personalizadas o Conjunto de Propriedades necessárias ao *software* SWMM. Ao mesmo tempo, foram utilizadas as propriedades padrão IFC para a atribuição de informações relativas à manutenção de um elemento, com base no arquivo de parâmetros compartilhados IFC.

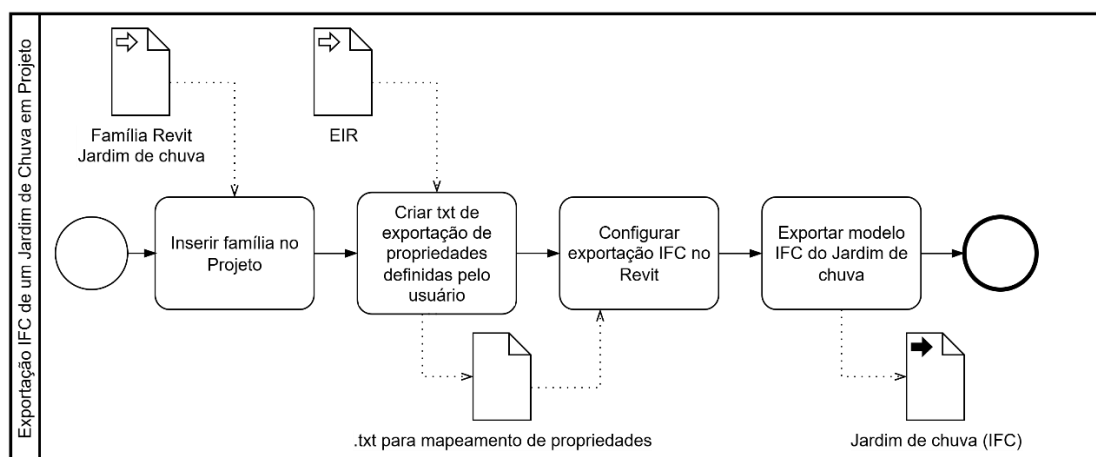


Diagrama 5: Processo de exportação IFC de um projeto Revit com Jardim de chuva tendo como base o PIR e EIR. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O processo descrito no Diagrama 5 descreve a sequência de exportação de um projeto em Revit para o padrão IFC após ser modelado com a família criada segundo o Diagrama 4.

A primeira atividade é de inserção da Família criada em um projeto em branco. Foi utilizado um *template* padrão da Autodesk. A segunda atividade consiste na elaboração de um arquivo “.txt” de mapeamento das propriedades de exportação. O arquivo de mapeamento contém o nome do conjunto de propriedades; se é aplicado a uma Instância ou Tipo; e a lista de tipos de elementos que serão mapeados. Em seguida, descreve em cada linha o nome da propriedade de saída; o tipo de dado; e opcionalmente, o nome da propriedade no Revit caso seja diferente do desejado como saído no arquivo no padrão IFC.

A Figura 45 apresenta um trecho do arquivo de definição de conjuntos de propriedades definidas pelo usuário, disponibilizada entre os arquivos do exportador IFC do Revit.

```
#
# User Defined PropertySet Definition File
#
# Format:
#   PropertySet:      <Pset Name>      I[instance]/T[type]      <element list separated by ', '>
#   <Property Name 1>  <Data type>      <[opt] Revit parameter name, if different from IFC>
#   <Property Name 2>  <Data type>      <[opt] Revit parameter name, if different from IFC>
#   ...
#
```

Figura 45: Trecho do arquivo de definição de propriedades personalizadas para exportação IFC do Revit. Fonte: Autodesk (2025).

A terceira atividade é de configuração da exportação dentro do *software*, tendo como base o arquivo de mapeamento de propriedades e outras configurações importante que serão descritas nos resultados. Por fim, é realizada a exportação do arquivo em formato IFC.

Pode-se utilizar um visualizador de IFC gratuito para avaliar, de forma manual, se as informações contidas no modelo correspondem às exigidas nos Requisitos de Informação. Para tanto, foi usado o *software* “*BIMcollab Zoom*” em sua versão gratuita de visualização de IFC.

5.8 Criação de Especificação de Entrega de Informação (IDS)

Em um fluxo de trabalho openBIM, como visto na Revisão Bibliográfica, os padrões abertos são indispensáveis, podendo ser aplicados conforme necessidades específicas. O padrão IDS possui um caráter duplo. Pode ser usado na etapa de comunicação dos Requisitos de Informação de forma padronizada, e para validação automática dos modelos elaborados. Aqui, a especificação dos requisitos foi elaborada de forma textual e através de diagramas, conforme descrito no item 5.6. Agora descreve-se o processo de uso do IDS para validação das informações entregues no modelo de Jardim de Chuva produzido no item 5.7.

A criação do arquivo de IDS pode ser feita de forma manual seguindo o padrão XML. Porém, existem ferramentas online gratuitas disponibilizadas por diversos fornecedores para a elaboração de forma mais amigável ao usuário. Foi escolhida a ferramenta *IDS Editor* para elaboração dos Requisitos.

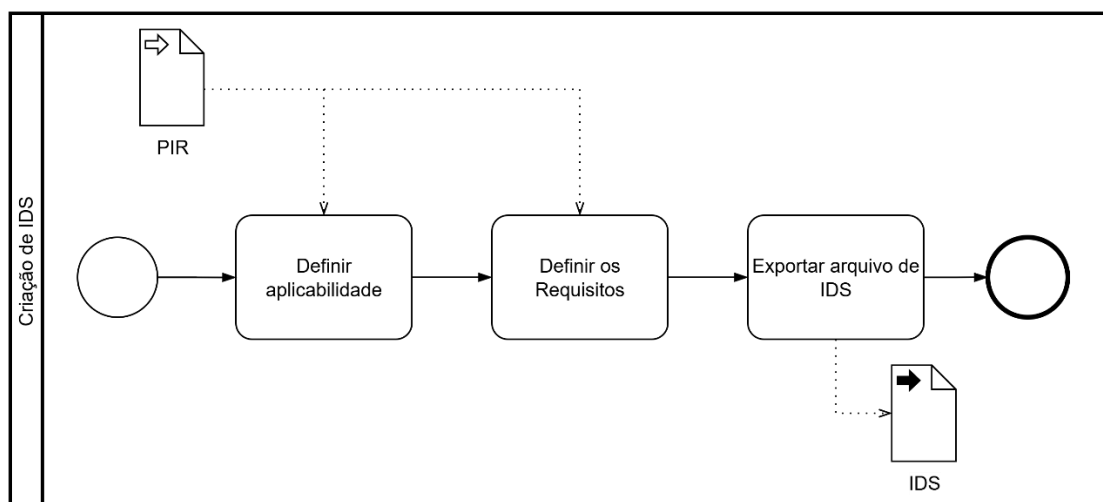


Diagrama 6: Processo de criação de IDS. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme Diagrama 6, o arquivo IDS é composto de duas partes principais: Aplicabilidade e Requisitos. A aplicabilidade descreve à quais elementos de um arquivo no padrão IFC a especificação de requisitos diz respeito. Ou seja, um modelo pode conter diversos tipos de elementos da construção, a verificação de atendimento dos requisitos descritos em uma IDS se aplicará apenas aos elementos que atendam a aplicabilidade definida. É um filtro que seleciona os elementos do modelo que serão analisados.

A segunda parte são os Requisitos, em que se descrevem as informações que devem estar presentes no modelo, onde devem estar e em qual formato de dados.

Ambas as partes da especificação podem utilizar seis facetas da informação, sendo elas: informações da Entidade, atributos, classificações, propriedades, materiais e partes (relacionamentos).

Para a determinação da aplicabilidade, foram utilizadas as informações de entidade, que correspondem à classificação IFC e Tipo Predefinido do elemento. A definição dos Requisitos foi feita apenas transportando o PIR elaborado para o formato da plataforma *IDS Editor*, que então permite a exportação dos dados no formato XML, interpretável por computador.

5.9 Validação da entrega da informação a partir do IDS

A validação da entrega da informação pode ser feita de forma manual através da simples revisão dos modelos produzidos em visualizadores de IFC.

Porém, em contextos de projeto com grande quantidade de elementos, essa validação requer ferramentas escaláveis. Assim, com o arquivo de IDS elaborado, é possível confrontá-lo com o arquivo IFC de jardim de chuva produzido. Esta etapa foi conduzida aplicando-se o *software Blender*, com o *add-in Bonsai*. Enquanto ferramenta gratuita e de código aberto, opera com transparência e é acessível para aplicação em diversos contextos.

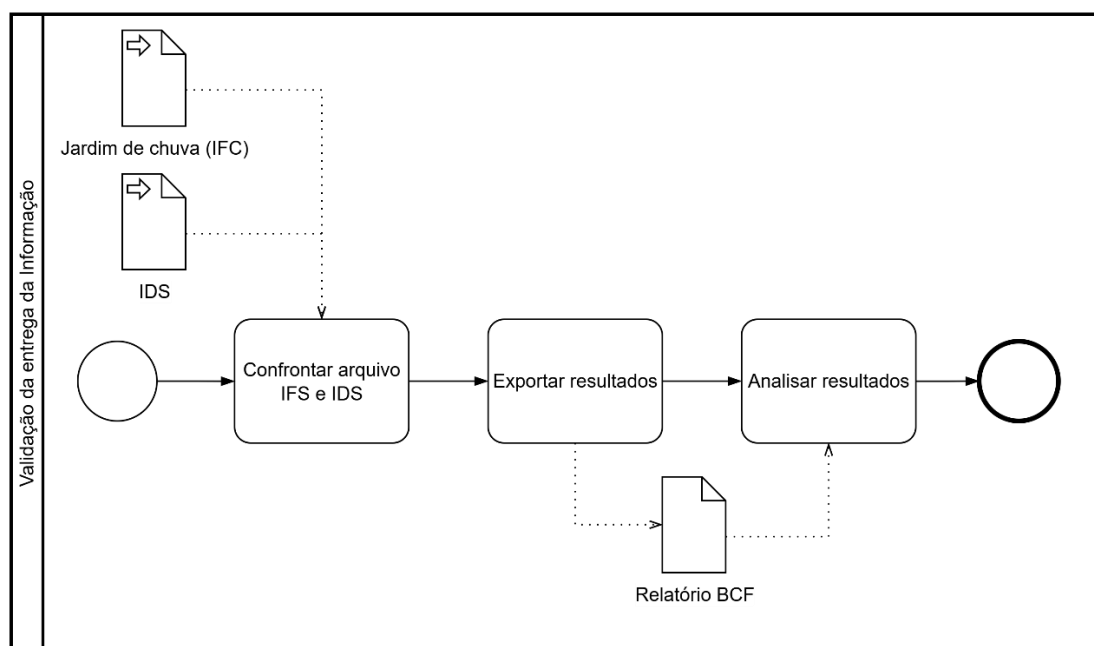


Diagrama 7: Processo de validação da entrega da Informação no modelo de Jardim de chuva com IDS.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

No Diagrama 7 a primeira atividade consiste no confronto entre IFC e IDS, executada no *software Blender*. Os resultados gerados são exportados na segunda atividade, sendo que o formato de transmissão dessa informação é o padrão aberto BCF.

A análise dos resultados, terceira atividade, pode ser feita em qualquer ferramenta capaz de interpretar um arquivo BCF. Utilizou-se o visualizador de BCF da *Acca Software*. A título de exemplo, foi elaborado também um modelo de jardim de chuva com erros no atendimento dos requisitos de informação, de forma a permitir a observação do formato de dados BCF na etapa de verificação automática das informações do modelo.

5.10 Aplicação 2: Implementação do método racional com *Dynamo* para cálculo do escoamento máximo de uma microbacia

O segundo exemplo prático executado trata de uma aplicação específica com a ferramenta de programação visual *Dynamo*, que opera dentro do *software* Revit. Neste estudo, foi desenvolvido um algoritmo de programação visual capaz de implementar o método racional para dimensionar a vazão de pico de uma microbacia com base em uma precipitação de projeto inserida pelo usuário.

O objetivo desta implementação é demonstrar a capacidade da ferramenta em trabalhar com dados do modelo a partir da geometria concebida em projeto.

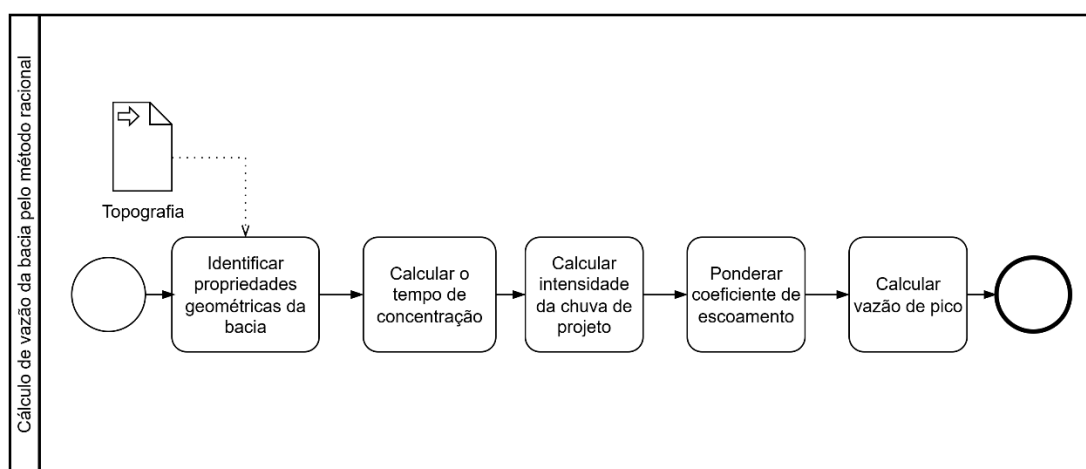


Diagrama 8: Processo de cálculo da vazão máxima de escoamento de uma microbacia fictícia. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Foi desenhada uma pequena microbacia fictícia, com exutório determinado em um ponto de cota mínima. O algoritmo busca, a partir da seleção da topografia inserida no modelo, identificar o ponto mais alto, ponto mais baixo, área e comprimento da bacia. Essas são características geométricas essenciais para determinação dos parâmetros de forma da bacia.

A segunda atividade consiste no cálculo do tempo de concentração. Foi utilizada a equação de *Kirpich* para esse passo, mas outras equações e métodos possíveis, conforme discutido na revisão bibliográfica, poderiam ser utilizados para determinar tempo de concentração da bacia.

A terceira atividade consiste na determinação da chuva de projeto. Utilizou-se uma equação de IDF da cidade de São Carlos como referência, com um tempo de retorno (TR) de 50 anos. A quarta atividade foi feita com a

ponderação hipotética do coeficiente de escoamento “C” do método racional, em função de diferentes configurações possíveis de uso do solo na área estudada.

Por fim, a quinta atividade consiste na aplicação da fórmula do método racional para cálculo da vazão de pico gerada na bacia hipotética com base na chuva de projeto determinada e condições simuladas de uso e ocupação do solo.

6 Resultados

6.1 Sistematização das técnicas de drenagem alternativa

O primeiro item de produtos da dissertação apresenta os resultados de saída do processo do Diagrama 1. Como descrito, a execução do processo para os termos relativos às técnicas alternativas de drenagem resultou em um diagrama representativo para cada termo. Na Figura 46 à Figura 54 estes diagramas serão apresentados. As referências para cada técnica foram inseridas diretamente nas imagens.

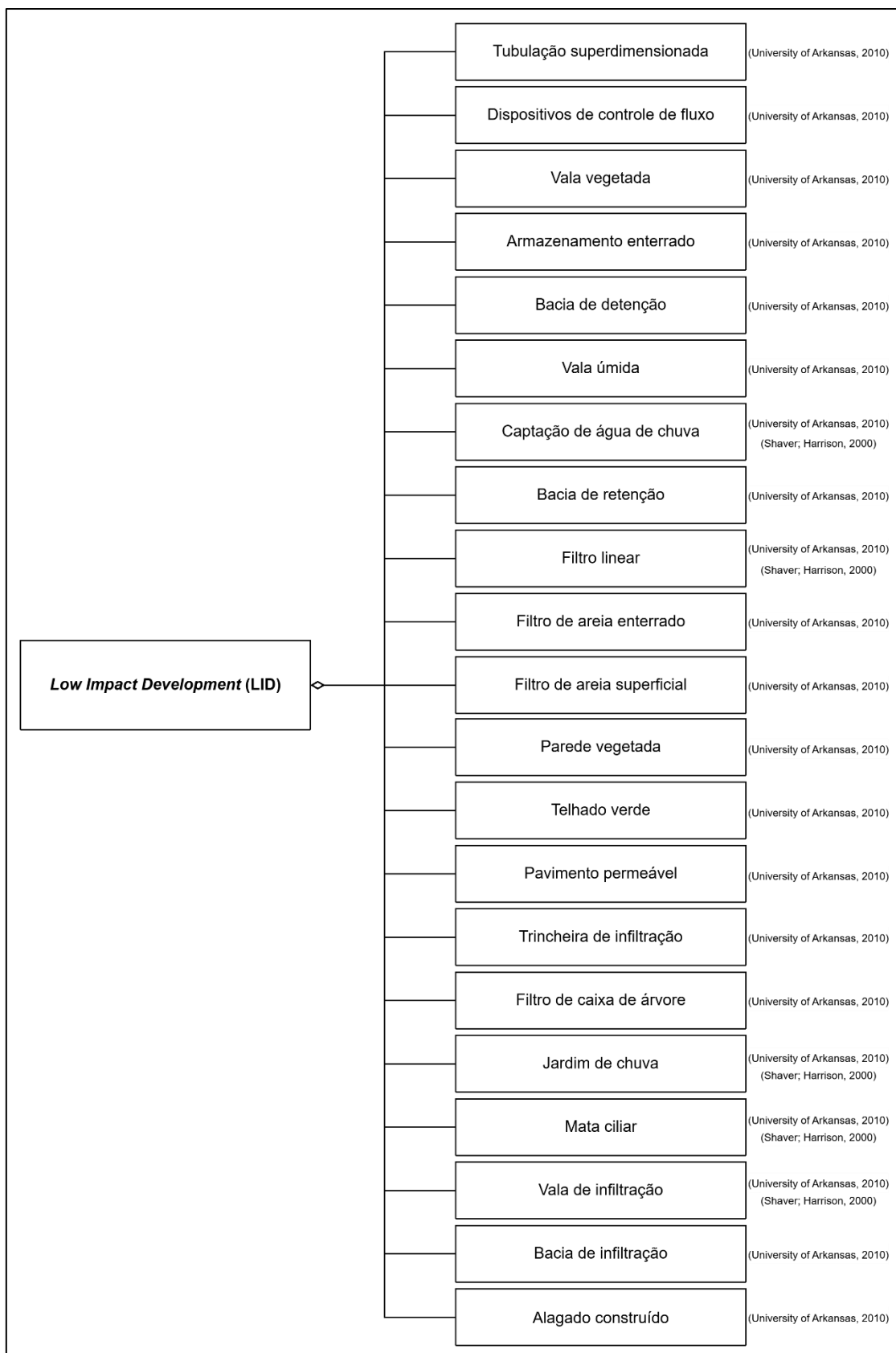


Figura 46: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Low Impact Development (LID)*. Fonte: Elaborado pelo Autor.

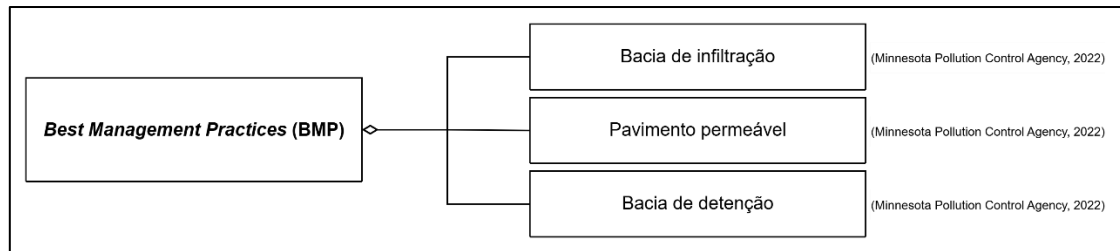


Figura 47: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Best Management Practices (BMP)*.
Fonte: Elaborado pelo Autor.

