

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-graduação em Engenharia de Estruturas

Luciana Teixeira Batista

**METODOLOGIA PARA AUTOMATIZAÇÃO DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DA
ÁGUA EM EDIFICAÇÕES PELA INTERAÇÃO DO BIM - IoT – FM**

Belo Horizonte
2023

Luciana Teixeira Batista

**METODOLOGIA PARA AUTOMATIZAÇÃO DA GESTÃO SUSTENTÁVEL DA
ÁGUA EM EDIFICAÇÕES PELA INTERAÇÃO DO BIM - IoT – FM**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais como requisito parcial necessário à obtenção do título de Doutora em Engenharia de Estruturas.

Orientador: Prof. ° Dr°. Ricardo Hallal Fakury

Coorientador: Prof. ° Dr°. José Ricardo Queiroz Franco

Belo Horizonte

2023

B333m	<p>Batista, Luciana Teixeira. Metodologia para automatização da gestão sustentável da água em edificações pela interação do BIM - IOT - FM [recurso eletrônico] / Luciana Teixeira Batista. – 2023. 1 recurso online (143 f. : il., color.) : pdf.</p>
	<p>Orientador: Ricardo Hallal Fakury. Coorientador: José Ricardo Queiroz Franco.</p>
	<p>Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia.</p>
	<p>Apêndices e anexos: f. 126-143.</p>
	<p>Bibliografia: f. 111-125.</p>
	<p>Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.</p>
	<p>1. Engenharia de estruturas – Teses. 2. Sustentabilidade – Teses. 3. Gestão de recursos hídricos – Teses. 4. Hidrologia urbana – Teses. 5. Água – Consumo – Aspectos econômicos – Teses. 6. Água – Medição – Teses. 7. Instrumentos de medição – Teses. I. Fakury, Ricardo Hallal. II. Franco, José Ricardo Queiroz. III. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Engenharia. IV. Título.</p> <p style="text-align: right;">CDU: 624(043)</p>



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS



**ATA DA DEFESA DE Tese DE DOUTORADO EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS Nº:
96 DA ALUNA LUCIANA TEIXEIRA BATISTA**

Às **08:00** horas do dia **30** do mês de **outubro** de **2023**, reuniu-se em ambiente virtual da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, a Comissão Examinadora indicada pelo Colegiado do Programa em **05 de junho de 2023**, para julgar a defesa da Tese de Doutorado intitulada "**Metodologia Para Automatização da Gestão Sustentável da Água em Edificações Pela Interação do BIM - IoT - FM**", cuja aprovação é um dos requisitos para a obtenção do Grau de DOUTOR EM ENGENHARIA DE ESTRUTURAS na área de ESTRUTURAS.

Abrindo a sessão, o Presidente da Comissão, **Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury**, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares passou a palavra à candidata para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa da candidata. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença da candidata e do público, para julgamento e expedição do resultado final.

Prof. Dr. Ricardo Hallal Fakury - DEES - UFMG (Orientador)
Prof. Dr. José Ricardo Queiroz Franco - DEES - UFMG (Coorientador)
Prof. Dr. Armando Cesar Campos Lavall - DEES - UFMG
Profa. Dra. Renata Maria Abrantes Baracho Porto - EA - UFMG
Prof. Dr. Eduardo Toledo Santos - USP
Prof. Dr. Taciano Oliveira da Silva - UFV

Após reunião, a Comissão considerou a candidata **APROVADA**, conforme pareceres em anexo.

O resultado final foi comunicado publicamente à candidata pelo Presidente da Comissão.

Nada mais havendo a tratar, o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora.

Belo Horizonte, 30 de outubro de 2023.

Observações:

1. A aprovação da candidata na defesa da Tese de Doutorado não significa que a mesma tenha cumprido todos os requisitos necessários para obtenção do Grau de Doutor em Engenharia de Estruturas;

2. Este documento não terá validade sem a assinatura do Coordenador do Programa de Pós-Graduação.



Documento assinado eletronicamente por **Ricardo Hallal Fakury, Membro de comissão**, em 30/10/2023, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Eduardo Toledo Santos, Usuário Externo**, em 30/10/2023, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Renata Maria Abrantes Baracho Porto, Professora do Magistério Superior**, em 30/10/2023, às 11:51, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Armando Cesar Campos Lavall, Professor do Magistério Superior**, em 30/10/2023, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Taciano Oliveira da Silva, Usuário Externo**, em 30/10/2023, às 11:52, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Jose Ricardo Queiroz Franco, Servidor(a)**, em 30/10/2023, às 15:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Felício Bruzzi Barros, Coordenador(a) de curso de pós-graduação**, em 04/12/2023, às 09:41, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **2694280** e o código CRC **E5EA95F2**.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de expressar minha profunda gratidão pela oportunidade de escrever minha tese de doutorado. Primeiramente, gostaria de agradecer aos meus orientadores, cuja orientação e apoio foram fundamentais para o sucesso deste trabalho. Seu conhecimento especializado, paciência e dedicação foram inestimáveis e contribuíram significativamente para o desenvolvimento da minha pesquisa.

Também gostaria de agradecer a todos os participantes desta pesquisa, cujo envolvimento e contribuições foram essenciais para o desenvolvimento do estudo. Agradeço especialmente ao engenheiro Esdras do Mercado Central, Victor da empresa Seu Consumo, Gabriel, responsável pela programação do protótipo, à professora Carmela e ao professor Lucas. Sem o apoio de vocês, este estudo não seria possível.

Por fim, gostaria de expressar minha sincera gratidão à minha família. Agradeço minha mãe, minhas irmãs Livia e Fernanda e ao meu filho Felipe. Seu amor, apoio incondicional e compreensão ao longo de todo o processo de doutorado foram fundamentais para minha perseverança e motivação. Sou verdadeiramente abençoado por tê-los ao meu lado.

A todos vocês, meu mais sincero obrigado. Este trabalho é o resultado de um esforço coletivo e estou extremamente grato por cada contribuição.

RESUMO

O estresse hídrico global tem impulsionado a busca por soluções sustentáveis na indústria da construção civil. Medidas têm sido implementadas com o objetivo de reduzir o consumo de água ao longo de todo o ciclo de vida. A integração de tecnologias digitais, como o *Building Information Modeling* (BIM) e a Internet das Coisas (IoT), desempenha um papel fundamental nesse processo, permitindo a resolução de problemas de engenharia e aprimorando a sustentabilidade. Paralelamente, o aprimoramento do gerenciamento das instalações ou *Facility Management* (FM) tem despertado interesse acadêmico, visando a eficiência operacional das edificações. O trabalho apresenta uma metodologia, fundamentada em *Design Science Research*, para instrumentalizar a gestão da água na escala das edificações através da interação das informações do modelo BIM da edificação e dados de consumo de água, coletadas em tempo real por meio de medidores inteligentes. Coleta, tratamento e armazenamento de dados, determinação de indicadores de consumo, desenvolvimento de ferramentas de gestão e disponibilização de análises customizadas estão entre os objetivos da pesquisa. Os indicadores de consumo e critérios de análise foram determinados por estudo estatístico aplicando gráficos de Shewhart. Para sua implementação prática criou-se um protótipo em plataforma web chamado AquaBIM que utiliza interfaces gráficas interativas para facilitar as análises e interpretações dos usuários. Um teste conceito realizado em condições reais de uso em uma edificação comercial permitiu avaliação e a validação da metodologia. Os resultados dos testes demonstraram que o AquaBIM gera informações importantes para auxiliar na tomada de decisões. Realiza três tipos de análises de consumo (global, individual e por categoria de atividade), estima possíveis excessos de consumo e identifica vazamentos. Os resultados mostraram um potencial de economia de aproximadamente 15% no consumo. As análises demonstraram o potencial do AquaBIM para cumprir para obtenção da certificação internacional de sustentabilidade AQUA-HQE. A extensão e generalização da metodologia proposta têm um grande potencial para trabalhos futuros, por exemplo, para abordar tipologias e atividades diferentes. Além disso, trabalhos futuros podem expandir a pesquisa para o gerenciamento do consumo de outros recursos críticos, como eletricidade e gás.