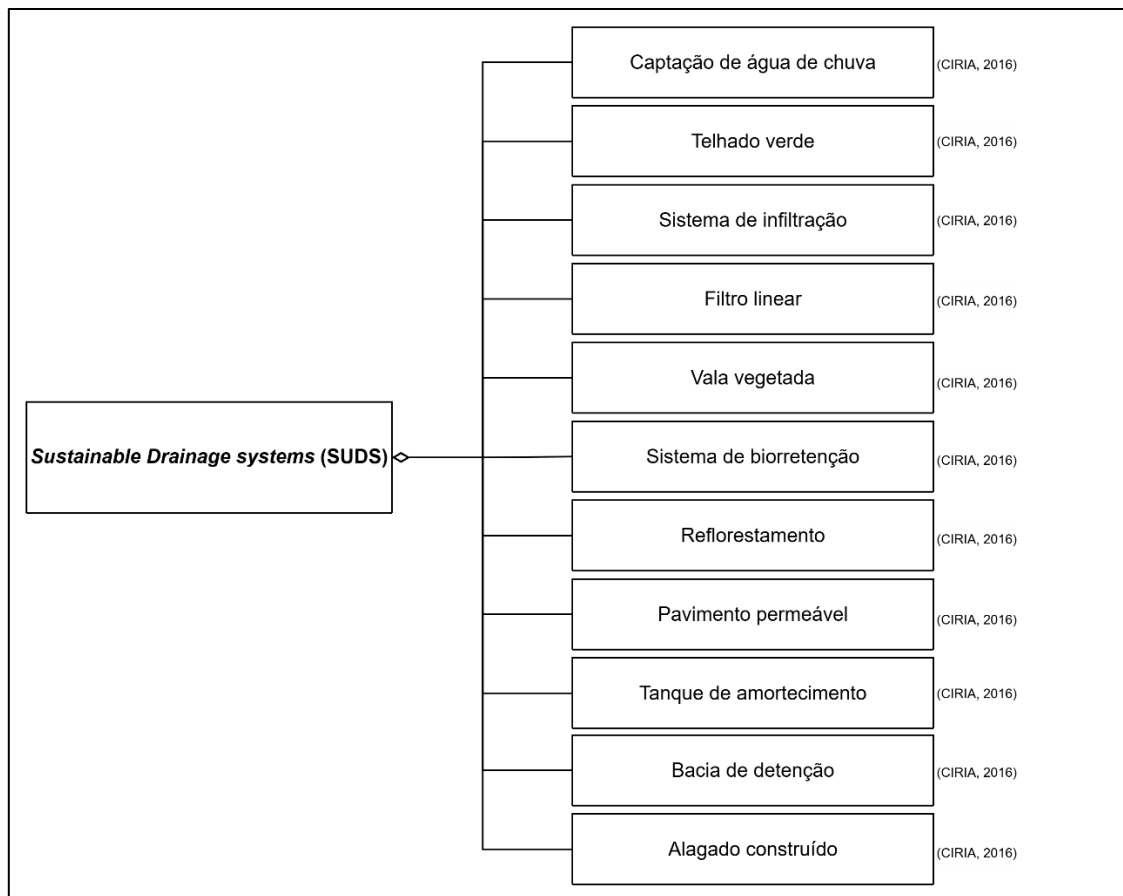


Figura 48: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Sustainable Drainage systems (SUDS)*. Fonte: Elaborado pelo Autor.

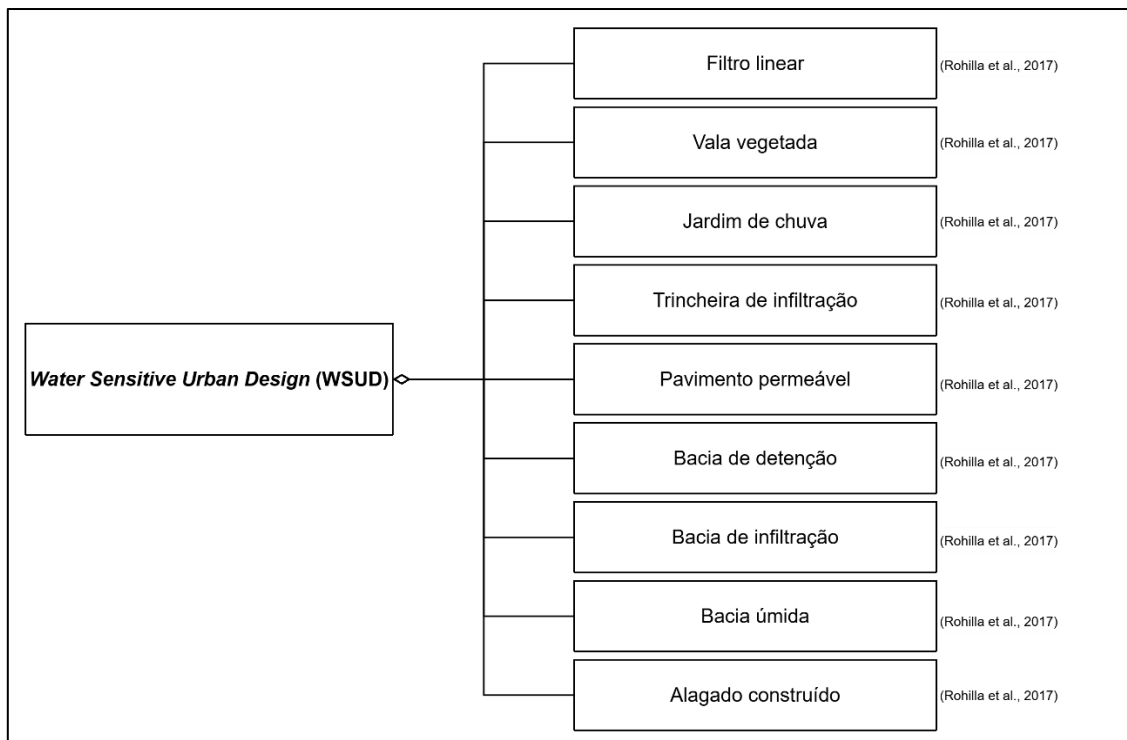


Figura 49: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Water Sensitive Urban Design* (WSUD). Fonte: Elaborado pelo Autor.

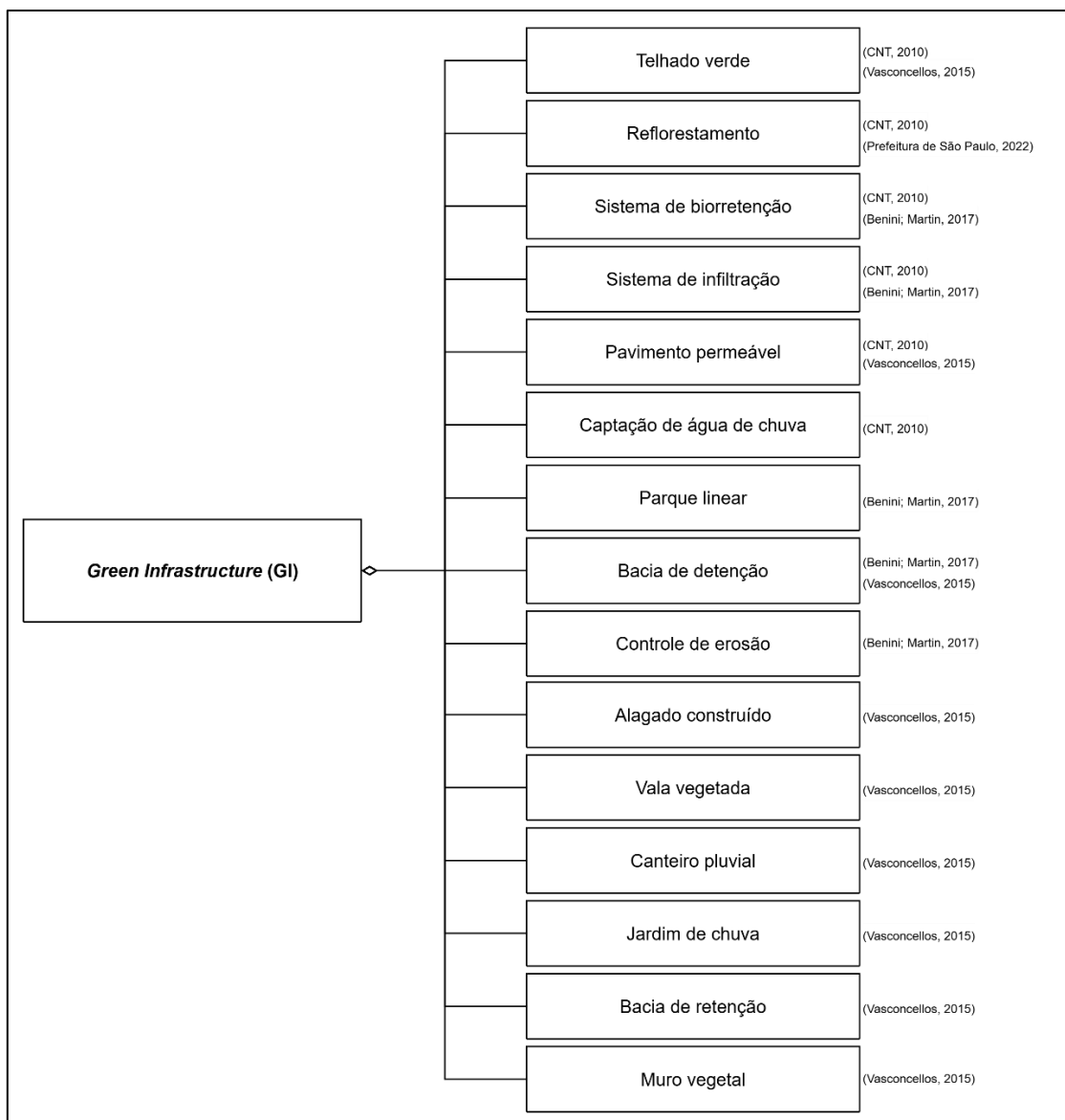


Figura 50: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Green Infrastructure* (GI). Fonte: Elaborado pelo Autor.

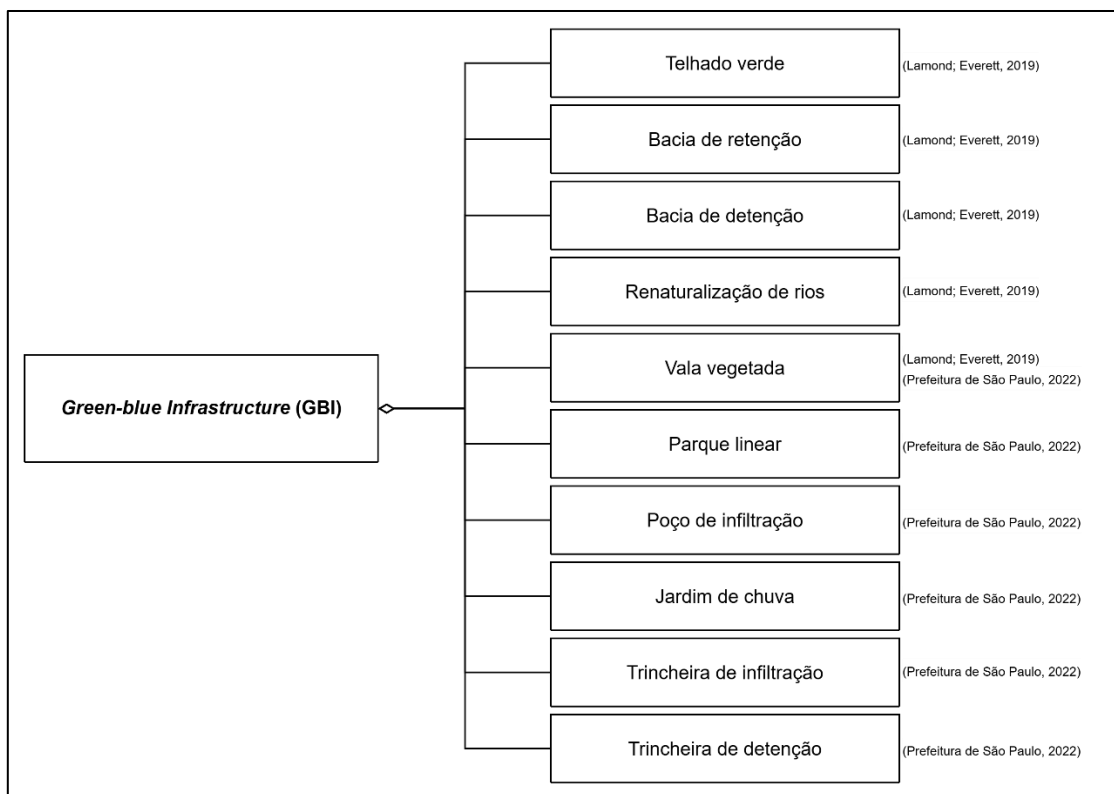


Figura 51: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Green-blue Infrastructure (GBI)*. Fonte: Elaborado pelo Autor.

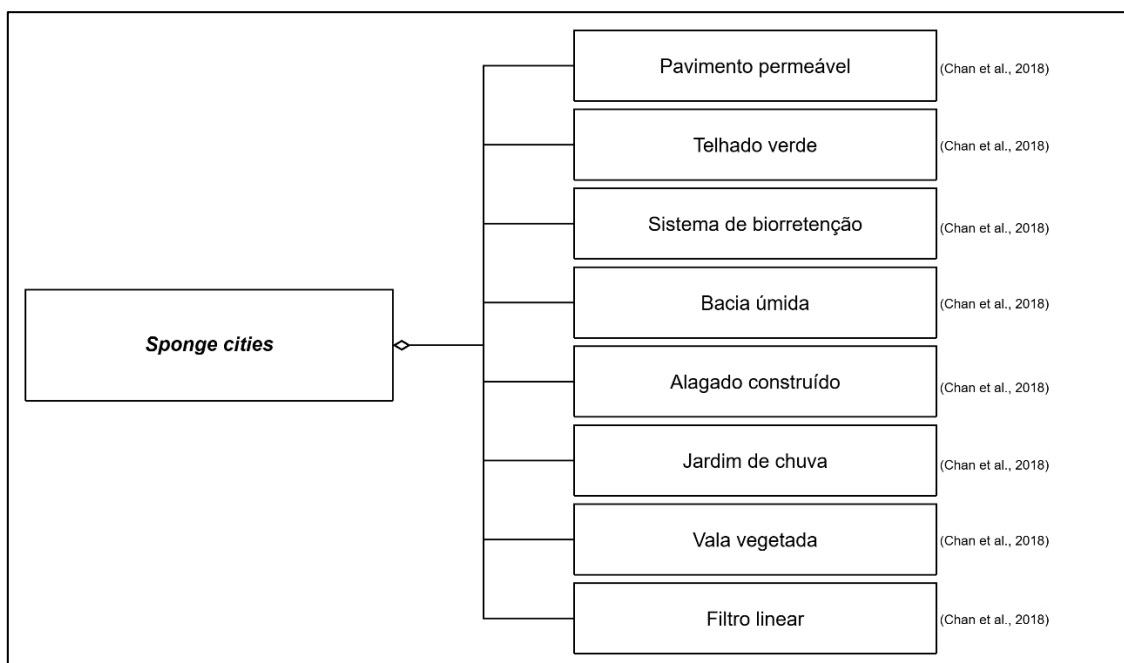


Figura 52: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo *Sponge cities*. Fonte: Elaborado pelo Autor.

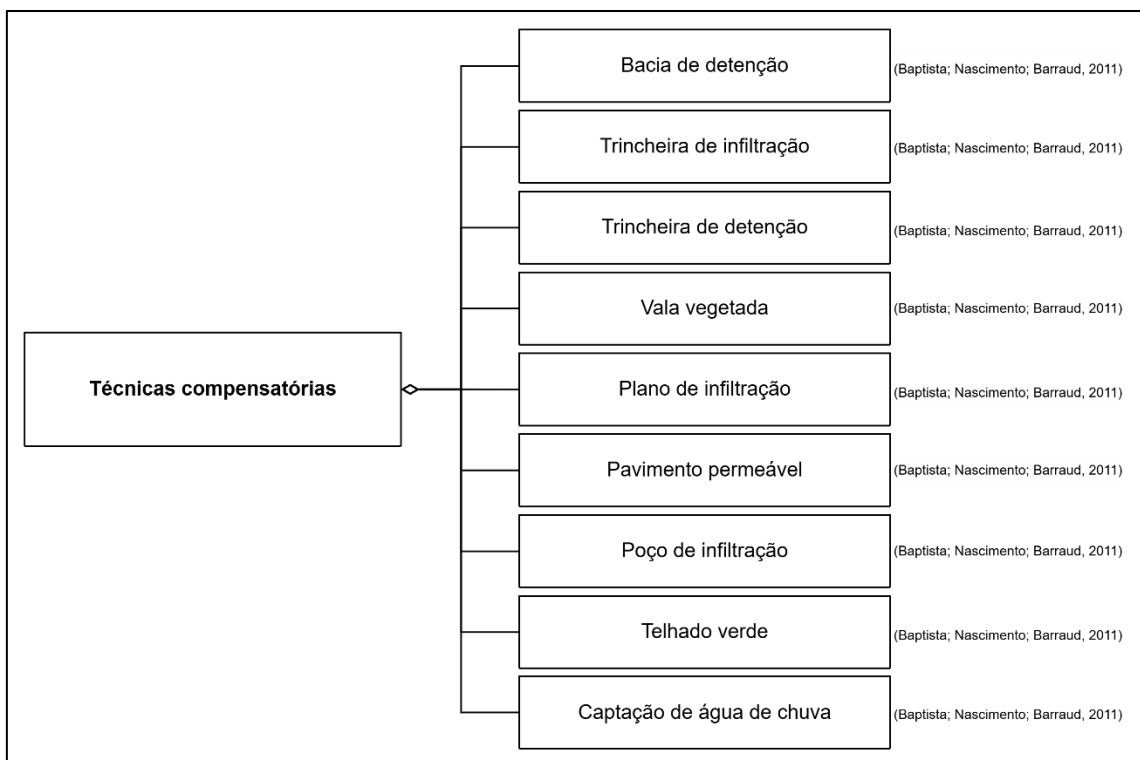


Figura 53: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo Técnicas compensatórias. Fonte: Elaborado pelo Autor.

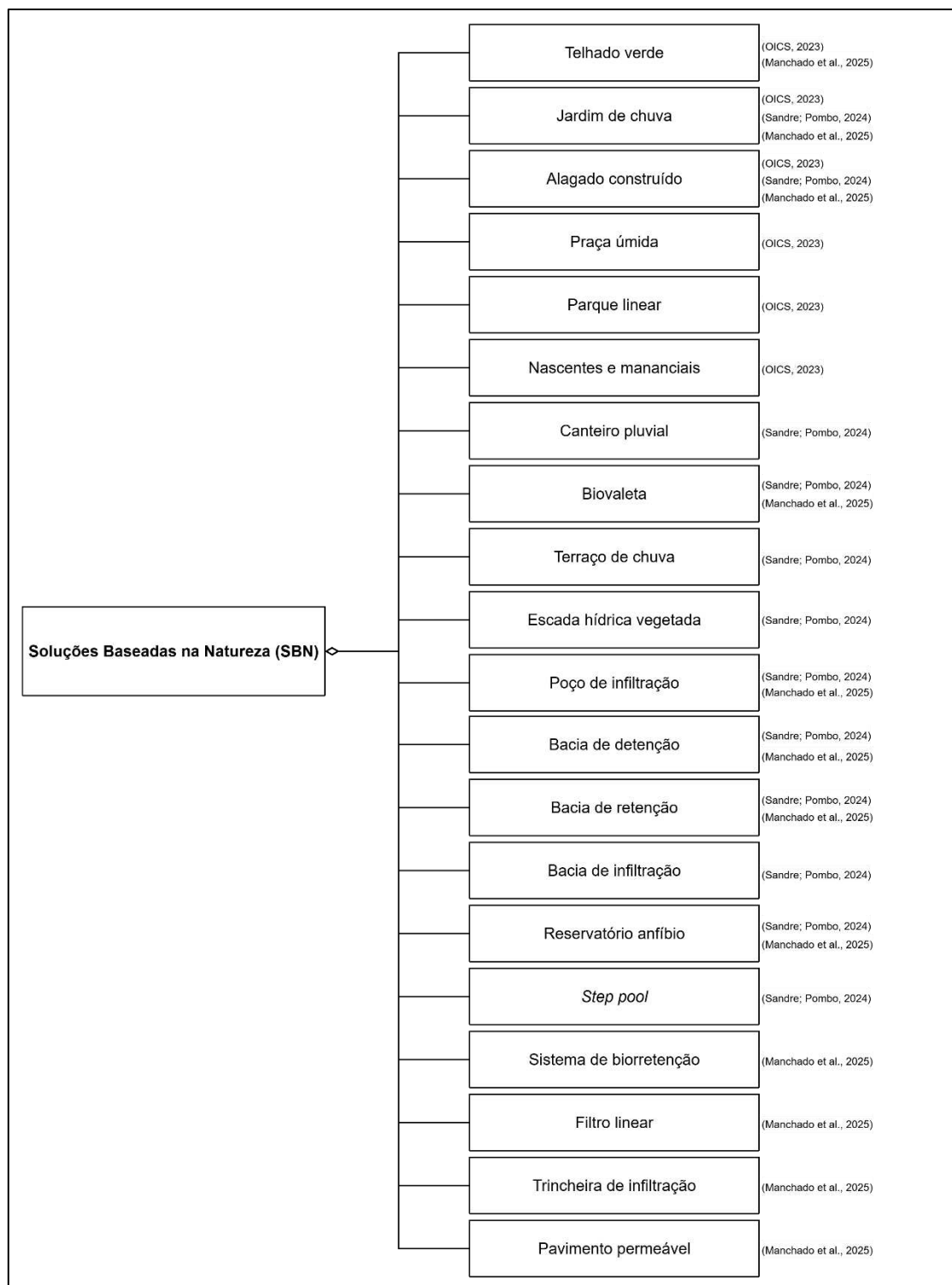


Figura 54: Diagrama de técnicas de drenagem atribuídas ao termo Soluções Baseadas na Natureza (SBN). Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base no levantamento realizado pelos diagramas, obteve-se uma lista de 41 técnicas. A Tabela 1 apresenta todo o vocabulário identificado, ordenado pelo número de ocorrência entre os termos de drenagem alternativa.

Tabela 1: Lista de técnicas construtivas de drenagem alternativa

Técnica	Ocorrências	Técnica	Ocorrências
Pavimento permeável	8	Reservatório anfíbio	1
Bacia de detenção	8	Controle de erosão	1
Vala vegetada	7	Praça úmida	1
Telhado verde	7	Filtro de areia superficial	1
Alagado construído	6	Renaturalização de rios	1
Jardim de chuva	6	Step pool	1
Filtro linear	5	Dispositivos de controle de fluxo	1
Trincheira de infiltração	5	Armazenamento enterrado	1
Captação de água de chuva	4	Escada hídrica vegetada	1
Sistema de biorretenção	4	Tanque de amortecimento	1
Bacia de infiltração	4	Biovaleta	1
Bacia de retenção	4	Terraço de chuva	1
Poço de infiltração	3	Plano de infiltração	1
Parque linear	3	Filtro de areia enterrado	1
Canteiro pluvial	2	Mata ciliar	1
Bacia úmida	2	Vala úmida	1
Reflorestamento	2	Muro vegetal	1
Trincheira de detenção	2	Vala de infiltração	1
Sistema de infiltração	2	Nascentes e mananciais	1
Tubulação superdimensionada	1	Parede vegetada	1
Filtro de caixa de árvore	1		

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com a lista inicial, foram realizados três filtros. O primeiro filtro foi a retirada de todos os termos com apenas uma ocorrência, por serem pouco representativos. O segundo filtro retirou as técnicas Filtro linear, Captação de água de chuva, Sistema de biorretenção, Parque linear e Reflorestamento, por não serem propriamente técnicas construtivas, e sim termos mais gerais ou espacialmente complexos. Por fim, o termo Canteiro pluvial foi considerado sinônimo de Jardim de chuva; e o termo Bacia úmida foi considerado sinônimo de Bacia de detenção. Com isso, a lista consolidada final é apresentada no

Diagrama 9, que relaciona cada termo de drenagem com seus respectivos vocabulários para as técnicas construtivas.

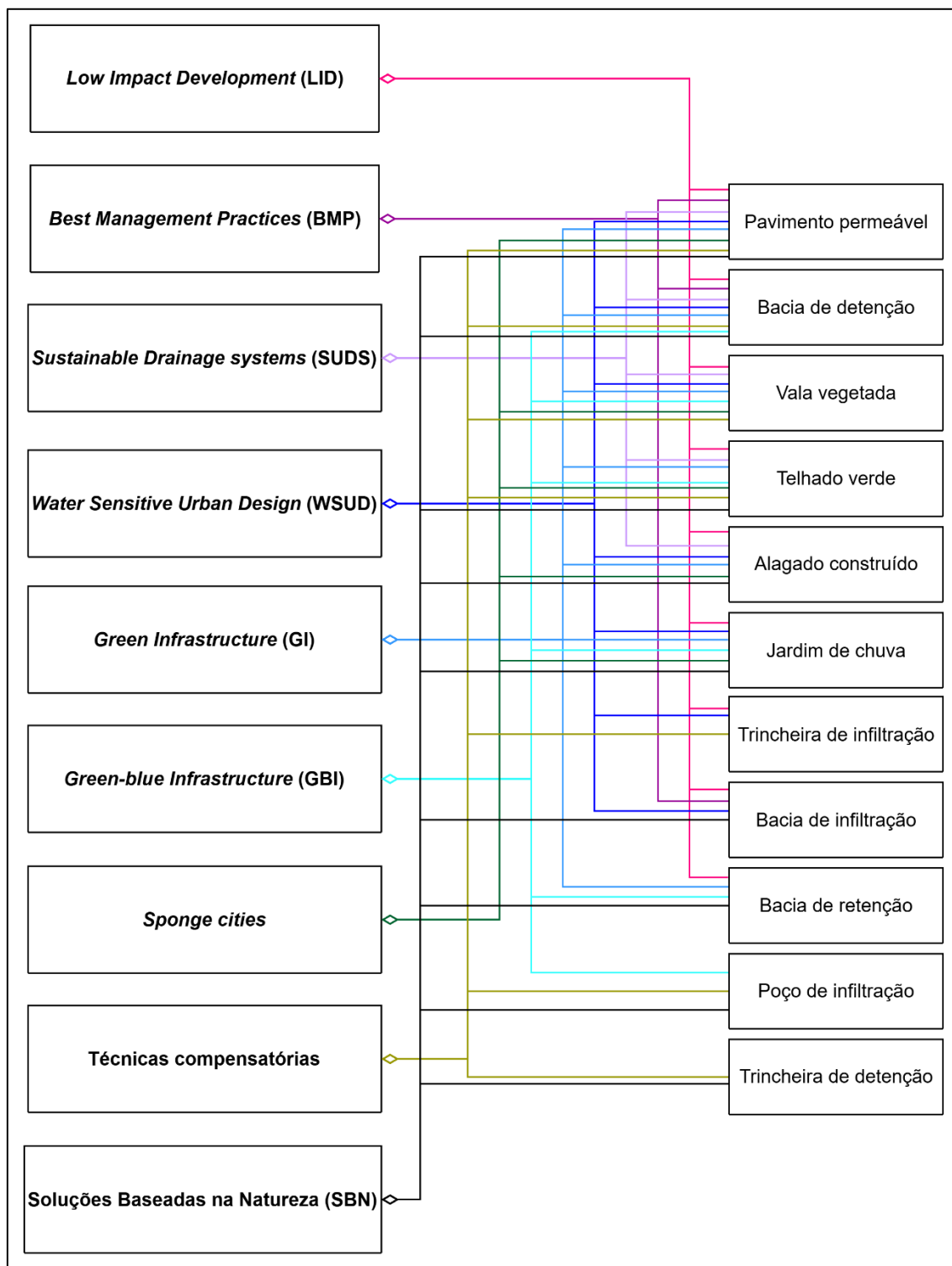


Diagrama 9: Técnicas alternativas de drenagem urbana. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Destaca-se que a simbologia utilizada é a de relação de agregação. Isso é importante pois implica uma relação parte-todo que não gera dependência. Ou seja, cada parte (técnica) existe independente do seu todo (termo), assim como

o todo agrega as partes, mas não se limita à elas, pois cada termo identificado possui princípios mais amplos do que apenas técnicas construtivas, em maior ou menor escala.

6.2 Classificação IFC das SBN

Como descrito no Diagrama 2, a partir da lista consolidada das técnicas foi feita a análise da sua classificação IFC. Como já se sabe, o padrão IFC não atende o domínio da gestão hídrica, logo as técnicas de drenagem alternativa, por consequência, também não são cobertas. Por isso, na análise da documentação do IFC todas as técnicas foram classificadas como *IfcBuildingElementProxy*. Dentro de cada classe, foram adicionados os atributos básicos *PredefinedType* e *ObjectType*. A Figura 55 apresenta o resultado desta classificação.

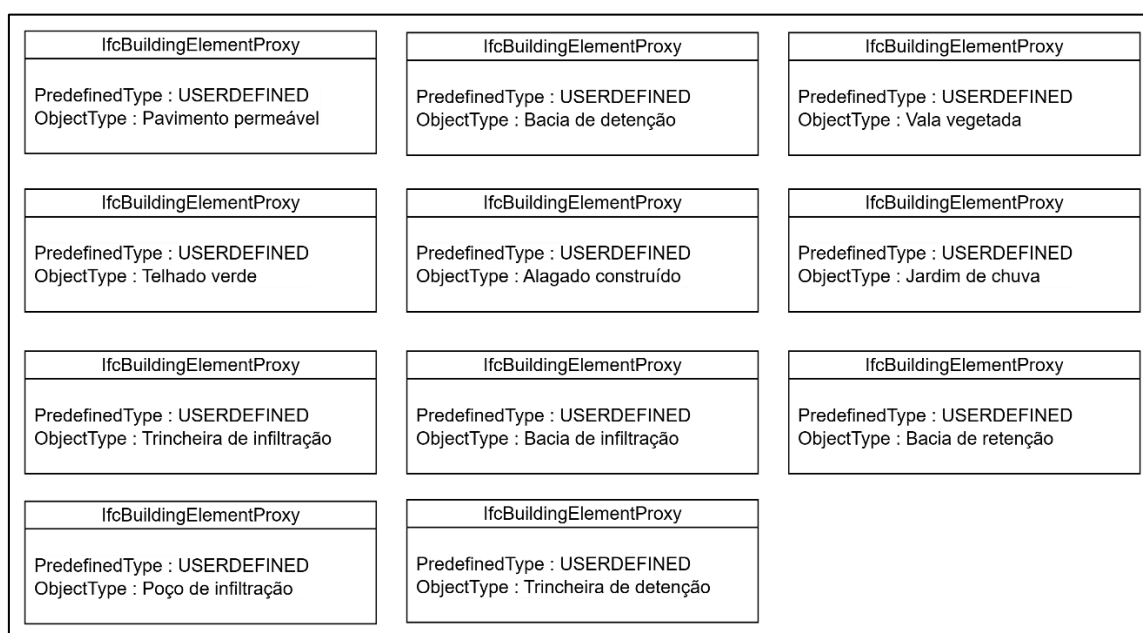


Figura 55: Classes IFC para descrição das técnicas de drenagem. Fonte: Elaborado pelo Autor.

6.3 Requisitos de Informação

A descrição dos requisitos de informação é etapa crucial de processos BIM. Como apresentado no Diagrama 3, o primeiro insumo para elaboração do OIR são os usos do modelo.

A determinação dos usos do modelo pode partir dos objetivos da organização como um todo, das obrigações de uma prefeitura, ou no caso desta dissertação, dos objetivos de pesquisa, conforme Figura 56.

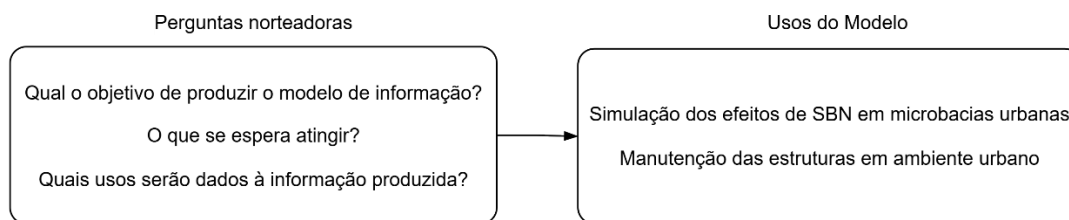


Figura 56: Definição dos usos do modelo. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com os usos do modelo, pode-se descrever os OIR. Na prática, a ordem dessas etapas não é limitante. Os objetivos de uma organização podem determinar os Usos esperados do modelo. Aqui, parte-se de usos pré-concebidos pelo objetivo de pesquisa para a descrição de Requisitos da Organização. A Figura 57 apresenta o OIR elaborado.

Requisitos de Informação da Organização (OIR)

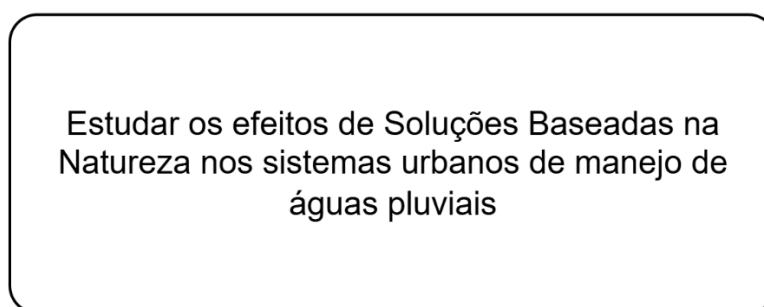


Figura 57: Requisitos da Organização (OIR). Fonte: Elaborado pelo Autor.

Conforme ISO 19650 e interpretação do Diagrama 3, o OIR delimita os Requisitos de informação do Ativo (AIR). Aqui, o AIR foi criado considerando-se um fluxo de projetos com SBN em três etapas. A primeira etapa consiste em selecionar as SBN aplicáveis em determinado contexto. A segunda etapa consiste em dimensioná-las adequadamente; e a terceira etapa se dá na simulação propriamente dita dos efeitos dessas SBN em um contexto de projeto. O Diagrama 10 apresenta o AIR elaborado.

Para um estudo de caso direcionado a uma técnica construtiva específica, foi elaborado uma segunda parte do AIR, com o processo para dimensionamento de um Jardim de Chuva. O Diagrama 11 apresenta o AIR específico para um Jardim de Chuva.

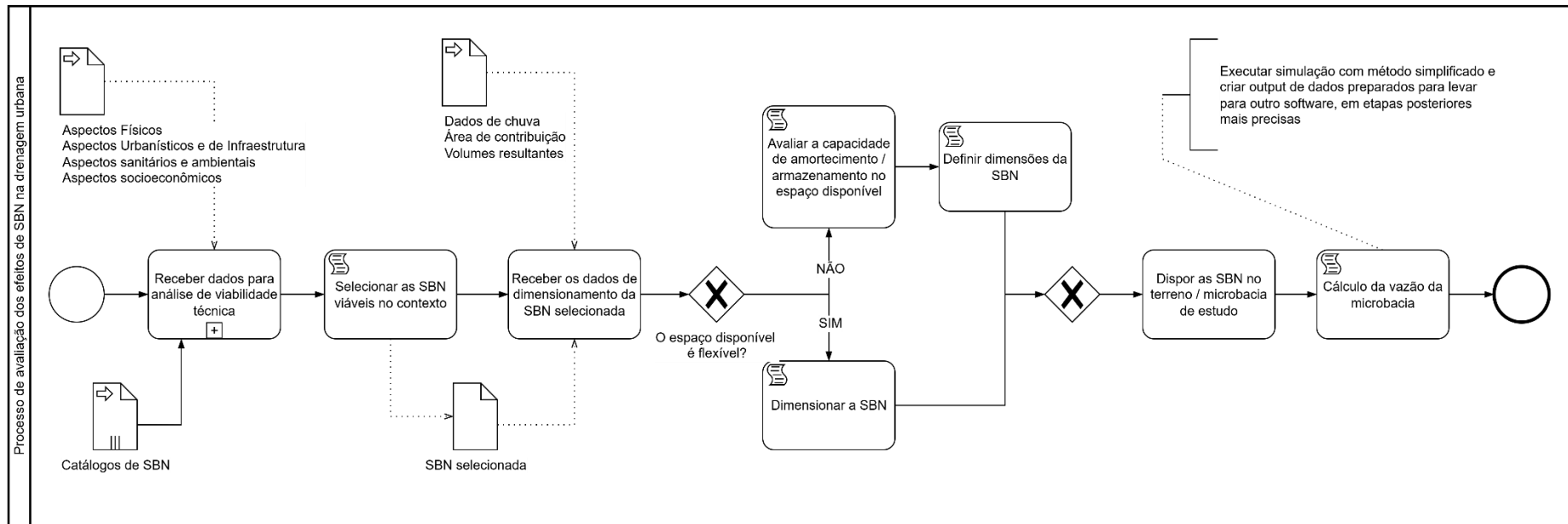


Diagrama 10: Requisitos de Informação do Ativo (AIR). Fonte: Elaborado pelo Autor.

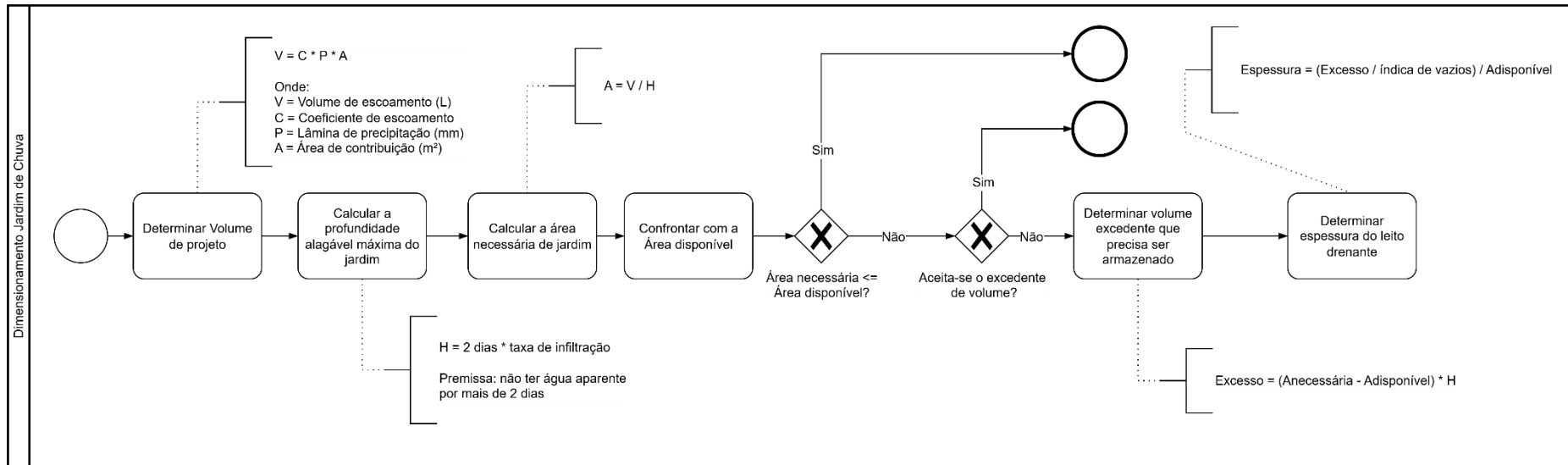


Diagrama 11: Requisitos de Informação do Ativo (AIR) de um jardim de chuva. Fonte: Elaborado pelo Autor.

A próxima atividade consiste na definição dos Requisitos de Informação do Projeto (PIR). O PIR descreve as informações que devem constar no modelo, de que forma e com qual organização, para viabilizar o atendimento dos demais requisitos.

O Diagrama 12 apresenta os requisitos de informação para um projeto de jardim de chuva que atenda os AIR do Diagrama 10 e Diagrama 11. Assim, os três blocos de conjunto de propriedades à direita identificam a Hidrologia, Pedologia e Condição do entorno. O bloco à esquerda identifica as propriedades que o *software* SWMM de modelagem hidrológica necessita para simular o resultado hidráulico-hidrológico de um jardim de chuva. Os dois blocos abaixo identificam propriedades específicas da operação do jardim e das quantidades associadas a esse elemento.