Palavras-chave: BIM; IoT; gestão sustentável da água; FM.

ABSTRACT

Global water stress has been driving the search for sustainable solutions in the construction industry. Measures have been adopted to minimize its environmental impacts, with a focus on reducing the consumption of natural resources throughout the entire life cycle. The integration of digital technologies, such as Building Information Modeling (BIM) and the Internet of Things (IoT), plays a fundamental role in this process, enabling the resolution of engineering problems and enhancing sustainability. Simultaneously, the improvement of facility management or Facility Management (FM) has sparked academic interest, aiming for operational efficiency in buildings. The study presents a methodology, based on Design Science Research, to enable water management at the building scale through the interaction of information from the building's BIM model and real-time water consumption data collected through smart meters. Data collection, treatment, and storage, determination of consumption indicators, development of management tools, and provision of customized analyses are among the research objectives. The consumption indicators and analysis criteria were determined through a statistical study using Shewhart charts. For practical implementation, a web platform prototype called AquaBIM was created, which utilizes interactive graphical interfaces to facilitate user analysis and interpretations. A concept test conducted under real conditions of use in a commercial building allowed for the evaluation and validation of the methodology. The test results demonstrated that AquaBIM generates important information to assist in decision-making. It performs three types of consumption analysis (overall, individual, and by activity category), estimates possible excessive consumption, and identifies leaks. The results showed a potential savings of approximately 15% in consumption. The analyses demonstrated AquaBIM's potential to meet the criteria for obtaining the international sustainability certification AQUA-HQE. The extension and generalization of the proposed methodology have great potential for future work, such as addressing different typologies and activities. Additionally, future research can expand the study to include the management of consumption for other critical resources, such as electricity and gas.

Keywords: BIM; IoT; gestão da água; FM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Exemplos de etiquetas para classificação da eficiência hídrica e energética.....	22
Figura 2- Distribuição dos recursos renováveis de água doce por continente.....	27
Figura 3- Distribuição dos recursos renováveis de água doce por país.....	27
Figura 4 - Evolução das concepções gerenciamento urbano.....	29
Figura 5 - Implementação do BIM no mundo.....	34
Figura 6 - Exemplo de aplicação BIM em software para gerenciamento de energia.....	40
Figura 7 – Modelo típico dos gráficos de Shewhart.....	43
Figura 8 - Gráfico de controle Shewhart x curva normal.....	45
Figura 9 - Framework da pesquisa.....	56
Figura 10 - Fluxograma da captação de dados para geração dos indicadores de consumo.....	59
Figura 11 - Modelo de gráfico <i>X</i>	60
Figura 12 - Padrões de cores das faixas de consumo de água.....	61
Figura 13 - Fluxograma de navegação do AquaBIM.....	65
Figura 14 - Exemplo do script R usado para classificação dos dados.....	67
Figura 15 - Padrão gráfico para desenvolvimento das funcionalidades AquaBIM.....	68
Figura 16 - Uso do modelo BIM para seleção das funcionalidades e visualização de dados ..	69
Figura 17- Modelo da tabela da funcionalidade análise do consumo mensal por categorias de acordo com as faixas de referência.....	72
Figura 18 - Interior do Mercado Central.....	75
Figura 19 - Modelo BIM do Mercado Central – Elementos arquitetônicos e estruturais.....	76
Figura 20 – Modelo BIM do Mercado Central – Sistema hidráulico.....	76
Figura 21 – Modelo BIM Mercado Central – detalhe do medidor inteligente.....	77
Figura 22 - Funcionalidade histórico da Gestão Loja.....	79
Figura 23 - Funcionalidade consumo atual da Gestão Loja.....	80
Figura 24 - Funcionalidade consumo global por atividade da Gestão Prédio.....	81
Figura 25 - Funcionalidade consumo do dia na Gestão Prédio.....	82
Figura 26 - Funcionalidade consumo acumulado no mês na Gestão Prédio.....	82
Figura 27 - Funcionalidade histórico consumo mensal na Gestão prédio.....	83
Figura 28 - Funcionalidade consumo Geral em Relatórios.....	84
Figura 29 - Análise simultânea do consumo anual das categorias em Relatórios.....	85
Figura 30 - Análise isolada do consumo anual de uma categoria em Relatórios.....	85
Figura 31 - Tabelas das análises da funcionalidade do consumo por categorias de acordo com as faixas de referência em Relatórios.....	87
Figura 32- Funcionalidade análise de alarmes em Relatórios.....	89
Figura 33 - Evolução do consumo de água por categoria no Mercado Central no ano 2020.....	103
Figura 34 - Evolução do consumo de água no Mercado Central no ano 2021.....	103
Figura 35- Padrão 1 da análise dos dados do consumo de água.....	107
Figura 36 – Padrão 2 da análise dos dados do consumo de água.....	108
Figura 37- Padrão 3 da análise dos dados do consumo de água.....	108

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Consumo total de água da edificação no ano 2019	94
Gráfico 2 - Evolução do uso da água para consumos maiores que 50.000 Litros.....	95
Gráfico 3 - Evolução do uso para consumo mensal menores que 50.000 Litros	95
Gráfico 4 - Evolução no consumo de água no Mercado Central durante a pandemia	102
Gráfico 5 - Distribuição do uso da água pelas faixas de consumo nos anos de 2020 e 2021	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo por categorias do Mercado Central no ano de 2019	97
Tabela 2 - Potencial de consumo excessivo.....	99
Tabela 3- Economia de água ou economia potencial de água em estudos de caso similares .	100
Tabela 4 – Detalhamento dos números internos para as categorias no ano 2019.....	105
Tabela 5- Indicador de consumo sustentável de água por categoria de atividade	106