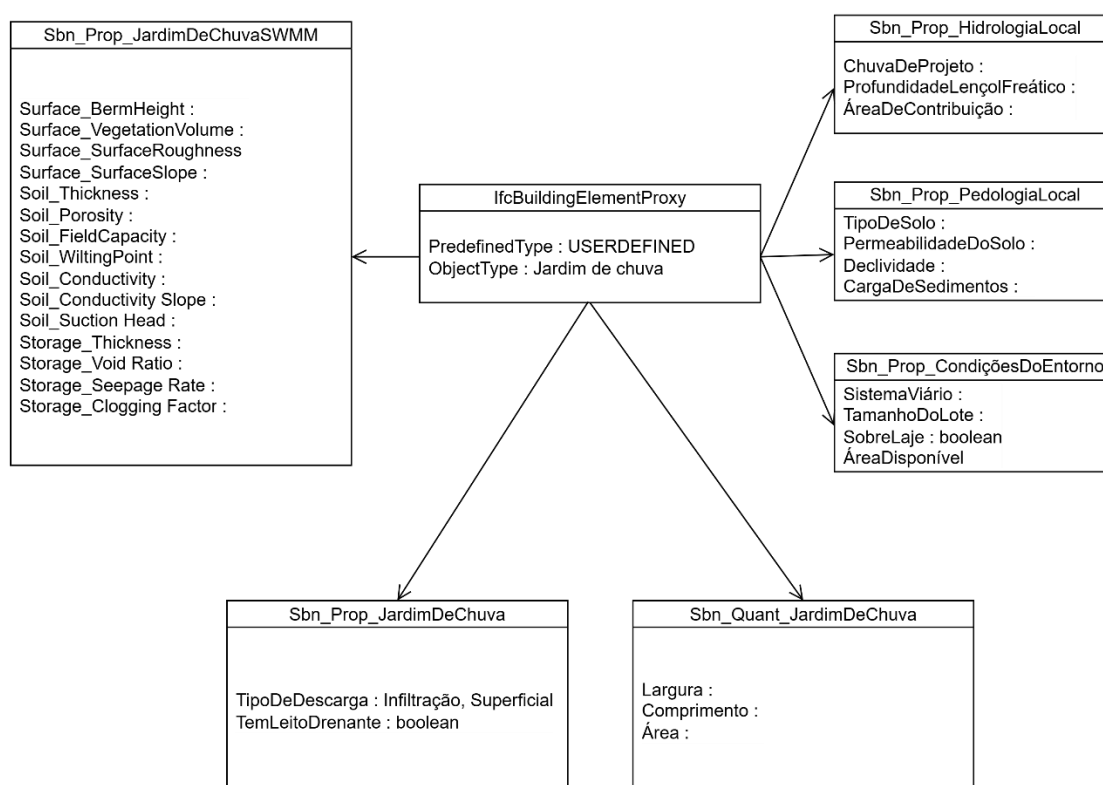


Diagrama 12: Requisitos de Informação do Projeto (PIR) de um Jardim de Chuva. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Dentro do conjunto de propriedades “Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM”, constam as propriedades que devem ser inseridas no SWMM para aplicação de um Jardim de Chuva em um projeto, conforme apresentado no *print* de telas do programa na Figura 58.

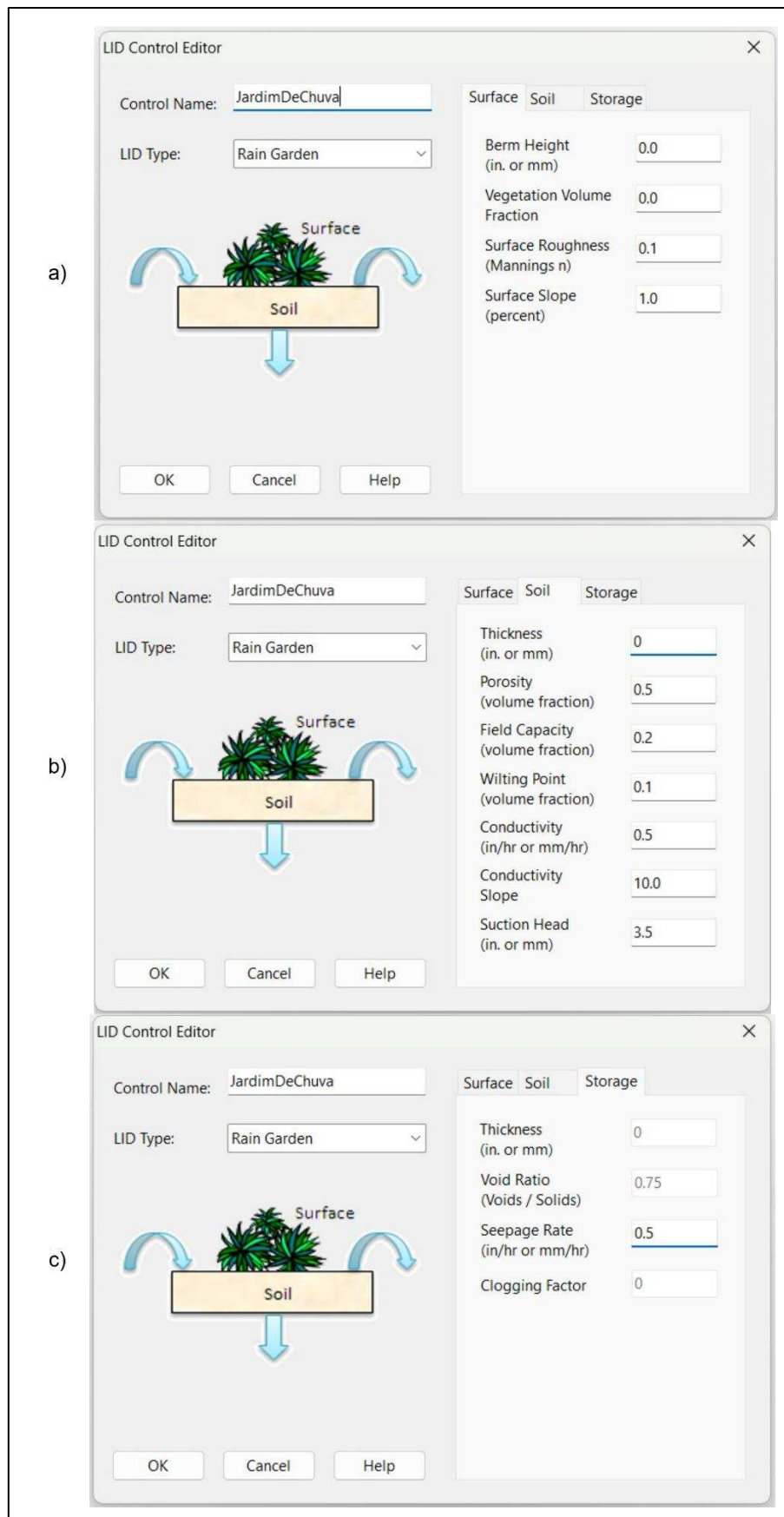


Figura 58: Grupos de parâmetros do SWMM para a tipologia de Jardim de Chuva, a) propriedades da superfície; b) propriedades do solo; c) propriedades de armazenamento. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Quadro 7 apresenta a descrição de cada um desses itens com base na documentação do Guia do Usuário do SWMM 5.2. Essa descrição é necessária para clareza na elaboração do Objeto BIM de Jardim de Chuva e é um complemento ao PIR.

Quadro 7: Parâmetros do SWMM e sua descrição, em complemento ao PIR.

Parâmetro SWMM	Descrição
Surface_BermHeight	Altura da Berma (ou Profundidade de Armazenamento): Quando existem muros de contenção ou bermas, esta é a profundidade máxima até a qual a água pode acumular acima da superfície da unidade antes que ocorra o transbordamento (em polegadas ou mm)
Surface_VegetationVolume	Fração do Volume da Vegetação: A fração do volume dentro da profundidade de armazenamento superficial preenchida com vegetação. Este é o volume ocupado por caules e folhas, não sua cobertura superficial. Normalmente, esse volume pode ser ignorado, mas pode chegar a 0,1 a 0,2 para crescimento vegetativo muito denso.
Surface_SurfaceRoughness	Rugosidade da Superfície: Coeficiente de rugosidade de Manning (n) para escoamento superficial sobre cobertura de solo superficial, pavimento, superfície de telhado ou vale vegetativo (consulte esta tabela para valores sugeridos). Use 0 para outros tipos de LIDs.
Surface_SurfaceSlope	Inclinação da Superfície: Inclinação de uma superfície de telhado, superfície de pavimento ou vale vegetativo (porcentagem). Use 0 para outros tipos de LIDs.
Soil_Thickness	Espessura: A espessura da camada de solo (polegadas ou mm). Os valores típicos variam de 450 a 900 mm (18 a 36 polegadas) para jardins de chuva, floreiras de rua e outros tipos de unidades de biorretenção terrestres, mas apenas de 75 a 150 mm (3 a 6 polegadas) para telhados verdes.
Soil_Porosity	Porosidade: O volume do espaço poroso em relação ao volume total do solo (como uma fração).
Soil_FieldCapacity	Capacidade de Campo: Volume de água dos poros em relação ao volume total após o solo ter drenado completamente (como uma fração). Abaixo deste nível, a drenagem vertical de água através da camada de solo não ocorre.
Soil_WiltingPoint	Ponto de Murcha: Volume de água dos poros em relação ao volume total para um solo bem seco, onde apenas a água retida permanece (como uma fração). O teor de umidade do solo não pode cair abaixo deste limite.
Soil_Conductivity	Condutividade: Condutividade hidráulica para o solo totalmente saturado (pol/h ou mm/h).
Soil_Conductivity Slope	Inclinação da Condutividade: Inclinação média da curva de logaritmo (condutividade) versus déficit de umidade do solo (porosidade menos teor de umidade (sem unidade)). Os valores típicos variam de 30 a 60. Pode ser estimada a partir de uma análise granulométrica padrão do solo como $0,48 \times (\% \text{Areia}) + 0,85 \times (\% \text{Argila})$.
Soil_Suction Head	Altura de Sucção: Valor médio da sucção capilar do solo ao longo da frente de molhagem (polegadas ou mm). Este é o mesmo parâmetro usado no modelo de infiltração de Green-Ampt.

Storage_Thickness	Espessura (ou Altura do Reservatório): Corresponde à espessura de uma camada de brita ou à altura de um reservatório de captação de águas pluviais (em polegadas ou milímetros). As camadas de brita e cascalho normalmente variam de 150 a 450 mm (6 a 18 pol) de espessura, enquanto os reservatórios utilizados em residências unifamiliares costumam ter altura entre 600 e 900 mm (24 a 36 pol).
Storage_Void Ratio	Índice de Vazios: O volume de espaço vazio em relação ao volume de sólidos na camada. Os valores típicos variam de 0,5 a 0,75 para leitos de cascalho. Observe que porosidade = índice de vazios / (1 + índice de vazios).
Storage_Seepage Rate	Taxa de Percolação: A taxa na qual a água penetra no solo nativo abaixo da camada (em polegadas/hora ou mm/hora). Normalmente, esta seria a Condutividade Hidráulica Saturada da sub-bacia circundante, se a infiltração Green-Ampt for utilizada, ou a Taxa Mínima de Infiltração, para a infiltração Horton. Se houver um piso ou revestimento impermeável abaixo da camada, use o valor 0.
Storage_Clogging Factor	Fator de Colmatação: Volume total de escoamento tratado necessário para obstruir completamente o fundo da camada dividido pelo volume vazio da camada. Use o valor 0 para ignorar a colmatação. A colmatação reduz progressivamente a Taxa de Infiltração em proporção direta ao volume cumulativo de escoamento tratado e pode ser preocupante apenas para valas de infiltração com fundos permeáveis e sem drenos subterrâneos.

Fonte: Adaptado de EPA SWMM 5.2 (2023).

Por fim, enunciam-se os Requisitos de Troca de Informação (EIR). O EIR mapeia como a informação deve circular no andamento do projeto. Nessa situação, como não há um caso concreto de uso de ambiente comum de dados (CDE) por exemplo, os Requisitos de Troca foram determinados para garantir a integridade das informações ao longo do processo estabelecido pelo AIR. O EIR é apresentado na Figura 59.

Requisitos de Troca de Informação (EIR)

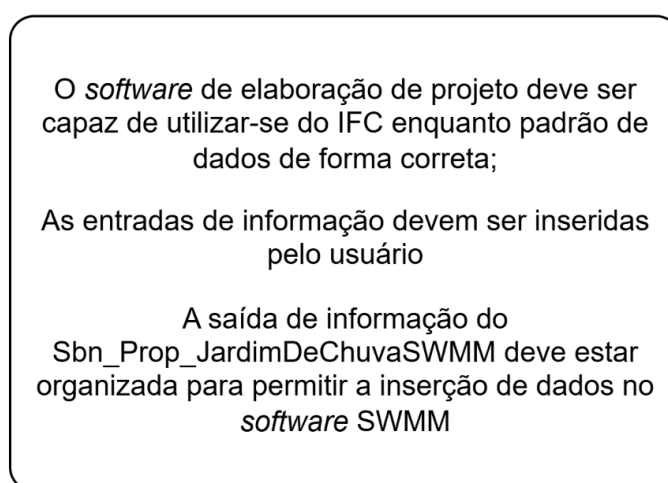


Figura 59: Requisitos de Troca de Informação (EIR). Fonte: Elaborado pelo Autor.

6.4 Aplicação 1: Modelagem de Jardim de Chuva no Revit conforme requisitos elaborados

A aplicação dos requisitos de informação na modelagem de um objeto BIM dentro do Revit foi uma etapa de aplicação prática e avaliação do artefato desenvolvido. Seguindo o processo descrito no Diagrama 4, foi criada uma família com base em modelo genérico no Revit. A estrutura inicial do modelo de família é apresentada na Figura 60. Na figura, observa-se à esquerda a categoria escolhida e na janela de Tipos de famílias exibem-se apenas os parâmetros originais da família, que são gerados pelo programa assim que o arquivo é criado.

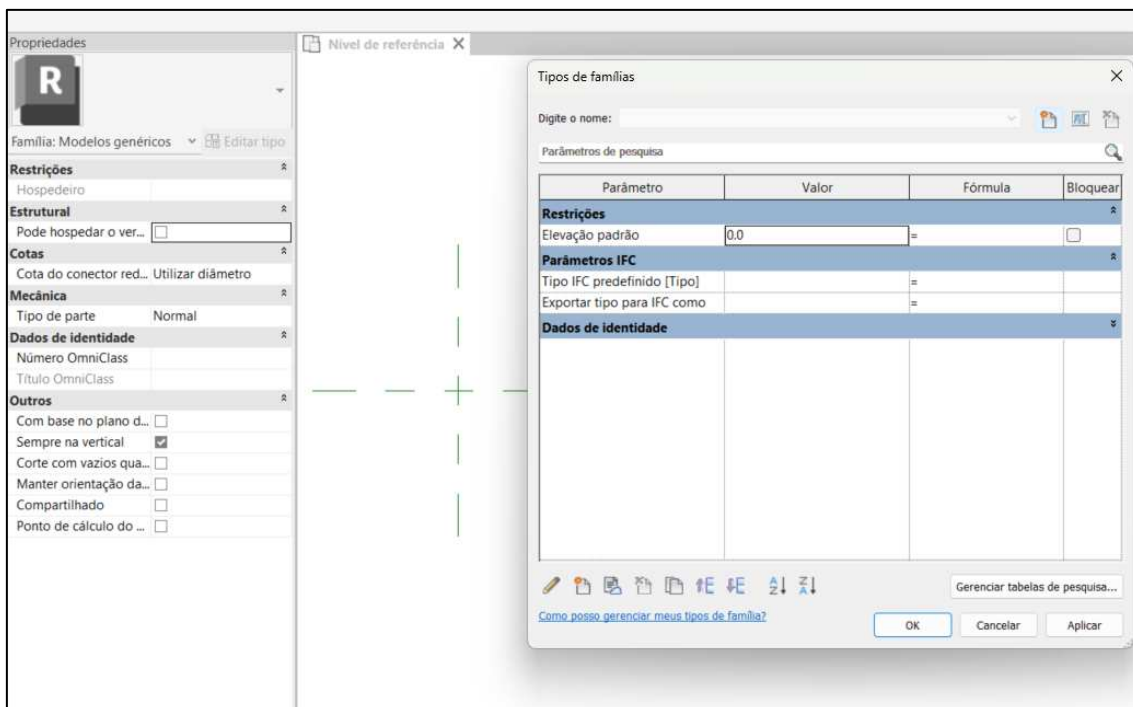


Figura 60: Família Revit em branco, com base em modelo genérico. Fonte: Elaborado pelo Autor.

O Quadro 8 apresenta os parâmetros do conjunto de propriedades relativos ao SWMM na primeira coluna e o tipo de informação, geométrica ou alfanumérica na segunda. As informações geométricas dizem respeito às dimensões do jardim. As informações alfanuméricas tratam das propriedades específicas de funcionamento da SBN e necessárias ao cálculo hidráulico-hidrológico dentro de um *software* de modelagem hidrológica.

Quadro 8: Tipos de informação dos parâmetros do SWMM

Parâmetro SWMM	Tipo de informação	Tipo de dados
Surface_BermHeight	Geométrica	Comprimento
Surface_VegetationVolume	Alfanumérica	Número
Surface_SurfaceRoughness	Alfanumérica	Número
Surface_SurfaceSlope	Alfanumérica	Número
Soil_Thickness	Geométrica	Comprimento
Soil_Porosity	Alfanumérica	Número
Soil_FieldCapacity	Alfanumérica	Número
Soil_WiltingPoint	Alfanumérica	Número
Soil_Conductivity	Alfanumérica	Número
Soil_Conductivity Slope	Alfanumérica	Número
Soil_Suction Head	Alfanumérica	Número
Storage_Thickness	Geométrica	Comprimento
Storage_Void Ratio	Alfanumérica	Número
Storage_Seepage Rate	Alfanumérica	Número
Storage_Clogging Factor	Alfanumérica	Número

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Com base nisso, as informações geométricas foram inseridas como parâmetros vinculados à geometria da família no Revit, enquanto as informações foram inseridas como parâmetros específicos, de número ou texto, a serem aplicados.

As propriedades IFC *DurationMaintenanceLevel* e *DurationReplacementLevel* também foram adicionadas ao elemento de jardim de chuva, bem como as classificações IFC de tipo predefinido e *IfcObjectType*. A Figura 61 e Figura 62 apresentam as vistas da Família elaborada. A Figura 63 e Figura 64 apresentam a Família Revit adicionada a um projeto, com seus parâmetros apresentados.



Figura 61: Família Revit de Jardim de chuva, vista em planta. Fonte: Elaborado pelo Autor.

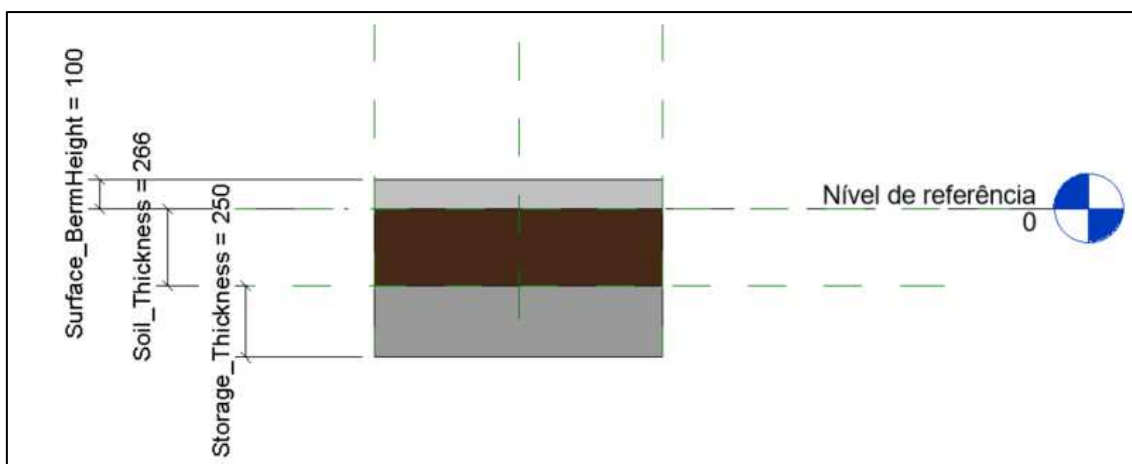


Figura 62: Família Revit de Jardim de chuva, vista em elevação. Fonte: Elaborado pelo Autor.

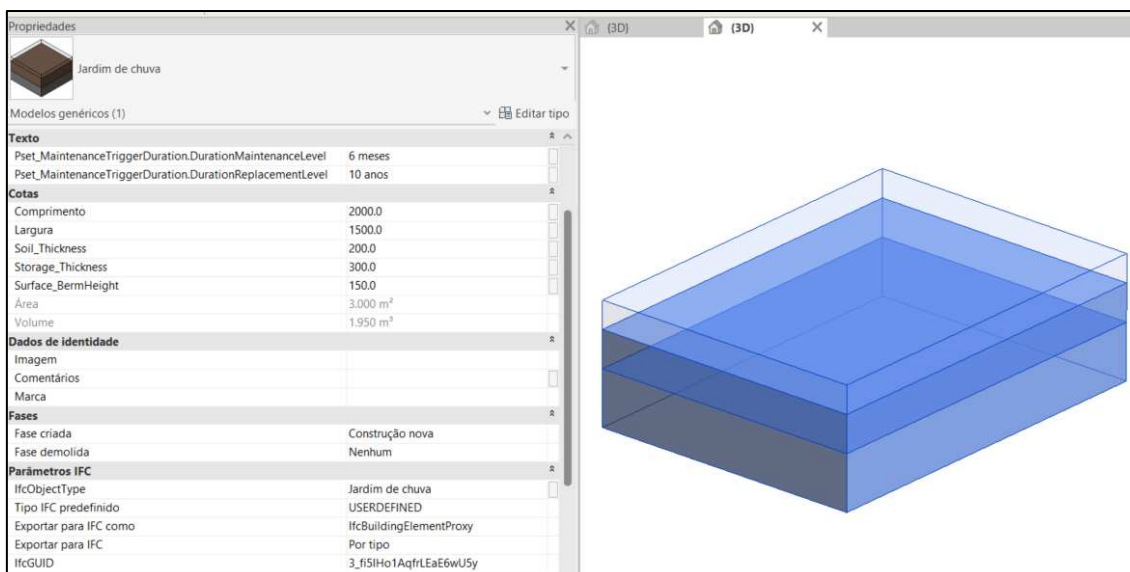


Figura 63: Família de Jardim de chuva aplicada em um projeto, com seus respectivos parâmetros. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Outros	
Soil_Conductivity	0.000000
Soil_Conductivity Slope	0.000000
Soil_Porosity	0.000000
Soil_Suction Head	0.000000
Soil_WiltingPoint	0.000000
Storage_Clogging Factor	0.000000
Storage_Seepage Rate	0.000000
Storage_Void Ratio	0.000000
Surface_SurfaceRoughness	0.000000
Surface_SurfaceSlope	0.000000
Surface_VegetationVolume	0.000000

Figura 64: Parâmetros carregados na Família de Chuva, correspondentes ao conjunto de propriedades do SWMM. Fonte: Elaborada pelo Autor.

A Figura 65 apresenta o arquivo de parâmetros compartilhados que foi criado para atribuição dos parâmetros à Família de Jardim de chuva.

```

# This is a Revit shared parameter file.
# Do not edit manually.
*META VERSION MINVERSION
META 2 1
*GROUP ID NAME
GROUP 1 Sbn_Prop_HidrologiaLocal
GROUP 2 Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM
*PARAM GUID NAME DATATYPE DATACATEGORY GROUP VISIBLE DESCRIPTION USERMODIFIABLE HIDEWHENNOVALUE
PARAM e8ddddd03-4895-4848-8827-b8efa0d02fae Storage_Clogging Factor NUMBER 2 1 1 0
PARAM ecd13305-d51a-4311-a311-ed0aa70330fe Soil_Conductivity Slope NUMBER 2 1 1 0
PARAM 16f9af17-4190-4f3d-b23b-8ec74e30b802 Soil_Conductivity NUMBER 2 1 1 0
PARAM 409ab127-9a7f-426f-a0b5-a88fb047f8fa Storage_Thickness LENGTH 2 1 1 0
PARAM 78b3f12f-8379-4306-893a-fb1dda60e1e2 ÁreaDeContribuição AREA 1 1 1 0
PARAM bd1ec03a-334e-4ad8-851f-d626f5832a29 Surface_SurfaceRoughness NUMBER 2 2 1 1 0
PARAM dbe61b43-6590-4b0a-a7dc-ae4fe8f5764 Surface_BermHeight LENGTH 2 1 1 0
PARAM 4237a45f-49cb-4245-81f5-34d3afcc6b59 Soil_Suction Head NUMBER 2 1 1 0
PARAM 1f5e4a68-2b8a-44b0-9a43-a5b76f996478 Soil_FieldCapacity NUMBER 2 1 1 0
PARAM 60898e6a-c926-4b59-8e52-c611d2eaf0de Soil_Thickness LENGTH 2 1 1 0
PARAM 534c3479-d464-47d7-a731-71bfe3c6b46e Storage_Void Ratio NUMBER 2 1 1 0
PARAM 18202c92-04a9-4a09-8160-26dcc7f74694 ChuvaDeProjeto NUMBER 1 1 1 0
PARAM 6e10b492-26e2-476e-920c-d816d9fafd7 Soil_Porosity NUMBER 2 1 1 0
PARAM 5600749a-e014-4120-bda5-e6642d775bf1 Surface_SurfaceSlope NUMBER 2 1 1 0
PARAM 5861749b-0606-4bfb-8310-9cd18976dcc4 ProfundidadeLençolFreático LENGTH 2 1 1 0
PARAM 463150ab-23d1-4d4a-8eb1-7db3d4ae646c Storage_Seepage Rate NUMBER 2 1 1 0
PARAM aceeeeb1-852c-4901-bd3d-923eb9e67365 Soil_WiltingPoint NUMBER 2 1 1 0
PARAM 958e31d9-9a86-4445-8b1a-bb0432e86240 Surface_VegetationVolume NUMBER 2 2 1 1 0

```

Figura 65: Arquivo de parâmetros compartilhados criado na elaboração da Família. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Após a criação do Objeto BIM, foi realizada a exportação do elemento do Revit para o formato IFC. Para tanto, conforme descrito no Diagrama 5, foi elaborado um arquivo de mapeamento de propriedades. Seu objetivo é criar um “de/para” no processo de exportação, direcionando as propriedades internas do Revit para o local e nomenclatura esperadas no arquivo IFC.

As propriedades específicas do SWMM foram inseridas com os nomes planejados, de forma que não é necessária alteração de nomenclatura. Para essas propriedades, foi mapeado apenas um novo nome de conjunto de propriedades. As propriedades de dimensão em planta e Área da SBN, que são utilizados para aplicação do Jardim de chuva no SWMM, estas foram mapeadas para um outro conjunto de propriedades “Sbn_Quant_JardimDeChuva”. Abaixo, o arquivo de texto produzido para mapeamento das propriedades.

PropertySet: Sbn_Prop_JardimDeChuvaID	I	IfcBuildingElementProxy
IfcObjectType	Text	
PredefinedType	Text	Tipo IFC predefinido
PropertySet: Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM	I	IfcBuildingElementProxy
Surface_BermHeight	Length	
Surface_VegetationVolume	Number	
Surface_SurfaceRoughness	Number	
Surface_SurfaceSlope	Number	
Soil_Thickness	Length	
Soil_Porosity	Number	
Soil_FieldCapacity	Number	
Soil_WiltingPoint	Number	
Soil_Conductivity	Number	
Soil_Conductivity Slope	Number	
Soil_Suction Head	Number	
Storage_Thickness	Length	
Storage_Void Ratio	Number	
Storage_Seepage Rate	Number	
Storage_Clogging Factor	Number	
PropertySet: Sbn_Prop_JardimDeChuvaManutenção	I	IfcBuildingElementProxy
Pset_MaintenanceTriggerDuration.DurationMaintenanceLevel	Text	
Pset_MaintenanceTriggerDuration.DurationReplacementLevel	Text	
PropertySet: Sbn_Quant_JardimDeChuva	I	IfcBuildingElementProxy
Largura	Length	
Comprimento	Length	
Area	Area	Área

Com isso, é possível realizar a exportação do IFC a partir do Revit e conferir inicialmente a aderência do resultado. A Figura 66, Figura 67, Figura 68 e Figura 69 apresentam, respectivamente, os conjuntos de propriedades de Identificação, Manutenção, SWMM e Quantidades do Jardim de chuva criado. A visualização é feita no *software BIMcollab Zoom*.

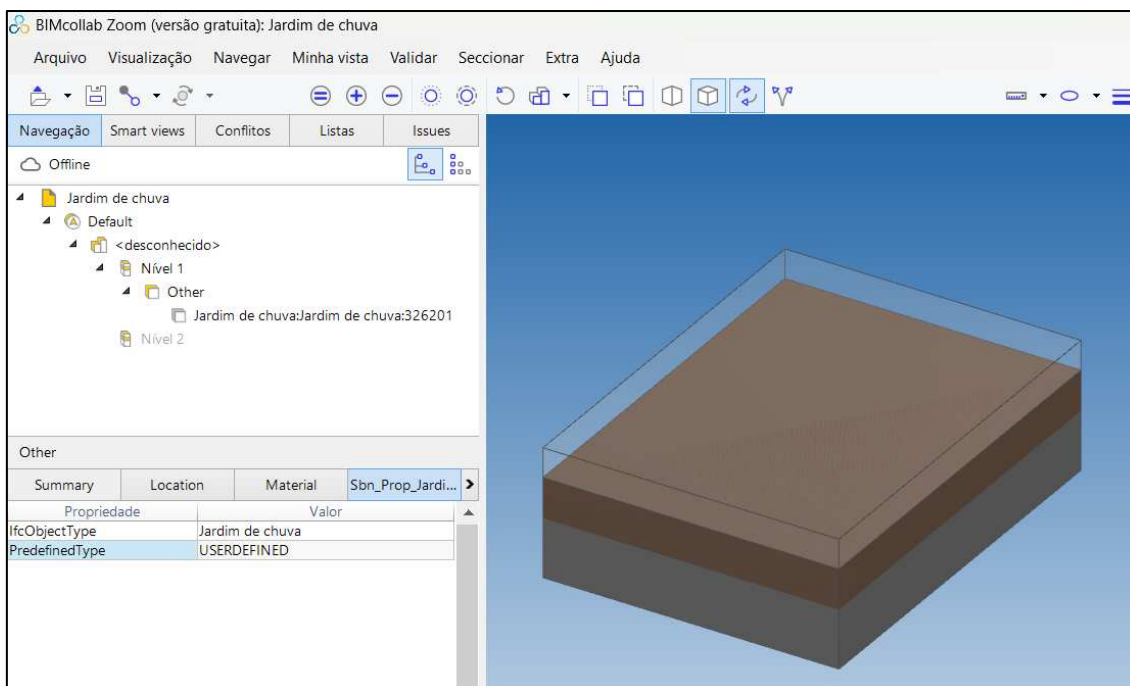


Figura 66: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades de identidade. Fonte: Elaborada pelo Autor.

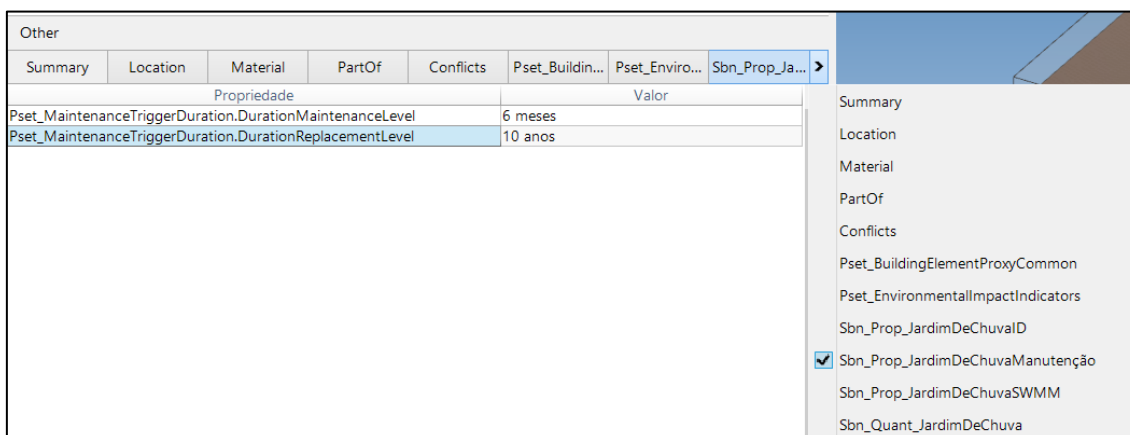


Figura 67: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades de Manutenção. Fonte: Elaborada pelo Autor.

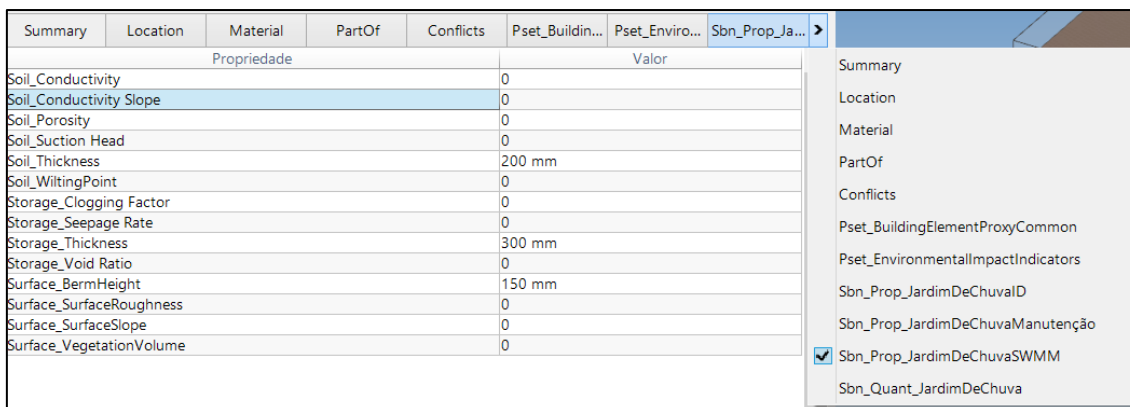


Figura 68: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades do SWMM. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Summary	Location	Material	PartOf	Conflicts	Pset_Buildin...	Pset_Enviro...	Sbn_Quant_...
Propriedade				Valor			
Comprimento							2000
Largura							1500
Área superficial							3,00 m ²

Summary
Location
Material
PartOf
Conflicts
Pset_BuildingElementProxyCommon
Pset_EnvironmentalImpactIndicators
Sbn_Prop_JardimDeChuvaID
Sbn_Prop_JardimDeChuvaManutenção
Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM
<input checked="" type="checkbox"/> Sbn_Quant_JardimDeChuva

Figura 69: Família de Jardim de chuva em IFC, no visualizador BIMcollab, exibindo as propriedades de quantidade. Fonte: Elaborada pelo Autor.

6.5 Especificação de Entrega de Informação (IDS) para um Jardim de Chuva

A construção do documento de IDS foi executada na plataforma *IDS Editor*. Como descrito no Diagrama 6, a primeira atividade do processo a ser cumprida é o estabelecimento da aplicabilidade. Para tanto, observam-se os requisitos de informação do projeto. A partir do PIR, a etapa de aplicabilidade filtra os elementos que serão analisados em termos de seus requisitos.

Assim, as condições de aplicabilidade definidas utilizam duas facetas de informação: dados de Entidade e dados de Propriedade. Na Entidade, define-se a classe IFC *IfcBuildingElementProxy*, escolhida anteriormente como classe que descreve as SBN.

A segunda etapa especifica qual SBN será analisada, algo necessário caso o projeto analisado contivesse diferentes tipos de SBN. Assim, analisa-se a propriedade *IfcObjectType*, que está contida no conjunto de propriedades “Sbn_Prop_JardimDeChuvaID”, com tipo de dado *IfcText* e valor “Jardim de chuva”. A Figura 70 apresenta um *print* da estruturação desses termos na plataforma citada.

Entity Applicability ⋮

The entity must be IFCBUILDINGELEMENTPROXY.

Entity T

Predefined Type optional T

Property Applicability ⋮

Must contain a property of type IFCTEXT where the name must be IfcObjectType. The value must be Jardim de chuva and the property set must be Sbn_Prop_JardimDeChuvaID.

Property Name T

Property Set T

Data Type T

Value optional T

Figura 70: Parâmetros de aplicabilidade da IDS. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Em termos de requisitos, todas as propriedades do conjunto de propriedades do SWMM foram inseridas na IDS utilizando a mesma estrutura. O nome da propriedade segue o que foi descrito, o conjunto de propriedades é o mesmo e o tipo de dados varia entre *IfcLengthMeasure* para as propriedades geométricas e *IfcText* para as demais. A Figura 71 apresenta de forma representativa duas propriedades, sendo que as outras treze seguem a mesma estrutura.

Property Requirements Required ⋮

Must contain a property of type IFLENGTHMEASURE where the name must be Surface_BermHeight. The property set must be Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM.

Property Name T

Property Set T

Data Type T

Value optional T

Property Requirements Required ⋮

Must contain a property of type IFCTEXT where the name must be Surface_VegetationVolume. The property set must be Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM.

Property Name T

Property Set T

Data Type T

Value optional T

Figura 71: Parâmetros de requisitos da IDS. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Com esses passos, foi criado o arquivo de especificação de entrega da informação em formato interpretável por computador, com base em XML, permitindo a verificação automática das informações entregues em um modelo IFC. O arquivo completo da IDS exportada é apresentado no Anexo 1.

6.6 Validação da entrega de informação de um Jardim de Chuva com base em IDS

Com o modelo IFC de jardim de chuva construído e exportado e com a IDS elaborada e exportada, foi possível executar a validação das informações entregues. A primeira parte da validação foi realizada em um modelo IFC que está em conformidade, ou seja, que não apresentou erros na entrega da informação, conforme Figura 72.

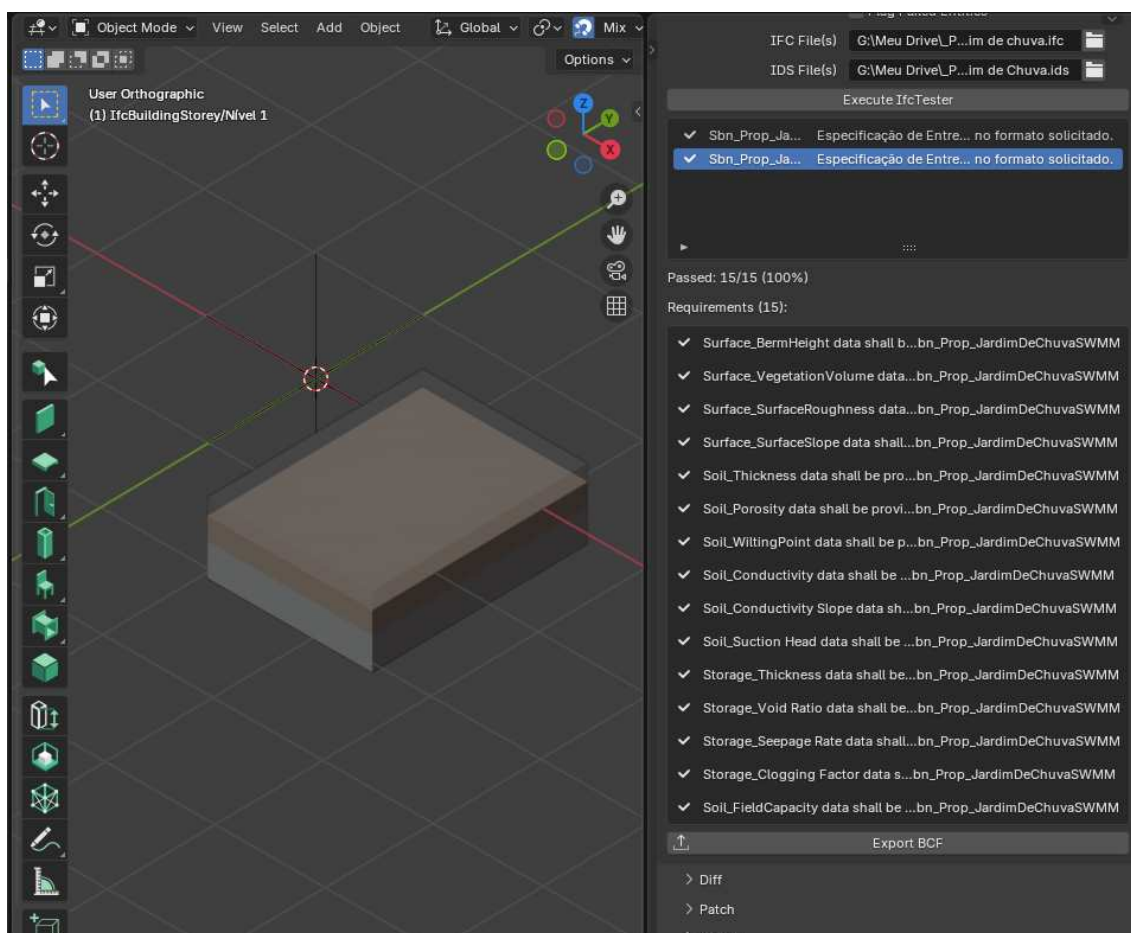


Figura 72: Validação de IDS no *software Blender*, com todos os requisitos sendo atendidos. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Uma segunda execução foi feita em um modelo elaborado propositalmente com uma propriedade ausente, para que seja possível observar

o resultado da validação da IDS. Na Figura 73 observa-se um requisito não atendido, onde uma propriedade requisitada está ausente.