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Normas internacionais Facility Management	24
Quadro 2 – Normas brasileiras sobre BIM.....	35
Quadro 3 – Tecnologias digitais associadas ao BIM.....	36
Quadro 4 – Campos de aplicação das técnicas Data Mining na indústria da construção.....	48
Quadro 5 – Funcionalidades de gestão da água.....	62
Quadro 6 – Linguagens de desenvolvimento do AquaBIM	66
Quadro 7 – Categorias de atividades do Mercado Central	78
Quadro 8 – Histórico de medidas restritivas da cidade de Belo Horizonte.....	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIM	Building Information Modeling
IoT	Internet das Coisas
FM	Facility Management
AECO	Arquitetura, Engenharia, Construção e Operação
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Method
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
CASBEE	Comprehensive Assessment System for Built Environment Efficiency
NABERS	National Australian Built Environment Rating System
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen
HQE	Haute Qualité Environnementale
ISO	International Organization for Standardization
SM	Smart Meter
IWM	Integrated Water Management
AWM	Adaptive Water Management
DT	Digital Technologies
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
SQL	Structured Query Language
API	Application Programming Interface
CEP	Controle Estatístico de Processo
CCS	Carta de Controle de Shewhart
LC	Linha de Controle
LCS	Linha de Controle Superior
LCI	Linha de Controle Inferior
DS	Design Science
DSR	Design Science Research
URL	Uniform Resource Locator
JSON	JavaScript Object Notation
QCC	Quality Control Charts

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivo	17
1.2	Hipótese	18
1.3	Justificativa	18
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	A sustentabilidade na construção civil.....	20
2.2	Gestão de Instalações ou <i>Facility Management</i>	23
2.2.1	Facility Management sustentável	25
2.3	A importância da gestão da água	26
2.3.1	A gestão da água na escala das edificações	30
2.4	Tecnologias digitais aplicadas.....	33
2.4.1	BIM	33
2.4.2	A integração BIM-FM-IoT	37
2.4.3	Aplicação dos dispositivos IoT na gestão da água	41
2.5	Gráficos de controle Shewhart.....	43
2.6	<i>Data Mining</i>	45
2.7	Trabalhos correlatos.....	50
3	METODOLOGIA.....	53
3.1	<i>Design Science Research</i>	53
3.2	Ciclo do rigor (2)	57
3.2.1	Categorização de atividades (I)	57
3.2.2	Captação de dados (II)	58
3.2.3	Gráficos Shewhart (III)	59
3.2.4	Indicadores de consumo sustentável de água (IV)	61
3.2.5	Funcionalidade de gestão da água (V)	62
3.3	Ciclo do projeto (3).....	63
4	DESENVOLVIMENTO	64
4.1	Fluxo de informações.....	64
4.2	Linguagens de programação	66
4.3	Funcionalidades	68
4.3.1	Gestão loja.....	69
4.3.2	Gestão prédio.....	70
4.3.3	Relatórios	71
5	TESTE CONCEITO	75

5.1	Aplicação da metodologia.....	75
5.2	Validação técnica	79
5.3	Avaliação externa.....	89
6	RESULTADOS.....	92
6.1	Análise para o ano de 2019.....	93
6.2	Análise para os anos 2020 e 2021.....	100
7	CONTRIBUIÇÕES DA METODOLOGIA	105
7.1	Determinação de indicadores.....	105
7.2	Identificação de padrões temporais de consumo	107
7.3	Certificação de sustentabilidade AQUA-HQE.....	109
8	CONCLUSÃO.....	111
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	112
	ANEXO A – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DOS SMART METERS DO MERCADO CENTRAL, NÍVEL AUGUSTO DE LIMA.....	127
	ANEXO B - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS LOJAS DO MERCADO CENTRAL 2 PAVIMENTO, NÍVEL GOITACAZES	141
	ANEXO C - PLANTA DE INSTALAÇÃO HIDRÁULICA DO MERCADO CENTRAL, NÍVEL AUGUSTO DE LIMA	142
	ANEXO D - PLANTA DE INSTALAÇÃO HIDRÁULICA DO MERCADO CENTRAL, NÍVEL ESTACIONAMENTO.....	143
	APÊNDICE A – FORMULÁRIO GOOGLE FORMS	127
	APÊNDICE B – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA <i>ON-LINE</i>	133

1 INTRODUÇÃO

A indústria AECO (Arquitetura, Engenharia, Construção, Operação) tem papel importante na economia brasileira. Recentemente, o *Building Information Modeling* (BIM) ou Modelagem da Informação da Construção está contribuindo para a expansão da digitalização do setor (JOBLOT; PAVIOT; DENEUX; LAMOURI, 2019). O BIM é uma metodologia que engloba tecnologias, processos e políticas (PENTTILÄ, 2006; SUCCAR; KASSEM, 2015). Eastman *et al.* (2008) afirmam que o emprego do modelo BIM pode trazer benefícios para todas as etapas do processo, o que inclui o aprimoramento do desempenho da edificação durante a etapa de operação.

Tang *et al.*, (2019) argumentam que a integração do BIM com dados em tempo real de dispositivos IoT (*Internet of Things* ou Internet das Coisas) possibilita o desenvolvimento de aplicações que tornará a indústria da construção mais eficiente.

De modo análogo, Marocco e Garofolo (2021) discutem o gerenciamento de instalações ou *Facilities Management* (FM) de edificações na etapa de operação, empregando tecnologias disruptivas, para aprimorar seu desempenho. Ideia corroborada por Hunhevicz *et al.* (2022), que afirmam que a associação BIM-FM otimiza as práticas de gestão em edificações a partir do desenvolvimento de aplicativos específicos. Pesquisas indicam que o emprego do BIM na linha de pesquisa FM contribui para diminuir as diferenças entre o desempenho da edificação em operação e o previsto durante o projeto (KAPOGIANNISA; GATERELLB; OULASOGLUC, 2016). Além do aprimoramento operacional, a academia investiga como atingir o desenvolvimento sustentável na etapa de operação. Os autores explicam que a diminuição dos impactos negativos gerados durante o ciclo de vida da edificação é uma demanda atual para o setor (OPOKU, A; LEE, J.Y, 2022). Dentro deste contexto, a água é um ativo que pode ser gerenciado e é extremamente importante para que as edificações se tornem mais sustentáveis.

Kummu *et al.* (2016) afirmam que o desequilíbrio entre o consumo e a disponibilidade da água potável está aumentando. O aumento da escassez hídrica motiva a busca por soluções inovadoras que repensem a gestão tradicional da água (BREARS, 2017). Descentralização, inclusão integral dos atores envolvidos e aprimoramento da eficiência do uso da água são os princípios defendidos para formulação do novo paradigma (ANTZOULATOS *et al.*, 2020). Recentemente, a execução dessas mudanças é facilitada pelo emprego das tecnologias inteligentes. Segundo Chen (2016), a expansão do uso de dispositivos IoT (ex. medidores

inteligentes) viabiliza a obtenção de novas bases de informações que favorecem o desenvolvimento de pesquisas inéditas, a exemplo do estudo de Howell; Rezgui e Beach (2017), que elaboraram uma estrutura teórica para integrar os sistemas de água residencial e municipal utilizando informações desses dispositivos.