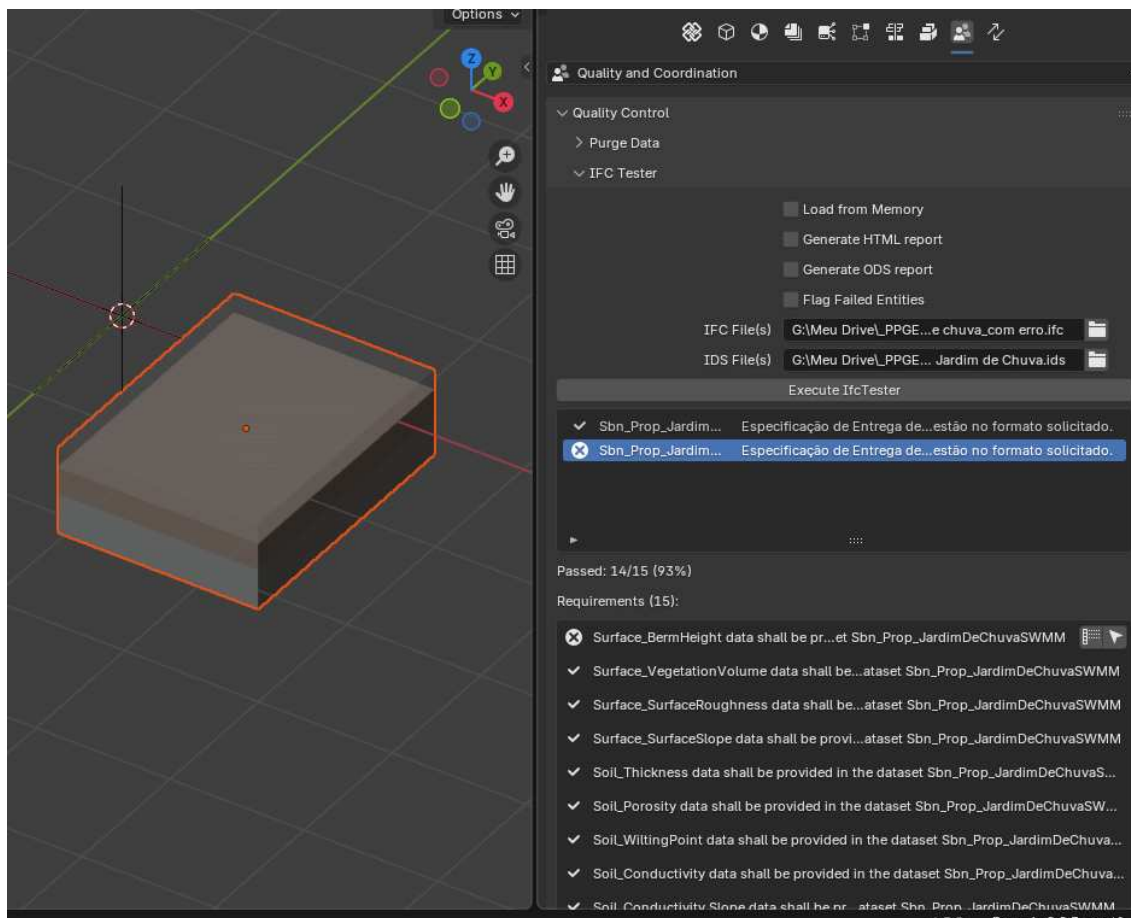


Figura 73: Validação de IDS no *software Blender*, com erro de atendimento de requisito. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Neste caso, é possível exportar um relatório no formato padrão BCF, o qual apresenta os dados de forma interpretável por qualquer *software* de colaboração BIM que seja capaz de ler um arquivo BCF. O relatório foi aberto para visualização na ferramenta gratuita *usBIM.bcf*, da *Acca Software*, onde um apontamento gerado automaticamente pelo validador de IDS indica:

IfcBuildingElementProxy - Jardim de chuva:Jardim de chuva:326201 - The property set does not contain the required property - 3_fi5lHo1AqfrLEaE6wU5y - 326201

Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM - Surface_BermHeight data shall be provided in the dataset Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM

6.7 Aplicação 2: Implementação do método racional com *Dynamo* para cálculo do escoamento máximo de uma microbacia

A implementação do método racional com a ferramenta *Dynamo*, que opera dentro do Revit, permite o cálculo do escoamento superficial de uma bacia com base em informações modeladas diretamente em um projeto. Esta aplicação demonstra a capacidade de ferramentas BIM gerenciarem dados, sendo que seu uso de forma integrada com formas de automação e programação, seja textual ou visual, tem potencial de otimizar os fluxos de trabalho e permitir explorar novas áreas. A Figura 74 apresenta a bacia hipotética de estudo, criada diretamente no Revit.

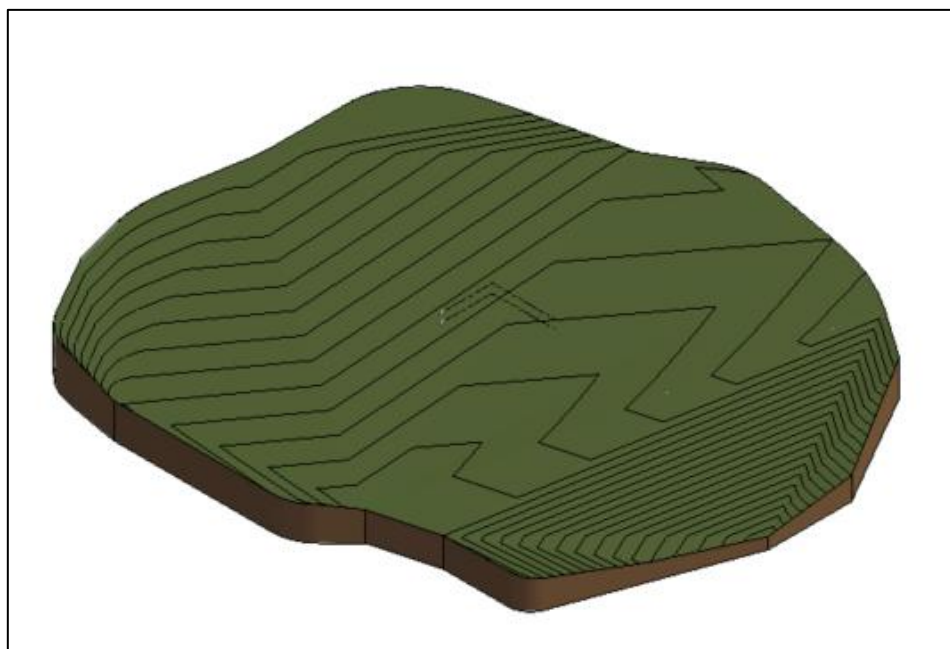


Figura 74: Bacia hipotética de estudo. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Nas figuras a seguir, apresenta-se o passo a passo do algoritmo criado dentro do *Dynamo*. Cada etapa será descrita acompanhando os nós e conexões da programação visual, divididas conforme Figura 75.

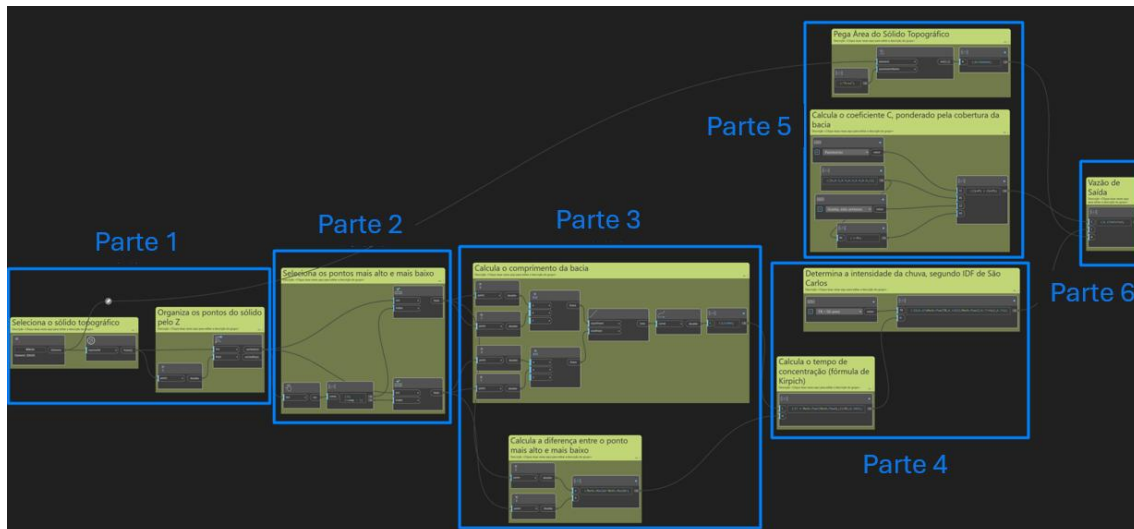


Figura 75: Algoritmo *Dynamo* completo, com as seis partes identificadas. Fonte: Elaborada pelo Autor.

A Figura 76 apresenta o início do algoritmo. Nessa parte, utilizam-se nós para selecionar o sólido topográfico projetado no Revit, listar todos os pontos que definem geometricamente a topografia e então ordená-los em função da coordenada Z do ponto. Isso será necessário para o passo 2.



Figura 76: Algoritmo *Dynamo* para vazão máxima de bacia, parte 1. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na Figura 77, o algoritmo continua com dois nós que recebem a lista de pontos gerada na parte um e cada um deles extrai um ponto desta lista. O nó acima extrai o primeiro ponto da lista, ou seja, o de menor valor na coordenada Z; e o outro extrai o último ponto da lista, com maior coordenada Z.

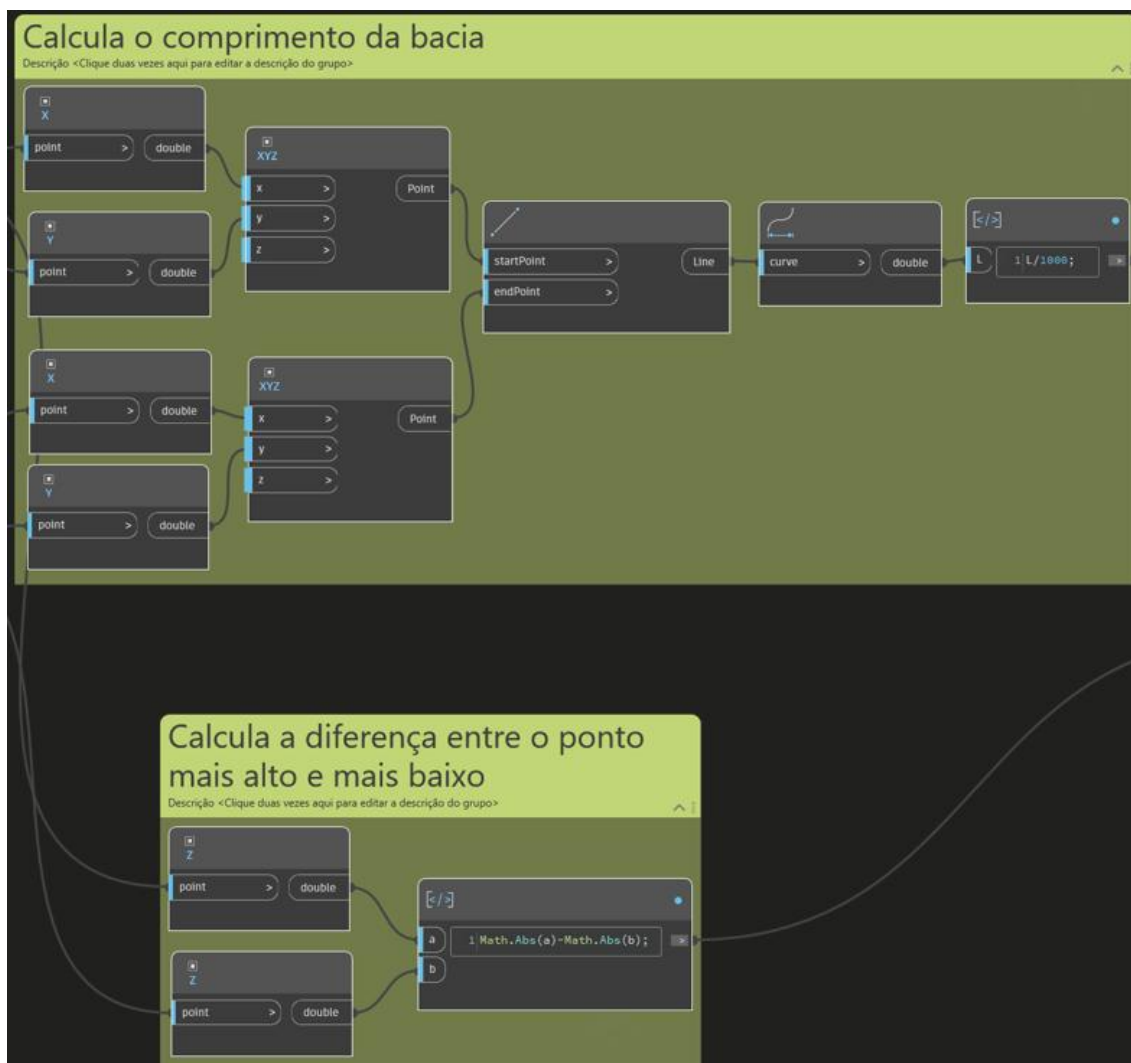


Figura 78: Algoritmo *Dynamo* para vazão máxima de bacia, parte 3. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Na Figura 79, calculam-se dois parâmetros. O primeiro é o tempo de concentração da bacia, calculado a partir da equação de Kirpich, apresentada anteriormente na Equação 4. Com o resultado do tempo de concentração da bacia, toma-se como referência a equação de curva IDF para a cidade de São Carlos elaborada por Nóbrega Gomes Júnior et al., (2020) para cálculo da intensidade da chuva de projeto.

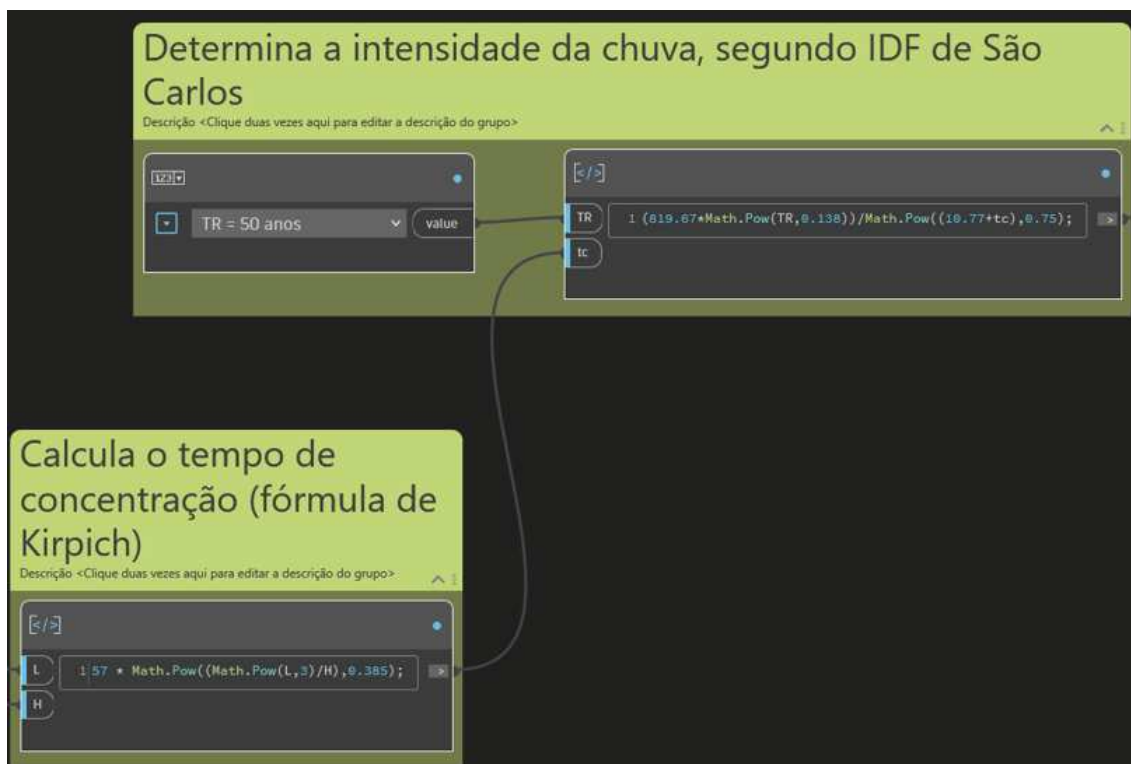


Figura 79: Algoritmo *Dynamo* para vazão máxima de bacia, parte 4. Fonte: Elaborada pelo Autor.

A quinta parte do algoritmo é apresentada na Figura 80. Toma-se, a partir do sólido topográfico criado, sua área de superfície. O coeficiente de escoamento foi calculado a partir de uma lista de valores de exemplo, ponderando-se diferentes percentuais de tipo de uso do solo, entre áreas pavimentadas ($C = 0,85$) e áreas gramadas com solo arenoso ($C = 0,1$), como demonstração dinâmica da diferença na vazão de escoamento em função da alteração da cobertura do solo. A lista pondera que a cobertura pavimentada acontece em 0%, 20%, 40%, 50%, 60%, 80% e 100% da área da bacia hipotética.

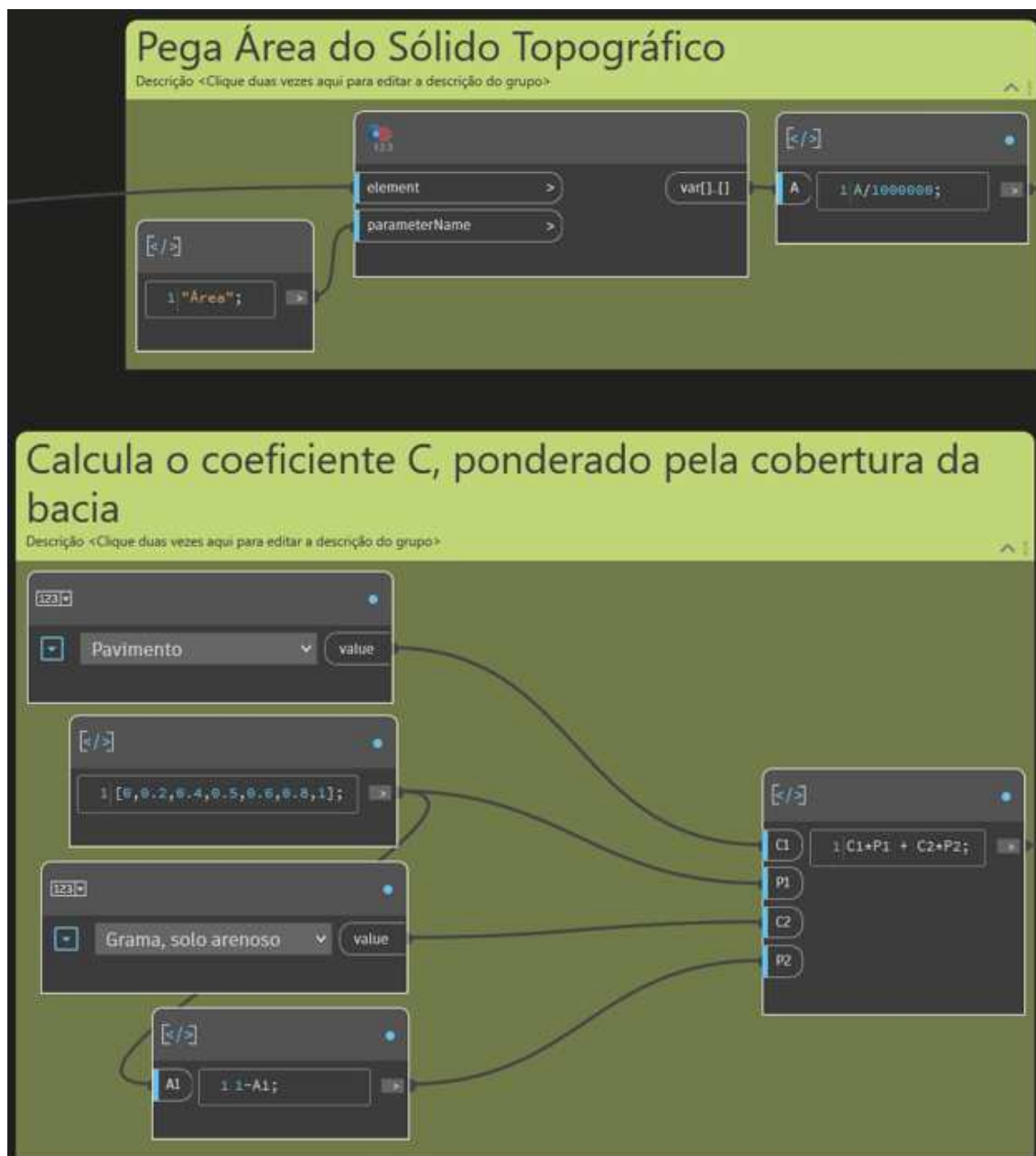


Figura 80: Algoritmo *Dynamo* para vazão máxima de bacia, parte 5. Fonte: Elaborada pelo Autor.