Sintetizando, a operação é a etapa mais longa do ciclo de vida da indústria AECO e responde por parte significativa do consumo de recursos naturais como a água (PÄRN; EDWARDS; SING, 2017), contudo, verifica-se que o gerenciamento tradicional, muitas vezes, é ineficaz, pois falha ao recuperar informações devido à grande variedade de profissionais envolvidos e à dificuldade de atualizar os dados (MOTAMEDI; HAMMAD; ASEN, 2014). Por outro lado, observa-se que a interação do modelo BIM com informações em tempo real de dispositivos IoT no gerenciamento de instalações (FM) ganhou importância na construção de aplicações práticas e abriu novas fronteiras de pesquisa neste campo de conhecimento.

O presente trabalho insere-se nesse contexto e propõe uma metodologia para automatizar a gestão da água. O escopo da pesquisa engloba a construção do protótipo AquaBIM, em plataforma *web*, para implementação da metodologia. Detalha-se o desenvolvimento do protótipo, que compila e trata as informações para automatizar a gestão da água na edificação. As informações são apresentadas por meio de interfaces gráficas interativas, o que facilita as análises e suas interpretações. Essas análises viabilizam o planejamento de ações estratégicas pelo gestor para implementar medidas de prevenção e correção a fim de evitar perdas, gerar economia e promover a sustentabilidade.

1.1 Objetivo

O objetivo principal desta pesquisa é aprimorar a gestão da água na escala das edificações, visando aumentar a sustentabilidade das construções, por meio dos recursos tecnológicos da Modelagem da Informação da Construção (BIM) e dos dispositivos inteligentes.

Os objetivos específicos são:

1. Desenvolver metodologia para instrumentalizar a automatização da gestão da água em edificações comerciais;
2. Determinar indicadores de consumo de água para categorias de atividades comerciais a partir de dados reais da operação;
3. Definir ferramentas para o gerenciamento da água;
4. Construir protótipo em plataforma *web*, para implementação da metodologia;
5. Avaliar o método proposto em condições reais de uso.

1.2 Hipótese

A competitividade acirrada e as exigências ambientais mais rígidas demandam que a indústria da construção contemporânea seja mais produtiva, impulsionando a modernização do setor com o emprego das tecnologias digitais. Um dos benefícios esperados para a implementação de soluções tecnológicas inovadoras é a otimização do desempenho operacional das edificações, com foco na redução do consumo de recursos naturais.

A imprecisão de dados de consumo, por exemplo, é um dos problemas enfrentados no gerenciamento tradicional da água na escala predial. Nota-se que esse fato repercute na pouca eficiência no consumo hídrico nas edificações durante a etapa da operação. Como alternativa de solução do problema propõe-se a interação do modelo BIM e dados de consumo, captados em tempo real, para aperfeiçoar a gestão das instalações nesse aspecto.

Avaliar o impacto da interação BIM-IoT como instrumento de apoio à tomada de decisões no gerenciamento de água e o planejamento estratégico em prol do aumento da sustentabilidade nas edificações é a hipótese estudada.

1.3 Justificativa

Segundo Santos *et al.* (2019), os últimos anos foram marcados por um aumento exponencial dos estudos que consideram o uso do BIM relacionado a todos os aspectos da construção sustentável (social, econômico e ambiental). Os autores destacam a eficiência energética nas edificações como tema de maior relevância tendo em vista a dimensão da sustentabilidade.

Assim como na indústria da construção, a adoção de tecnologias digitais desperta o interesse acadêmico na construção de um novo paradigma no gerenciamento da água. O agravamento da crise hídrica atual tem impulsionado a necessidade de repensar a gestão da água tradicional. Além do aspecto tecnológico, a visão holística da gestão, considerando os diferentes setores envolvidos, a busca pelo aumento da eficiência no uso da água, a reutilização e reciclagem dos recursos são pilares fundamentais do paradigma contemporâneo.

Dentro desse contexto, Hunhevicz, Motie e Hall (2022) explicitam a importância da operação das edificações para o desenvolvimento sustentável do planeta, visto que 70% das edificações atuais ainda estarão em operação no ano 2050 (GEORGIADOU, 2012).

As pesquisas relacionadas ao gerenciamento da água na escala das edificações estão atualmente em um estágio inicial e exigem um aprofundamento mais significativo. São enfrentadas dificuldades técnicas e culturais que limitam a exploração completa do potencial das informações armazenadas em bases de dados digitais (FELICIANO *et al.*, 2021).

Em outras palavras, a conservação hídrica e o aprimoramento da gestão em edifícios estarão diretamente relacionados à resiliência e equidade na distribuição de água no futuro próximo. Esses fatores demonstram a importância do tema para a sociedade e justificam o desenvolvimento da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo discorre sobre as transformações conceituais no gerenciamento contemporâneo da água e o reflexo dessas mudanças na busca pelo aumento da eficiência do seu uso nas edificações. Aborda a influência do emprego do *Building Information Modeling* (BIM) e *Internet of Things* (IoT) ou Internet das Coisas para implantar o novo paradigma da gestão da água. Discute o emprego dos princípios de *Facility Magement* (FM) ou gerenciamento das instalações para aprimorar o desempenho das edificações durante sua fase de operação. Além disso, apresenta a importância do desenvolvimento de indicadores de referência para balizar a tomada de decisão e os princípios estatísticos dos gráficos de Shewhart.

2.1 A sustentabilidade na construção civil

Para compreender a gênese da preocupação com a sustentabilidade na construção civil é preciso entender o contexto que deu origem à essa questão. Nascimento (2012) descreve que a primeira vez que a humanidade se preocupou que efeitos globais afetassem localmente foi durante a crise da poluição nuclear, em 1950, quando chuvas radioativas caíram a milhares de quilômetros distantes do local onde aconteceram os testes nucleares. A percepção de que fazemos parte do mesmo planeta e que as consequências ambientais não respeitam os limites territoriais incentivou a ideia de sustentabilidade. Em 1968, outra crise, agora sobre chuvas ácidas ocorridas nos países nórdicos, motivou a realização da Conferência de Estocolmo em 1972. Decorridos 10 anos da sua realização, foi constatado que os compromissos de esforços prometidos naquela ocasião não surtiram os resultados esperados. Então, foi criada a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, com o propósito de conciliar o desenvolvimento econômico e o meio ambiente, propondo uma agenda global para a mudança. Desenvolvimento sustentável foi a denominação empregada para o objetivo.

Em 1987, Brundtland faz a conceituação clássica do termo: “Desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades”. Nascimento (2012) promoveu um grande debate mundial, explicando que a definição é muito vaga, porque não especifica quais são as necessidades do presente e muito menos pode-se prever quais serão as do futuro.

A Conferência Rio 1992, convocada pela ONU, foi um marco importante dessa história. Nesse evento foi criada a Convenção da Biodiversidade e das Mudanças Climáticas – que resultou no Protocolo de Kyoto (acordo entre os países para diminuição da emissão de CO₂), na Declaração do Rio e na Agenda 21 (as diretrizes de planejamento para a construção de

idades sustentáveis). Esse registro foi a base para a elaboração de diversos documentos e regulamentações da área.