Com isso, a Figura 81 apresenta o resultado do algoritmo, a partir de todas as informações extraídas da topografia e calculadas com as fórmulas e premissas apresentadas. A lista de valores de escoamento superficial, em m^3/s , aparece abaixo na imagem. Cada valor dessa lista corresponde, respectivamente, a um valor de C ponderado pelas diferentes condições de cobertura do solo. Assim, em uma condição de solo com 0% de pavimentação, temos uma vazão de $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$. Para uma condição com 50% da área pavimentada e 50% de grama, temos uma vazão de $1,19 \text{ m}^3/\text{s}$. Por fim, para uma microbacia 100% impermeabilizada, a vazão gerada é de $2,14 \text{ m}^3/\text{s}$.



Figura 81: Algoritmo *Dynamo* para vazão máxima de bacia, parte 6. Fonte: Elaborada pelo Autor.

6.8 Metodologia para decodificar usos BIM em Processos e Requisitos de informação

Como último produto dessa pesquisa, com base na metodologia de *Design Science Research*, propõe-se a generalização dos artefatos criados para uma determinada classe de problemas. A classe de problemas escolhida é de “decodificar usos BIM em processos e requisitos de informação”. Ou seja, essa é uma classe geral, dentro da qual estudou-se a subclasse que corresponde a transformar o uso BIM “simulação hidrológica de SBN” em Mapas de Processos e Requisitos de Informação.

Assim, o Diagrama 13 apresenta o processo proposto. O início do processo é precedido pela existência de um “problema”, alguma condição sobre a qual entende-se que processos, políticas e tecnologias BIM podem agir. Constatado o problema e idealizado um Uso BIM para supri-lo, deve-se compreender adequadamente a área do conhecimento, todo seu contexto, o estado da arte. Essa compreensão é base para o mapeamento dos processos envolvidos que são de interesse. Esse mapeamento busca dar clareza à

sequência lógica das atividades, seus dados de entrada, seus dados de saída e a interdependência e correlação com as atividades adjacentes e atividades de outros processos.

A clareza de todos os processos envolvidos no que se estuda dá condições para o desenho de Requisitos de Informação com base na ISO 19650 para criação de OIR, AIR, PIR e EIR. Os Requisitos suportam o orientam a criação dos Modelos BIM, que após elaborados, devem ter sua conformidade validada através de procedimentos de avaliação como o uso de IDS. Com um modelo BIM íntegro e alinhado aos Requisitos, é possível executar o Uso BIM concebido inicialmente.

Após a execução do Uso BIM, avaliam-se os resultados para retroalimentação do processo, em que os aprendizados gerados podem impactar na própria escolha de Uso da informação; nos mapas de processo; na criação dos Requisitos; e na produção de modelos.

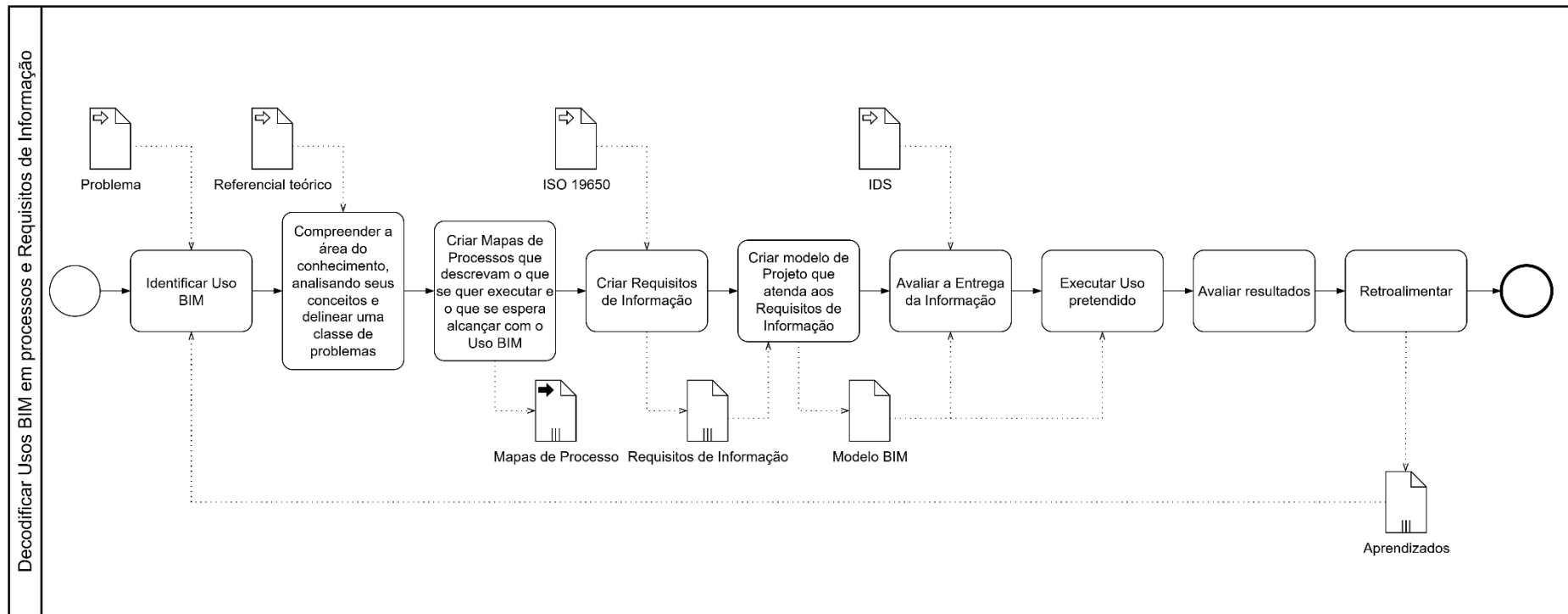


Diagrama 13: Processo para decodificar um Uso BIM em processos e Requisitos de Informação. Fonte: Elaborado pelo Autor.

7 Conclusões

A execução da pesquisa permitiu a criação de fluxos de trabalho para a interpretação dos conceitos de Soluções Baseadas na Natureza e termos correlatos através da metodologia BIM, fluxos de trabalho e padrões openBIM.

De início, toda a revisão e conceituação da área de conhecimento de drenagem alternativa trouxe grande complexidade à geração e consolidação de um vocabulário técnico. Com a análise de frequência de técnicas construtivas, foi possível constatar que apesar da aparente grande fragmentação, os conceitos em torno de SBN e todos os demais termos são bastante próximos e tem plena possibilidade de serem integrados, com a abordagem correta e com respeito às particularidades de cada um.

A partir da consolidação proposta para a área de SBN, foi possível iniciar sua interpretação através da metodologia BIM. Mesmo não sendo uma área coberta pelo padrão IFC, foi possível elaborar fluxos de trabalho baseados em padrões openBIM com as devidas adaptações. Apesar disso, destaca-se a relevância que um Domínio, ou área do conhecimento, ganha dentro do BIM quando suas especificidades são atendidas pelo IFC. Assim, mesmo que já seja viável utilizar processos BIM para projetos de SBN, é altamente relevante que os padrões evoluam e possam atender de forma padronizada à esta área.

Os Requisitos de Informação foram elaborados, respondendo ao Objetivo de definir parâmetros de projetos relevantes a serem modelados em Objetos BIM, descritos através do AIR e PIR.

Com exceção da criação de Objetos BIM, ou de modelos de projeto BIM, os demais fluxos de trabalho foram viabilizados com ferramentas gratuitas e/ou de código aberto. Isso tem especial relevância considerando-se que a pesquisa se enquadra também nos conceitos de Modelagem da Informação da Cidade e mais especificamente Modelagem da Informação da Paisagem.

Nesse cenário, a condição mais comum é de gestão pública dos ativos envolvidos. Isso demanda que as ferramentas sejam acessíveis, duráveis e que não haja, por exemplo, exigência de um único *software* para atender as

demandas de projeto. A identificação das ferramentas de mercado, proprietárias ou livres, foi feita em cada tópico pertinente.

Por fim, os resultados apresentados são de ferramentas teóricas que embasam a realização de análises dos efeitos de SBN em bacias urbanas. Com estas ferramentas é possível, por exemplo, especificar em uma contratação pública quais informações devem ser geradas em um projeto de drenagem urbana que contemple SBN, para que então os modelos produzidos subsidiem as análises pertinentes.

As ferramentas criadas foram aplicadas e validadas em termos de funcionalidade dos fluxos de trabalho propostos. Assim, é possível selecionar um uso BIM, determinar os requisitos de informação pertinentes, comunicá-los às partes envolvidas, receber a informação e validar sua conformidade, para então disponibilizá-la ao uso de fato.

8 Recomendações para pesquisas futuras

A seguir destacam-se pontos relevantes identificados ao longo da pesquisa que podem ser explorados em pesquisas futuras.

A consolidação de técnicas de SBN pode contar com o apoio da elaboração de dicionários de dados como ferramenta para harmonização. Os dicionários de dados, como os disponíveis no serviço *buildingSMART Data Dictionary* (bSDD) permitem a integração entre diversos sistemas de classificação, criando uma linguagem comum e clareza entre o que há de correspondente e divergente em cada situação.

Cada termo de SBN pode ser profundamente explorado para sua compreensão. Porém, a presente pesquisa gerou um entendimento de que em termos de construção civil e uso do BIM, as técnicas construtivas em si poderiam sobrepor-se aos seus respectivos termos geradores. Isso leva a atenção ao processo de dimensionamento das técnicas, que então podem ser mais profundamente explorados, pois diferentes estratégias e metodologias de dimensionamento geram diferentes AIR e conseqüentemente diferentes PIR e Objetos BIM.

A elaboração dos Requisitos de Troca de Informação pode contar com outras e melhores formas de intercâmbio de dados. Podem ser exploradas formas de integração automáticas através de APIs, que consigam transmitir as informações de requisitos de projeto entregues diretamente para *softwares* de modelagem hidrológica como o SWMM ou outros. Destaca-se também que outros *softwares* de modelagem hidrológica gerariam Requisitos diferentes, que podem ser explorados e comparados em busca de soluções otimizadas.

Ainda em termos de requisitos, o item 6.7 apresentou como informações relevantes podem ser obtidas diretamente de um modelo BIM do entorno. Isso abre possibilidades para que as informações inseridas manualmente a respeito da pedologia, topografia e hidrologia sejam, em outros casos, apreendidas diretamente do modelo de informação produzido no mesmo ambiente de *software* a partir de requisitos estabelecidos para tal.

O mesmo item 6.7 destaca a possibilidade de implementações de códigos e algoritmos. Como um *software* livre, o SWMM possui seu código aberto, e cálculos hidrológicos poderiam ser reproduzidos dentro do *Dynamo* para gerar análises iniciais de hidrologia ainda dentro da ferramenta de projeto.

9 Referências

ABDIRAD, Hamid; LIN, Ken-Yu. Advancing in Object-Based Landscape Information Modeling: Challenges and Future Needs. *Em: COMPUTING IN CIVIL ENGINEERING 2015, Anais [...]*. [s.l: s.n.]

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Sistema de classificação da informação da construção - Parte 1: Terminologia e estrutura. [s.l: s.n.].

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15965-1: Sistema de classificação da informação da construção - Parte 1: Terminologia e estrutura. [S. l.], 2011. b.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 12006-2: Construção de edificação - Organização de informação da construção. Parte 2: Estrutura para classificação. [S. l.], 2018. a.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 16354: Diretrizes para as bibliotecas de conhecimento e biblioteca de objetos. [s.l: s.n.].

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15965-4: Sistema de classificação da informação da construção - Parte 4: Recursos da construção. [s.l: s.n.].

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR ISO 19650-1: Organização da informação acerca de trabalhos da construção - Gestão da informação usando a modelagem da informação da construção - Parte 1: Conceitos e princípios. Rio de Janeiro.

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 16739 - Industry Foundation Classes (IFC) para o compartilhamento de dados pelas indústrias da construção e da gestão de facilities - Parte 1: Esquema de dados. [s.l: s.n.].

AISH, Robert. Building modelling the key to integrated construction CAD. *Em: CIB 5° INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE USE OS COMPUTERS FOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING RELATED TO BUILDINGS 1986, Anais [...]*. [s.l: s.n.] Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/320347623>.

ALI ÖRNEK, Muhammed; ERSOY, Melike; SEÇKIN, Yasin Çağatay. Estimating stormwater runoff from the 3d-model of an urban area in istanbul. *Journal of Digital Landscape Architecture*, [S. l.], v. 2016, n. 1, p. 198–206, 2016. DOI: 10.14627/537612023.

AMOR, Robert. Analysis of the Evolving IFC Schema. *Em: 2015, Anais [...]*. [s.l: s.n.]

AUTODESK. Github Autodesk revit-ifc exporter. 2025. Disponível em: <https://github.com/Autodesk/revit-ifc/blob/master/Install/Program%20Files%20to%20Install/DefaultUserDefinedParameterSets.txt>. Acesso em: 6 out. 2025.

BAPTISTA, Márcio; NASCIMENTO, Nilo; BARRAUD, Sylvie. Técnicas compensatórias em drenagem urbana. 2a ed. Porto Alegre.

BAZJANAC, Vladimir; CRAWLEY, Drury B. The Implementation of Industry Foundation Classes in Simulation Tools for the Building Industry. *Em: 1997, Anais [...]*. [s.l: s.n.] Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/237407761>.

BENINI, Sandra Medina; MARTIN, Encarnita Salas. Infraestrutura verde: a multifuncionalidade dos espaços verdes aplicada à drenagem urbana. *Em: Recursos Hídricos: Gestão e sustentabilidade*. 2a ed. Tupã.

BERTONI, Juan C.; TUCCI, Carlos E. M. Precipitação. *Em: Hidrologia: Ciência e Aplicação*. [s.l: s.n.].

BFB, BIM Fórum Brasil. 2a Edição da Pesquisa sobre Digitalização no Âmbito da Indústria da Construção. São Paulo.

BFB, BIM Fórum Brasil. Guia de Objetos BIM para a Indústria de materiais de construção. 1. ed ed. São Paulo.

BORKOWSKI, Andrzej Szymon; ŁUCZKIEWICZ, Natalia. Landscape Information Model (LIM): a case study of Ołtarzew Park in Ożarów Mazowiecki municipality, Poland. *Budownictwo i Architektura*, [S. l.], v. 22, n. 2, p. 41–56, 2023. DOI: 10.35784/bud-arch.3547.

BUILDINGSMART. IFC for Site, Landscape, and Urban Planning – call for participation. 2018. Disponível em: IFC for Site, Landscape, and Urban Planning – call for participation. Acesso em: 14 set. 2025.

BUILDINGSMART. Technical Roadmap buildingSMART. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/about/technical-roadmap/>. Acesso em: 14 set. 2025.

BUILDINGSMART. Information Delivery Specification (IDS). 2025a. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/information-delivery-specification-ids/#documentation>. Acesso em: 11 set. 2025.

BUILDINGSMART. BIM Collaboration Format (BCF). 2025b. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/bim-collaboration-format/>. Acesso em: 11 set. 2025.

BUILDINGSMART. bSDD Content Verification. 2025c. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/bsdd-content-verification/>. Acesso em: 11 set. 2025.

BUILDINGSMART. Clarifying the “openBIM Workflow”: A Practical Breakdown. [S. l.], 2025. d. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/clarifying-the-openbim-workflow/>. Acesso em: 11 set. 2025.

BUILDINGSMART. Domains. 2025e. Disponível em: <https://www.buildingsmart.org/standards/domains/>. Acesso em: 14 set. 2025.

BUILDINGSMART GERMANY. Whitepaper of the buildingSMART specialist group openBIM in water management. [S. l.], 2023.

CAICEDO, Nelson Luna. Água Subterrânea. *Em*: Hidrologia: Ciência e Aplicação. [s.l: s.n.].

CAMPOS-DELGADO, David; RAMOS-PALACIOS, Carlos Renato; CISNEROS-VIDALES, Alicia Anahí; ALGARA-SILLER, Marcos. Possible Scenarios for a Micro-Watershed Based on Level of Urbanization: Using Flood Design to Advance Ecohydrological Principles. *Urban Science*, [S. l.], v. 7, n. 1, 2023. DOI: 10.3390/urbansci7010024.

CETESB. Drenagem Urbana - Manual de projeto. São Paulo.

CHAN, Faith Ka Shun; GRIFFITHS, James A.; HIGGITT, David; XU, Shuyang; ZHU, Fangfang; TANG, Yu Ting; XU, Yuyao; THORNE, Colin R. “Sponge City” in China—A breakthrough of planning and flood risk management in the urban context. *Land Use Policy*, [S. l.], v. 76, p. 772–778, 2018. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.03.005.

CHEN, Yi Jao; KUO, Hui Yi; CHEN, Chi Jen. Study on the establishment of a maintenance mode for a bim-based landscape project. *Em: WIT TRANSACTIONS ON THE BUILT ENVIRONMENT 2019*, Anais [...]. : WITPress, 2019. p. 181–192. DOI: 10.2495/BIM190161.

CIRIA. *The SuDs Manual*. [s.l.] : CIRIA, 2016.

CNT. *The Value of Green Infrastructure: A Guide to Recognizing Its Economic, Environmental and Social Benefits*. [s.l.: s.n.].

CRIPPA, Julianna. OTIMIZAÇÃO DA AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA (ASCV) INTEGRADA À MODELAGEM DA INFORMAÇÃO DA CONSTRUÇÃO (BIM): PROPOSTA DE MÉTODO PARA TOMADA DE DECISÃO EM ESTUDOS PRELIMINARES DE INFRAESTRUTURA VIÁRIA URBANA. 2024. Tese (Doutorado em Sustentabilidade Ambiental Urbana) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, Curitiba, 2024.

DA SILVEIRA, André L.; LOUZADA, José A.; BELTRAME, Lawson F. Infiltração e Armazenamento no solo. *Em: Hidrologia: Ciência e Aplicação*. [s.l.: s.n.].

DNIT, Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. *Caderno de Requisitos Técnicos BIM do DNIT*. Brasília.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, José Antonio Valle. *Design Science Research: Método de Pesquisa para Avanço da Ciência e Tecnologia*. [s.l.] : Bookman Editora, 2015.

EASTMAN, Chuck. The Use of Computers Instead of Drawings in Building Design. *AIA Journal*, [S. l.], p. 46–50, 1975.

EASTMAN, Chuck; TEICHOLZ, Paul; SACKS, Rafael; LISTON, Kathleen. *Manual de BIM - Um guia de Modelagem da Informação da Construção para*

Arquitetos, Engenheiros, Gerentes, Construtores e Incorporadores. São Paulo: BOOKMAN EDITORA LTDA, 2014.

EPA, Environmental Protection Agency. SWMM 5.2. , 2023.

ESCOBEDO, Francisco J.; GIANNICO, Vincenzo; JIM, C. Y.; SANESI, Giovanni; LAFORTEZZA, Raffaele. Urban forests, ecosystem services, green infrastructure and nature-based solutions: Nexus or evolving metaphors? *Urban Forestry and Urban Greening* Elsevier GmbH, , 2019. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.02.011.

FLETCHER, Tim D. et al. SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, [S. l.], v. 12, n. 7, p. 525–542, 2015. DOI: 10.1080/1573062X.2014.916314.

GORSKI, M. C. B. Rios e Cidades. Ruptura e Reconciliação. [s.l.] : Editora SENAC São Paulo, 2010.

GOVERNO DO ESTADO DO PARANÁ. Caderno BIM - Edificações. Curitiba.

HJELSETH, Eilif. Exchange of relevant information in BIM objects defined by the role-and life-cycle information model. *Architectural Engineering and Design Management*, [S. l.], v. 6, n. SPECIAL ISSUE, p. 279–287, 2010. DOI: 10.3763/aedm.2010.IDDS5.

HUANG, Yan; LI, Tianjie. Design Efficacy Evaluation of a LIM-SD-based Approach for Ecological Engineered Landscaping Design: A Case Study of An Urban River Wetland. [S. l.], 2023. DOI: 10.21203/rs.3.rs-3250590/v1. Disponível em: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3250590/v1>.

HUANG, Yufang; PENG, Hongtao; SOFI, Massoud; ZHOU, Zhiyuan; XING, Tingyan; MA, Guoxing; ZHONG, Aocheng. The city management based on smart information system using digital technologies in China. *IET Smart Cities*, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 160–174, 2022. DOI: 10.1049/smc2.12035.