A conceituação mais aceita, atualmente, sobre sustentabilidade é aquela que engloba três esferas: a ambiental (consumir de forma a garantir que os ecossistemas possam manter sua auto reparação); a econômica (inovação tecnológica para diminuir o consumo de recursos naturais); e a social (definir um grau de desigualdade aceitável e proporcionar acesso aos recursos naturais) (MOTTA, 2009). Contudo, Nascimento (2012) afirma que é preciso inserir mais dois temas: o poder e a cultura. A esfera do poder se manifesta na medida em que para que as mudanças desejadas se concretizem é necessário que as mesmas transitem pelo viés político, e se transformem em políticas públicas. Ou seja, não se fazem sozinhas por grupos isolados é preciso diálogos e acordos. E a cultura porque, se for mantido o padrão de consumo e o estilo de vida atual, não se alcançará a mudança de valores necessários ao desenvolvimento sustentável.

No contexto da indústria da construção, a expressão edificação sustentável ou edificação “verde” foi usada pela primeira vez em uma conferência realizada na Flórida em 1994 (CARVALHO, BRAGANÇA E MATEUS, 2019). De acordo com Charles Kibert (1994) integração entre os princípios ecológicos, como conservação, reuso, reciclagem, proteção da natureza assim como o uso eficiente dos recursos são fundamentais para alcançar a sustentabilidade nas edificações. É interessante observar que o autor já destacava a importância do uso consciente da água desde essa época.

É amplamente reconhecido que o setor da construção acarreta significativos impactos ambientais. Responde por cerca de 40% das emissões de CO₂ e o consumo de 40% da energia produzida na União Europeia (DIAKAKI *et al.*, 2008; GENG *et al.*, 2019).

No cenário nacional, a situação não é diferente. O setor da construção brasileira também apresenta impactos ambientais elevados (GRIGOLETTI; SATTLER, 2003), sendo responsável pelo consumo de grande parte dos recursos naturais e da energia produzida, além de gerar altas taxas de emissões atmosféricas (ÂNGULO *et al.*, 2001).

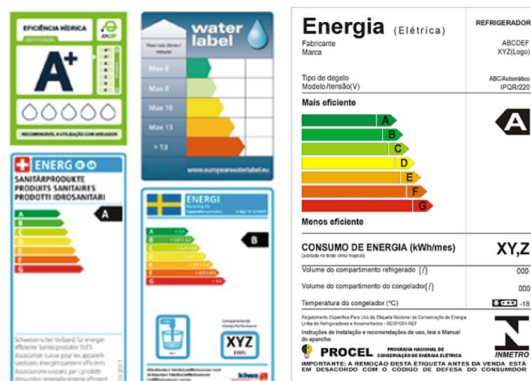
As certificações ambientais têm um papel importante para estabelecer parâmetros de referência objetivos para alcançar a sustentabilidade nas edificações, especialmente em decorrência da insuficiência de regulamentações específicas no setor. O final dos anos 1990 e início dos anos 2000, surgiram, respectivamente na Inglaterra, na França e nos EUA as certificações: *Building Research Establishment Environmental Assessment Method* (BREEAM), *Haute Qualité Environnementale* (HQE) e a *Leadership in Energy and Environmental Design* (LEED) que são ainda são amplamente reconhecidas até hoje

(RODRIGUES *et al.*, 2023). Somente em 2007, a *Green Building Council Brasil*, entidade proprietária do selo LEED começa a operar no Brasil. E em 2008, surge a certificação AQUA - Alta Qualidade Ambiental, baseada no HQE e adaptada ao Brasil.

Atualmente não há uma certificação ambiental nacional de caráter abrangente e de expressiva adoção. Entretanto, é possível identificar iniciativas incipientes nesse contexto. Em 2010, a instituição financeira estatal Caixa Econômica Federal introduziu uma certificação especialmente elaborada para se adequar à realidade brasileira: o Selo Casa Azul de construção sustentável. Na sua origem o selo criado pelo programa nacional de eficiência energética classificava a eficiência energética de equipamentos eletrônicos. No entanto, em 2014, foi lançada uma versão específica para a construção (PROCEL EDIFICA).

Para obter a certificação o projeto ou a edificação deve cumprir os requisitos mínimos de cada referencial técnico. Os requisitos assim como as categorias de análise mudam de acordo com as diferentes instituições. No que se referente a análise específica do consumo de água, a categoria está presente nas certificações mais renomadas. (BERNARDI *et al.*, 2017).

O estresse hídrico mundial tem impulsionado a criação de mecanismos de promoção da eficiência do uso e a redução do desperdício de água em vários países. Portugal, por exemplo, criou a Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP) para combater as ineficiências no uso da água urbana, que, segundo estudos podem chegar a 250 milhões de m³/ ano (SILVA-AFONSO, 2011). Uma das estratégias proposta pela a ANQIP foi a criação de um selo para rotular a eficiência hídrica de produtos, semelhante aos modelos existentes para o setor elétrico (Figura 1). Outros países como, Irlanda, Reino Unido, Austrália, EUA e Japão elaboraram selos similares. Tornar a rotulagem de dispositivos hídricos obrigatórios é de suma importância para a redução do consumo de água nas edificações segundo Rodrigues *et al.*, (2020). Figura 1 – Exemplos de etiquetas para classificação da eficiência hídrica e energética



Fonte: Elaborada pela autora com base em Pimentel-Rodrigues e Silva-Afonso (2020).

Apesar da presença da análise de categoria “água” nas principais certificações ambientais existentes, não há um referencial técnico que aborde o ciclo da água urbana em todos seus aspectos. Os referenciais divergem em relação ao foco, peso da categoria para obtenção da certificação global e critérios de análise. Rodrigues, (2019), por exemplo, afirma que a categoria “água” exige o dobro da pontuação necessária para obter a certificação HQE quando a comparada ao LEED.

Uma crítica adicional às certificações ambientais internacionais reside nos custos elevados associados seu processo de obtenção e na falta de parâmetros regionais. Estas questões suscitam a necessidade de estabelecer um selo brasileiro que abranja e considere a realidade específica do país. Isto implica em considerar diversas tipologias e usos de edificações, os contextos sociais, os aspectos climáticos regionais, entre outros fatores pertinentes. Uma certificação nacional seguindo essas diretrizes facilitaria a realização de pesquisas no campo da gestão da água em escala de edificações.

Dentre as certificações ambientais de maior relevância existente atuando no Brasil a HQE representa a opção mais adequada para ser o referencial para a realização dessa pesquisa porque possui um referencial técnico específico para a gestão sustentável da água em edificações durante a operação.

2.2 Gestão de Instalações ou *Facility Management*

O conceito de Gestão de Instalações ou *Facility Management* (FM) define, na sua origem, elementos para melhorar a produtividade em ambientes corporativos. Nutt (1999) afirma que o conceito FM foi construído sob várias áreas de conhecimento, gerando grande dispersão entre os pesquisadores e dificultando sua definição de maneira única e unânime, além do atraso no desenvolvimento dessa área de conhecimento.

Apesar das variações, as definições não apresentam diferenças significativas. Nutt (2004) define FM como “o gerenciamento de recursos e serviços de infraestrutura para sustentar a estratégia operacional de uma organização ao longo do tempo” que podem ser realizados nos níveis operacionais e estratégicos. Segundo a *International Facility Management Associations*, FM “é uma profissão que abrange várias disciplinas para garantir funcionalidade, conforto, segurança e eficiência do ambiente construído, integrando pessoas, local, processos e tecnologia” (IFMA, 2018). E para a *International Organization for Standardization*, FM é a “função organizacional que integra pessoas, lugar e processo dentro do ambiente construído com o objetivo de melhorar a qualidade de vida das pessoas e a produtividade do negócio principal das empresas” (ISO, 2017).

Entre as décadas de 80 e 90, surgiram entidades não governamentais com objetivo de pesquisar, testar e divulgar os conceitos FM. Nos EUA, a primeira organização criada foi a *International Facility Management Association* (IFMA) em 1981, enquanto na Europa, a *European Facility Management network* (EuroFM) foi fundada em 1993. No Brasil, apenas em 2004 foi fundada a Associação Brasileira de Facilities (ABRAFAC).

O amadurecimento e o crescimento do interesse pela FM podem ser demonstrados pela necessidade de publicação de normas para unificar os conceitos e definir com clareza as diretrizes e os objetivos a serem alcançados. Nos anos 2000, a *European Committee for Standardization* (CEN) e a *International Organization for Standardization* (ISO), organizações de prestígio internacional, iniciaram a publicação de séries FM, respectivamente EN 15221 e ISO 41000¹, conforme exibido no Quadro 1.

Quadro 1 – Normas internacionais Facility Management

<i>European Committee for Standardization (CEN)</i>	
EN 15221-1:2006	Terms and definitions
EN15221-2:2006	Guidance on how to prepare Facility Management agreements,
EN 15221-3:2011	Guidance on quality in Facility Management
EN 15221-4:2011	Taxonomy, classification and structures in facility management
EN 15221-5:2011	Guidance on Facility Management processes
EN 15221-6:2011	Area and space measurement in facility
EN 15221-7:2012	Guidelines for Performance Benchmarking.
<i>International Organization for Standardization (ISO)</i>	
ISO 41011:2017	Vocabulary
ISO 41012:2017	Guidance on strategic sourcing and the development of agreements
ISO/TR 41013:2017	Scope, key concepts and benefits
ISO 41001:2018	Management systems – Requirements with guidance for use
ISO/IEC 17021-11:2018	Competence requirements certification of Facility MS
ISO 41014:2020	Development of a facility management strategy.
ISO/AWI TR: 41019	Facility management - The role of FM in sustainability and resilience (em desenvolvimento)

Fonte: elaborado pelo autor.

Inicialmente os domínios FM para a indústria da construção limitavam-se as atividades relacionadas às tarefas de operação, gestão imobiliária, os serviços administrativos e o gerenciamento de espaços (CHOTIPANICH, 2004). Progressivamente uma gama de serviços foi incluída para garantir a funcionalidade, o conforto, a segurança e a eficiência do ambiente construído (IFMA, 2018). Seguindo essa tendência, a norma ISO 41001 definiu requisitos para

¹ <https://committee.iso.org/home/tc267>

aumentar a eficiência dos sistemas FM e garantir objetivos sustentáveis para manter a competitividade das organizações. Os requisitos estabelecem responsabilidades, orientam o planejamento e definem os recursos necessários para auxiliar no controle operacional. Além disso, destaca que é necessário monitorar e avaliar os parâmetros para garantir o aperfeiçoamento do desempenho (ISO, 2018). A atualização mais recente engloba gestão de inovações e HSSE (*Health, Safety, Security and Environment*) (ATKIN; BROOKS, 2021).

Concomitantemente aos avanços em FM (*Facility Management*), a expansão do BIM (*Building Information Modeling*) e da IoT (*Internet of Things*) está modernizando a indústria AEC/O (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações) com modelos digitais tridimensionais (3D) que capturam, organizam e compartilham informações em todas as etapas do ciclo de vida de uma edificação. Os modelos BIM armazenam informações essenciais de todas as fases da construção (EASTMAN *et al.*, 2008).

2.2.1 Facility Management sustentável

Conforme mencionado previamente, a indústria AECO desempenha um papel significativo no desequilíbrio ambiental no planeta, sendo alvo de uma pressão crescente de diversos setores da sociedade para mitigação de suas emissões poluentes e redução do consumo de recursos naturais (GUNATILAKE, 2018).

Reavaliar o gerenciamento das instalações com o objetivo de garantir o planejamento estratégico e a tomada de decisões sustentáveis durante a fase operacional é uma das alternativas para reduzir esses impactos. Azhar, (2012) afirma que a etapa operacional responde por 80% dos impactos e custos das edificações, levando em consideração o ciclo de vida completo.

Esses fatores têm motivado a academia a buscar soluções para melhorar a gestão de instalações com foco na eficiência das edificações (HUNHEVICZ; MOTIE; HALL, 2022; HILAL *et al.*, 2019). Outro dado relevante é que 70% do estoque de construções atuais ainda estarão em uso em 2050 (GEORGIADOU, 2012). Ou seja, a maneira como projetamos e operamos os edifícios hoje terão impactos substanciais no consumo de recursos naturais e influenciará a sustentabilidade do planeta em um futuro próximo (NIELSEN, SARASOJA; GALAMBA, 2016; HUNHEVICZ, MOTIE; HALL, 2022).

Além da motivação acadêmica, competição de mercado, exigências governamentais, avanços tecnológicos e mudanças culturais são alguns dos fatores que influenciam a indústria da construção a adotar uma gestão sustentável (OPOKU; LEE, 2022). No entanto, mais do que simplesmente cumprir requisitos legais, Roper (2006) aponta que as empresas que buscarem a sustentabilidade ambiental através do projeto, construção e operação de edifícios têm a

oportunidade de desenvolver uma melhor reputação e alcançar maior sucesso na economia global.

Acompanhando o crescimento das preocupações ambientais, surge uma linha de pesquisa específica dentro do campo de conhecimento do Facility Management (FM), conhecida como FM Sustentável (GALAMBA; NIELSEN, 2017; SANTOS *et al.*, 2019). Maximizar o desempenho dos edifícios (HUNHEVICZ, MOTIE; HALL, 2022), otimizar o consumo de energia (LI *et al.*, 2019; ABDELALIM *et al.*, 2017) e minimizar os impactos negativos são aspectos abrangidos pela manutenção verde (CHEW, CONEJOS; ASMONE, 2017).

Mesmo com o aprimoramento do desempenho sendo um dos temas de pesquisa nessa área, identifica-se uma lacuna significativa quando se trata do aprimoramento da gestão da água em edificações. As pesquisas sobre FM sustentável na escala predial abordam, sobretudo, o gerenciamento do consumo de energia (LIU; MUKHEIBIR, 2018).