IAI. Industry Foundation Classes - Release 2.0. [s.l: s.n.].

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2010. [s.l: s.n.].

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo 2022. [s.l: s.n.].

ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries-Data schema. [s.l: s.n.].

ISO, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 16739-1: Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries-Data schema. [s.l: s.n.].

IUCN. Nature-based solutions to address global societal challenges Nature-based solutions to address global societal challenges. [s.l.] : IUCN International Union for Conservation of Nature, 2016. DOI: 10.2305/iucn.ch.2016.13.en.

JIAYU, Hu; MANHUA, Li; YANG, Shu. Enlightenment of Foreign Theories of Sustainable Storm Water Management to Sponge Cities in China. *Em: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2019, Anais [...].* : Institute of Physics Publishing, 2019. DOI: 10.1088/1755-1315/295/2/012023.

JOHELAVICIUS, Vivian; MENDIONDO, Eduardo Mario; NÓBREGA GOMES JÚNIOR, Marcus; BATALINI DE MACEDO, Marina. Construção de curvas Intensidade-Duração-Frequência com cenários futuros de mudanças climáticas para a cidade de São Carlos - SP visando ao dimensionamento de técnicas compensatórias. *Revista DAE, [S. l.], v. 70, n. 238, p. 19–32, 2022.* DOI: 10.36659/dae.2022.065.

KEMMERER, Sharon J. STEP: The Grand Experience. [S. l.], 1999. DOI: 10.13140/RG.2.1.2030.2884. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/273763505>.

KEMMERER, Sharon J. Initial Graphics Exchange Specifications. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/sp958-lide/246-249.pdf>. Acesso em: 9 set. 2025.

KIM, Min Kyeong; PARK, Duckshin; YUN, Suhwan; PARK, Won Hee; LEE, Duckhee; CHUNG, Jeong Duk; CHUNG, Kyung Jin. Establishment of a Landscape Information Model (LIM) and AI Convergence Plan through the 3D Digital Transformation of Railway Surroundings. *Drones, [S. l.], v. 7, n. 3, 2023.* DOI: 10.3390/drones7030167.

KNEZEVIC, Marija; DONAUBAUER, Andreas; MACHL, Thomas; KOLBE, Thomas H. Change Detection and Analysis of Landscapes Based on a Spatio-temporal Landscape Information Model. *Journal of Digital Landscape Architecture*, [S. l.], v. 2022, n. 7, p. 122–136, 2022. DOI: 10.14627/537724013.

LAAKSO, Mikael. The IFC Standard - A review of History, Development and Standardiation. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, [S. l.], v. 17, p. 134–161, 2012. Disponível em: <http://www.itcon.org/2012/9>.

LAISERIN, Jerry. To BIMfinity and beyond! *Cadalyst*, [S. l.], v. 24, n. 11, p. 46–48, 2007.

LAMOND, Jessica; EVERETT, Glyn. Sustainable Blue-Green Infrastructure: A social practice approach to understanding community preferences and stewardship. *Landscape and Urban Planning*, [S. l.], v. 191, 2019. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2019.103639.

LANGAR, Sandeep; PEARCE, Annie R. Implementation Trends for Rainwater-Harvesting Technologies and Strategies and Their Relationship with Building Information Modeling. *Journal of Architectural Engineering*, [S. l.], v. 23, n. 1, 2017. DOI: 10.1061/(asce)ae.1943-5568.0000228.

LIN, Ervine Shengwei; GOBEAWAN, Like; XUAN, Liu; LIM, Calvin Chi Wan; HE, Yang; TAN, Chun Liang; TAN, Puay Yok; WONG, Nyuk Hien; KOON, Alex Yee Thiam. Deriving Green Plot Ratio (GnPR) from a Building Information Modelling (BIM) Vegetation Library. *Journal of Digital Landscape Architecture*, [S. l.], v. 2022, n. 7, p. 224–235, 2022. DOI: 10.14627/537724022.

LOPES, André Luís Borges. “SANEAR, PREVER E EMBELEZAR”: O ENGENHEIRO SATURNINO DE BRITO, O URBANISMO SANITARISTA E O NOVO PROJETO URBANO DO PRR PARA O RIO GRANDE DO SUL (1908-1929). 2013. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL, [S. l.], 2013.

LU, Sheng; WANG, Fang. Some issues of BIM application in landscape architecture. *Em: APPLIED MECHANICS AND MATERIALS 2013, Anais [...]*. [s.l.: s.n.] p. 92–98. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.368-370.92.

MANCHADO, Cristina; ANDRÉS-VALERI, Valerio Carlos; RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, Jorge; OTERO, César. Development of a BIM library for NbS design. *Em*: (C. Manchado del Val, R. Miralbes Buil, G. Peris Fajarnés, M. Moncho Santonja, C. Rizzi, L. Roucoules, Org.)ADVANCES ON MECHANICS, DESIGN ENGINEERING AND MANUFACTURING V 2025, Anais [...]. : Springer, Cham, 2025. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-72829-7_69. Disponível em: <https://www.bimobject.com/>.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technologyDecision Support Systems. [s.l: s.n.].

MINNESOTA POLLUTION CONTROL AGENCY. Minnesota Stormwater Manual. [s.l: s.n.].

NAGEL, Roger N.; BRAITHWAITE, Walt W.; KENNICOTT, Phillip R. Initial Graphics Exchange Specification IGES Version 1.0. Gaithersburg, MD. DOI: 10.6028/NBS.IR.80-1978. Disponível em: <https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/Legacy/IR/nbsir80-1978.pdf>.

NÓBREGA GOMES JÚNIOR, Marcus; ALVES BRAGA, Pedro Henrique; MENDIONDO, Eduardo Mario; RIBEIRO REIS, Luisa Fernanda. Análises estatísticas, visuais e não paramétricas para a otimização do ajuste de curvas idf e construção de ábacos de projeto de obras hidráulicas: estudo de caso em São Carlos - SP. *Revista DAE, [S. l.]*, v. 69, n. 228, p. 171–189, 2020. DOI: 10.36659/dae.2021.013.

OICS. Soluções em SbN. CATÁLOGO BRASILEIRO DE SOLUÇÕES BASEADAS NA NATUREZA, 2023. Disponível em: <https://catalogo-sbn-oics.cgee.org.br/solucoes/>.

OMG, Object Management Group. Business Process Model and Notation (BPMN). [s.l: s.n.].

OMG, Object Management Group. Unified Modeling Language (UML). [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.omg.org/spec/UML/20161101/PrimitiveTypes.xmi>.

PENNSYLVANIA STATE UNIVERSITY. BIM Uses. 2025. Disponível em: <https://bim.psu.edu/uses/>. Acesso em: 28 set. 2025.

PENTTILÄ, Hannu. DESCRIBING THE CHANGES IN ARCHITECTURAL INFORMATION TECHNOLOGY TO UNDERSTAND DESIGN COMPLEXITY AND FREE-FORM ARCHITECTURAL EXPRESSION Pentilla. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://itcon.org/2006/29/>.

PETSCHEK, Peter; AUNG, Aye P. P.; SUWANARIT, Asan; IRVINE, Kim N. Integration of Building Information Modeling and Stormwater Runoff Modeling: Enhancing Design Tools for Nature-Based Solutions in Sustainable Landscapes. Sustainability (Switzerland) , [S. l.], v. 16, n. 9, 2024. DOI: 10.3390/su16093694.

PINTO, Nelson L. de Souza; HOLTZ, Antonio Carlos Tatit; MARTINS, José Augusto; GOMIDE, Francisco Luiz Sibut. Hidrologia Básica. 12a reimpressão ed. [s.l: s.n.].

PORTO, Rubem; ZAHED, Kamel; TUCCI, Carlos; BIDONE, Francisco. Drenagem urbana. *Em*: Hidrologia: Ciência e Aplicação. [s.l: s.n.].

PREFEITURA DE SÃO PAULO. Manual de Desenho Urbano e Obras Viárias. 2022.

SANDRE, Adriana Afonso. Landscape Information Modeling: um conceito para projetos de paisagens multifuncionais. [s.l: s.n.].

SANDRE, Adriana Afonso; PELLEGRINO, Paulo Renato Mesquita. Modelagem da Informação da Paisagem. Pós. Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP, [S. l.], v. 27, n. 51, p. e168291, 2021. DOI: 10.11606/issn.2317-2762.posfau.2020.168291.

SANDRE, Adriana Afonso; POMBO, Riciane. Catálogo de Soluções baseadas na Natureza para Espaços Livres. [s.l: s.n.].

SARABI, Shahryar Ershad; HAN, Qi; ROMME, A. Georges L.; DE VRIES, Bauke; WENDLING, Laura. Key enablers of and barriers to the uptake and implementation of nature-based solutions in urban settings: A review. ResourcesMDPI AG, , 2019. DOI: 10.3390/resources8030121.

SECRETARIA MUNICIPAL DE HABITAÇÃO; CONSÓRCIO SLP – S2. Caderno de Modelagem BIM: Projetos de HIS. São Paulo.

SHAVER, Earl; HARRISON, Grierson. Low Impact Design manual for the Auckland Region. *Em*: [s.l: s.n.]. p. 1–25.

SHIAO, Tien; KAMMEYER, Cora; BRILL, Gregg; FEINSTEIN, Laura; MATOSICH, Michael; VIGERSTOL, Kai; MÜLLER-ZANTOP, Carla. Avaliando os benefícios das Soluções Baseadas na Natureza para o planejamento de bacias hidrográficas. Oakland, California. Disponível em: www.ceowatermandate.org/nbs/landscape.

SOUZA, Letícia; BUENO, Cristiane. City Information Modelling as a support decision tool for planning and management of cities: A systematic literature review and bibliometric analysis. Building and Environment Elsevier Ltd, , 2022. DOI: 10.1016/j.buildenv.2021.108403.

STOJANOVSKI, Todor. City Information Modelling (CIM) and Urban Design Morphological Structure, Design Elements and Programming Classes in CIM. [s.l: s.n.]. Disponível em: www.formbasedcodes.org.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009. a. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

SUCCAR, Bilal. Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. Automation in Construction, [S. l.], v. 18, n. 3, p. 357–375, 2009. b. DOI: 10.1016/j.autcon.2008.10.003.

SUCCAR, Bilal. Model Uses Table. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://bit.ly/BIMPaperA10>.

SUCCAR, Bilal; SALEEB, Noha; SHER, Willy. Model Uses: Foundations for a Modular Requirements Clarification Language. [s.l: s.n.]. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/303013287>.

THOMPSON, Emine Mine; GREENHALGH, Paul; MULDOON-SMITH, Kevin; CHARLTON, James; DOLNÍK, Michal. Planners in the future city: Using city information modelling to support planners as market actors. Urban Planning, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 79–94, 2016. DOI: 10.17645/up.v1i1.556.

THORNE, C. R.; LAWSON, E. C.; OZAWA, C.; HAMLIN, S. L.; SMITH, L. A. Overcoming uncertainty and barriers to adoption of Blue-Green Infrastructure for urban flood risk management. *Journal of Flood Risk Management*, [S. l.], v. 11, p. S960–S972, 2018. DOI: 10.1111/jfr3.12218.

TOMCZAK, A.; BERLO, L. V.; KRIJNEN, T.; BORRMANN, A.; BOLPAGNI, M. A review of methods to specify information requirements in digital construction projects. *Em: IOP CONFERENCE SERIES: EARTH AND ENVIRONMENTAL SCIENCE 2022, Anais [...].* : Institute of Physics, 2022. DOI: 10.1088/1755-1315/1101/9/092024.

TUCCI, Carlos E. M. *Hidrologia: Ciência e Aplicação*. 4a edição ed. Porto Alegre.

TUCCI, Carlos E. M. *Escoamento Superficial*. *Em: Hidrologia: Ciência e Aplicação*. [s.l: s.n.].

TUCCI, Carlos E. M. *Vazão Máxima e Hidrograma de Projeto*. *Em: Hidrologia: Ciência e Aplicação*. [s.l: s.n.].

TUCCI, Carlos E. M. *Controle de Enchentes*. *Em: Hidrologia: Ciência e Aplicação*. [s.l: s.n.].

TUCCI, Carlos E. M.; MELLER, Adalberto. *Regulação das águas pluviais urbanas*. [s.l: s.n.]. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/69/8f4ed4294f85c10330a3ef128c5c7096_e4578904a7c168c943bb097416702d64.pdf. Acesso em: 31 ago. 2022.

UNEP. *Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem*. [s.l: s.n.].

UN-HABITAT. *World Cities Report 2024: Cities and Climate Action*. Nairobi.

UNIVERSITY OF ARKANSAS. *Low impact development : a design manual for urban areas*. [s.l.] : University of Arkansas Community Design Center : Fay Jones School of Architecture, University of Arkansas Press, a collaboration, 2010.

VAN BERLO, Léon. *Ten principles for a future IFC*. 2020. Disponível em: <https://github.com/buildingSMART/NextGen-IFC/wiki/Ten-principles-for-a-future-IFC>. Acesso em: 15 set. 2025.

VAN NEDERVEEN, G. A.; TOLMAN, F. P. Modelling multiple views on buildings
*Automation in Construction. [s.l: s.n.].

WHELANS, C.; MAUNSELL, H. G.; THOMPSON, P. Planning and management guidelines for water sensitive urban (residential) design. Perth: Department of Planning and Urban Development of Western Australia, 1994.

WIX, Jeff. Information Delivery Manual Guide to Components and Development Methods. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://idm.buildingsmart.com><http://idm.buildingsmart.com><http://idm.buildingsmart.com>.

WORLD BANK. Biodiversity, Climate Change, and Adaptation Nature-Based Solutions from the World Bank Portfolio. [s.l: s.n.]. Disponível em: www.worldbank.org/.

WU, Jun; WANG, Xi; HUANG, Limin; WANG, Ziyu; WAN, Da; LI, Pengbo. Parameterized Site Selection Approach of Park Entrance Based on Crowd Simulation and Design Requirement. Applied Sciences (Switzerland), [S. l.], v. 13, n. 10, 2023. DOI: 10.3390/app13106280.

XU, Xun; DING, Lieyun; LUO, Hanbin; MA, Ling. FROM BUILDING INFORMATION MODELING TO CITY INFORMATION MODELING. Journal of Information Technology in Construction, [S. l.], v. 19, p. 292–307, 2014. Disponível em: <http://www.itcon.org/2014/17>.

YANG, C.; HAN, F.; WU, H.; CHEN, Z. HERITAGE LANDSCAPE INFORMATION MODEL (HLIM): TOWARDS A CONTEXTUALISED FRAMEWORK for DIGITAL LANDSCAPE CONSERVATION in China. Em: INTERNATIONAL ARCHIVES OF THE PHOTOGRAMMETRY, REMOTE SENSING AND SPATIAL INFORMATION SCIENCES - ISPRS ARCHIVES 2019, Anais [...]. : International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2019. p. 1221–1227. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-2-W15-1221-2019.

ZAMORA, Paula Gómez; SWARTS, Matthew. Campus Information-and-knowledge Modeling: Embedding Multidisciplinary Knowledge into a Design Environment for University Campus Planning. international journal of architectural computing, [S. l.], v. 12, n. 4, p. 439–457, 2014.

Anexo 1 – Especificação de Entrega de Informação IDS

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" standalone="yes"?>
<!--Created with ids-editor.com-->
<ids:ids xmlns:ids="http://standards.buildingsmart.org/IDS"
xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
xsi:schemaLocation="http://standards.buildingsmart.org/IDS
http://standards.buildingsmart.org/IDS/1.0/ids.xsd">
  <ids:info>
    <ids:title>Jardim de Chuva</ids:title>
    <ids:description>Especificação de Entrega de Informação para um Jardim de Chuva,
avaliando se as propriedades estão no formato solicitado.</ids:description>
  </ids:info>
  <ids:specifications>
    <ids:specification ifcVersion="IFC4" name="Sbn_Prop_JardimDeChuvaManutenção"
description="Especificação de Entrega de Informação para um Jardim de Chuva, avaliando se
as propriedades destinadas à manutenção estão no formato solicitado.">
      <ids:applicability minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
        <ids:entity>
          <ids:name>
            <ids:simpleValue>IFCBUILDINGELEMENTPROXY</ids:simpleValue>
          </ids:name>
        </ids:entity>
        <ids:property dataType="IFCTEXT">
          <ids:propertySet>
            <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaID</ids:simpleValue>
          </ids:propertySet>
          <ids:baseName>
            <ids:simpleValue>IfcObjectType</ids:simpleValue>
          </ids:baseName>
          <ids:value>
            <ids:simpleValue>Jardim de chuva</ids:simpleValue>
          </ids:value>
        </ids:property>
      </ids:applicability>
      <ids:requirements>
        <ids:property dataType="IFCTEXT">
          <ids:propertySet>
            <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaManutenção</ids:simpleValue>
          </ids:propertySet>
          <ids:baseName>
            <ids:simpleValue>Pset_MaintenanceTriggerDuration.DurationMaintenanceLevel</ids:simpleValue>
          </ids:baseName>
        </ids:property>
        <ids:property dataType="IFCTEXT">
          <ids:propertySet>
            <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaManutenção</ids:simpleValue>
          </ids:propertySet>
          <ids:baseName>
            <ids:simpleValue>Pset_MaintenanceTriggerDuration.DurationReplacementLevel</ids:simpleValue>
          </ids:baseName>
        </ids:property>
      </ids:requirements>
    </ids:specification>
    <ids:specification ifcVersion="IFC4" name="Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM"
description="Especificação de Entrega de Informação para um Jardim de Chuva, avaliando se
as propriedades destinadas ao software SWMM estão no formato solicitado.">

```

```

<ids:applicability minOccurs="0" maxOccurs="unbounded">
  <ids:entity>
    <ids:name>
      <ids:simpleValue>IFCBUILDINGELEMENTPROXY</ids:simpleValue>
    </ids:name>
  </ids:entity>
  <ids:property dataType="IFCTEXT">
    <ids:propertySet>
      <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvalD</ids:simpleValue>
    </ids:propertySet>
    <ids:baseName>
      <ids:simpleValue>IfcObjectType</ids:simpleValue>
    </ids:baseName>
    <ids:value>
      <ids:simpleValue>Jardim de chuva</ids:simpleValue>
    </ids:value>
  </ids:property>
</ids:applicability>
<ids:requirements>
  <ids:property dataType="IFCLENGTHMEASURE">
    <ids:propertySet>
      <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvasWMM</ids:simpleValue>
    </ids:propertySet>
    <ids:baseName>
      <ids:simpleValue>Surface_BermHeight</ids:simpleValue>
    </ids:baseName>
  </ids:property>
  <ids:property dataType="IFCTEXT">
    <ids:propertySet>
      <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvasWMM</ids:simpleValue>
    </ids:propertySet>
    <ids:baseName>
      <ids:simpleValue>Surface_VegetationVolume</ids:simpleValue>
    </ids:baseName>
  </ids:property>
  <ids:property dataType="IFCTEXT">
    <ids:propertySet>
      <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvasWMM</ids:simpleValue>
    </ids:propertySet>
    <ids:baseName>
      <ids:simpleValue>Surface_SurfaceRoughness</ids:simpleValue>
    </ids:baseName>
  </ids:property>
  <ids:property dataType="IFCTEXT">
    <ids:propertySet>
      <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvasWMM</ids:simpleValue>
    </ids:propertySet>
    <ids:baseName>
      <ids:simpleValue>Surface_SurfaceSlope</ids:simpleValue>
    </ids:baseName>
  </ids:property>
  <ids:property dataType="IFCLENGTHMEASURE">
    <ids:propertySet>
      <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvasWMM</ids:simpleValue>
    </ids:propertySet>
    <ids:baseName>
      <ids:simpleValue>Soil_Thickness</ids:simpleValue>
    </ids:baseName>
  </ids:property>
  <ids:property dataType="IFCTEXT">

```

```

<ids:propertySet>
  <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
</ids:propertySet>
<ids:baseName>
  <ids:simpleValue>Soil_Porosity</ids:simpleValue>
</ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Soil_WiltingPoint</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Soil_Conductivity</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Soil_Conductivity Slope</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Soil_Suction Head</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCLENGTHMEASURE">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Storage_Thickness</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Storage_Void Ratio</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>

```

```
<ids:simpleValue>Storage_Seepage Rate</ids:simpleValue>
</ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Storage_Clogging Factor</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
<ids:property dataType="IFCTEXT">
  <ids:propertySet>
    <ids:simpleValue>Sbn_Prop_JardimDeChuvaSWMM</ids:simpleValue>
  </ids:propertySet>
  <ids:baseName>
    <ids:simpleValue>Soil_FieldCapacity</ids:simpleValue>
  </ids:baseName>
</ids:property>
</ids:requirements>
</ids:specification>
</ids:specifications>
</ids:ids>
```