Dentro desse tema, destaca-se o desenvolvimento de aplicações BIM como *plug-ins* de plataformas proprietárias, utilizando API (*Application Programming Interface*) específicas é amplamente relatado na literatura. Alguns trabalhos como Oti *et al.* (2016), Zaballos *et al.* (2020), Tang *et al.* (2020), Seidenschur *et al.* (2022), Shu e Xu (2021), Wong e Kuan (2021) e Kamel e Memarib (2019) são alguns exemplos encontrados. Dentro dessa perspectiva a avaliação do desempenho das edificações e a sustentabilidade são temas relevantes para a linha de pesquisa (GÜRSEL, 2010; OPOKU; LEE, 2022).

O lado negativo da utilização dos *plug-ins* é a dependência de conhecimentos técnicos avançados, o domínio funcional das plataformas e o alto custo das licenças, o que restringe o acesso dos usuários e dificulta a interoperabilidade. Visando avançar essa questão propõe-se um artefato computacional desenvolvido em plataforma *web* que democratiza o acesso e facilita a manipulação do modelo BIM.

2.3 A importância da gestão da água

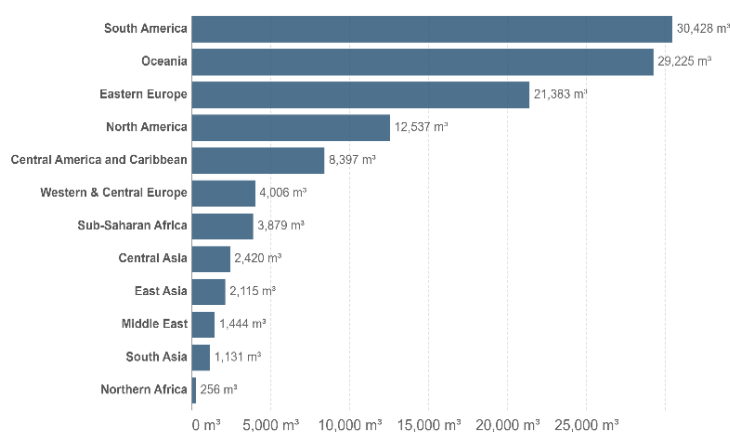
Reduzir o consumo da água das edificações durante a etapa de operação é umas das ações para garantir um desenvolvimento mais sustentável.

Até 2025 mais de 2 bilhões de pessoas estarão sob condições de estresse ou escassez hídrica (UNESCO, 2021). Garantir a equidade e qualidade do fornecimento da água é um dos dezessete objetivos do desenvolvimento sustentável da ONU. De acordo com ODS 6 é preciso “aumentar a eficiência do uso de água em todos os setores, garantir retiradas sustentáveis para reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem de escassez de água” é um dos

objetivos descritos (ONU, 2021).

A disponibilidade da água doce nas diferentes regiões do planeta é extremamente irregular (Figura 2). O levantamento considera os recursos renováveis de água doce, medidos em metros cúbicos por pessoa por ano, provenientes de bacias hidrográficas e recarga de aquíferos subterrâneos.

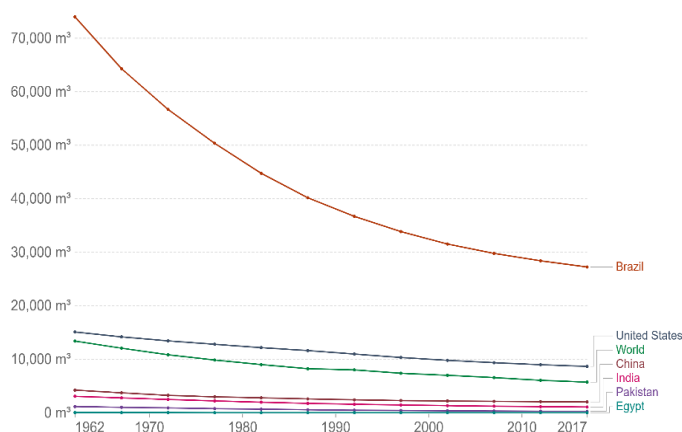
Figura 2- Distribuição dos recursos renováveis de água doce por continente



Fonte: Ourworldindata.org/water-use-stress².

Apesar de o Brasil possuir uma posição de destaque em relação à quantidade *per capita* de água doce renovável, verifica-se uma tendência de queda vinculada à disponibilidade do recurso. Após um declínio drástico ocorrido entre os anos 1962 a 2000, atualmente a curva encontra-se mais suave, embora ainda descendente. Houve uma perda de aproximadamente 20% da disponibilidade hídrica nos últimos sete anos. (Figura 3).

Figura 3- Distribuição dos recursos renováveis de água doce por país



Fonte: Ourworldindata.org/water-use-stress.

² <https://ourworldindata.org/water-use-stress>

Somado à irregularidade espacial verifica-se o desequilíbrio da disponibilidade da água em relação aos seus usos (abastecimento humano, agricultura, transporte, geração de energia e indústria). Aproximadamente 70% das retiradas globais de água no planeta são realizadas pelo setor da agricultura (FAO, 2020). No Brasil o setor agrícola responde por cerca de 50% das retiradas, enquanto o abastecimento urbano por 25% (ANA, 2021)³.

Em concordância com Gleick (2003), antes de iniciar a discussão a respeito da evolução do conceito da gestão da água, apresenta-se os termos fundamentais para o gerenciamento da água:

“Retirada: geralmente se refere à água retirada de uma fonte usada para atender as necessidades humanas.

Uso consuntivo ou consumo: normalmente refere-se à água retirada de uma fonte indisponível para reutilização na mesma bacia.

Demanda: é um conceito econômico frequentemente usado para descrever a quantidade de água solicitada por uma atividade, mas que nem sempre corresponde a quantidade mínima requerida.

Conservação da água: refere-se simplesmente à redução do uso de água por qualquer quantidade ou qualquer meio, que pode incluir a aplicação de nova tecnologia, melhoria da tecnologia antiga e instituição de mudanças comportamentais.

Eficiência no uso da água: é uma medida mais precisa da conservação da água: quanto a água é realmente usada para um propósito específico em comparação com a quantidade mínima necessária para satisfazer esse propósito”.

Consumo: é água utilizada somada a água desperdiçada (OLIVEIRA, 1999).

Outro termo importante para o desenvolvimento do trabalho é a escassez da água, definida como a insuficiência disponível para atender as demandas humanas que variam de acordo com o contexto social, econômico e de saúde (GLEICK; COOLEY, 2020). Ou o descompasso entre as taxas de renovação da água e os limites máximos de retiradas para o uso efetivo (GLEICK; PALANIAPPAN, 2010). A água urbana inclui o consumo residencial, industrial e institucional (GLEICK; COOLEY, H., 2020).

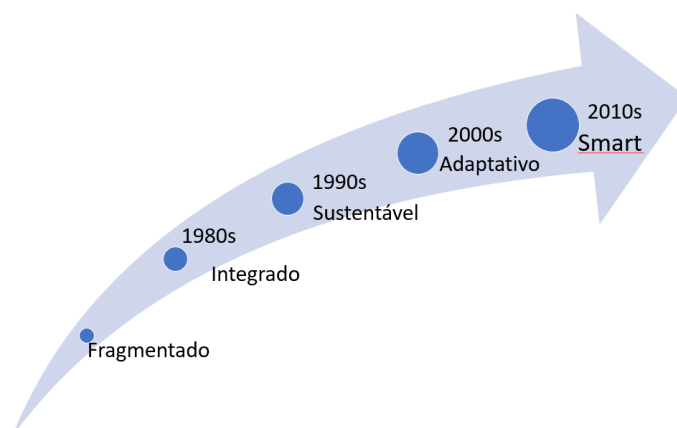
A complexidade da gestão da água envolve vários aspectos, como o ciclo hidrológico, as demandas humanas (decompostas em fatores culturais, econômicos e sociais) e a tecnologia (GLEICK, 2018). Na gestão tradicional da água urbana a escassez é combatida com a ampliação da capacidade de armazenamento dos reservatórios e infraestrutura dos sistemas existentes (GLEICK, 2003). O autor afirma que existem informações suficientes para

³ <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/usos-da-agua>

demonstrar que esse sistema gera altos custos e grandes impactos ambientais, além de ser ineficiente para atender as demandas atuais.

Su *et al.* (2020) argumentam que o conceito para a gestão integrada da água evolui à medida que cresce a pressão pela água. No gráfico apresentado pelo autor na Figura 4 nota-se que a mudança da perspectiva tradicional do conceito de gerenciamento iniciou-se nos anos 1980 com *Integrated Water Management (IWM)* cuja premissa básica era garantir a integração e que nos anos 1990 incorporou-se princípios da sustentabilidade. Contudo, nos anos 2000, as incertezas relativas à disponibilidade do recurso devido aos impactos das mudanças climáticas demandavam um gerenciamento capaz de adaptar as condições locais. Em resposta surge o *Adaptive Water Management (AWM)*. Uma década depois, a era digital incorpora a captação *on-line* de dados permitindo análises interativas e armazenamento de informações em banco de dados emergindo *Smart Water Management (SWM)*.

Figura 4 - Evolução das concepções gerenciamento urbano



Fonte: Adaptado Su *et al.* 2020.

Vários pesquisadores destacaram a necessidade de adotar novas abordagens para a gestão da água em longo prazo. Nika *et al.* (2020) afirmam que a água é o recurso natural que mais sofreu danos pelo crescimento urbano. Um sistema hídrico urbano sustentável deve privilegiar o desenvolvimento socioeconômico moderno sem comprometer o abastecimento futuro (WILLUWEIT; O'SULLIVAN, 2013). Brears (2017) alerta sobre a necessidade de mudar os paradigmas de gestão das águas urbanas.

A imprevisibilidade causada pelas mudanças climáticas, o crescimento exponencial da população urbana e o aumento de conflitos relacionados a questões hídricas geram circunstâncias sem precedentes capazes de gerar um ponto de inflexão no gerenciamento da

água. Por outro lado, tecnologias inovadoras fornecem dados em tempo real a cientistas e gestores, permitindo a reutilização de águas cinzas e a reutilização direta de águas residuais. A interação desses fatores incentiva a formulação de novos paradigmas que considerem o gerenciamento integrado e sustentável da água que está em curso (GLEICK, 2018). O novo conceito deve considerar a limitação da quantidade de água disponível (ŠULYOVÁ; VODÁK; KUBINA, 2021). Brears (2017) acrescenta que as ações devem ser pensadas de forma integrada e coordenada para realizar uma gestão eficaz das águas urbanas, considerando as políticas institucionais em escalas individuais. Antzoulatos *et al.* (2020) argumentaram que a gestão tradicional da água pode ser considerada inadequada, na medida que novas tecnologias estão disponíveis para revolucionar a gestão dos sistemas de água urbanos.

Gleick e Cooley (2020) defendem soluções integradas que utilizem informações mais precisas e indicadores para avaliar a escassez para aumentar a eficiência do uso água e garantir a sustentabilidade. Dessa forma, políticos e gestores serão capazes de analisar os diferentes tipos de demandas (ex.: cinza, potável, azul etc.) e incluir novas alternativas para o fornecimento em oposição ao paradigma atual da gestão. Para o sucesso integral desse novo paradigma de gestão, o consumo de todos os setores da sociedade deve ser incluído. Na Áustria, por exemplo, as edificações consomem cerca de 33% da água urbana (VANHAM, 2012), na União Europeia e Austrália o setor comercial responde por 20% (WORTHINGTON, 2010; TABASSUM, 2016). O que demonstra o potencial de economia desses setores e a importância da gestão da água também na escala das edificações (MORAVEJ *et al.*, 2021; NOVOTNY, 2008).

2.3.1 A gestão da água na escala das edificações

A conservação da água deixou de ser apenas um tema acadêmico discutido por ambientalistas para se tornar um problema de engenharia real e urgente. Até o ano de 2050, a escassez de água será uma realidade para cerca da metade da população mundial (ANTZOULATOS *et al.*, 2020). O constante aumento da população e das taxas de urbanização exerce pressão sobre o abastecimento de água nas cidades (BREARS, 2017).

Além dos aspectos naturais e demográficos, o consumo excessivo representa uma pressão adicional durante a escassez de água. De acordo com Motoshita *et al.* (2020), 17% do consumo global é destinado a atividades que vão além dos requisitos básicos de consumo humano de água. Para o setor residencial, a Organização Mundial da Saúde define 110 litros por pessoa por dia como a quantidade mínima de água para atender às necessidades humanas (OMS, 2013). No entanto, vários países extrapolam esse critério. Por exemplo, nos Estados

Unidos, Austrália e Brasil, os consumos médios de água são de 614 litros por pessoa por dia (Mayer et al., 2016), 155 litros por pessoa por dia (WILLIS et al., 2009) e 200 litros por pessoa por dia (ANA, 2021), respectivamente.

Diferenciar demandas em diferentes espaços e escalas facilita a adequação do gerenciamento da água às necessidades atuais (DUERR *et al.*, 2018) e reforça a urgência de considerar a questão de modo mais amplo (GLEICK, 2003).

A conservação da água possui três níveis de gerenciamento. No nível macro considera a preservação dos mananciais e os sistemas hidrográficos integrais, no nível meso é avaliado o âmbito municipal, enquanto os sistemas prediais correspondem ao micro gerenciamento (OLIVEIRA, 1999). Segundo Gonçalves (2006), a conservação da água predial consiste em adotar medidas que promovam a redução de retiradas nas fontes primárias, a diminuição do consumo, o combate ao desperdício, o incentivo à reciclagem e o reuso da água. Outra forma de reduzir o consumo é tornar mais racional o uso da água. O aumento da eficiência do uso da água possui sob dois aspectos “a redução direta do consumo através da utilização de dispositivos economizadores ou estabilização do consumo em níveis mínimos alcançados a partir do monitoramento sistemático do consumo no sistema” (OLIVEIRA, 1999 p.4).

Tradicionalmente, o gerenciamento da água no âmbito das edificações se apoia em banco de dados de baixa resolução, em que, muitas vezes, considera-se somente a medição mensal do consumo feita pela concessionária (COMINOLA *et al.*, 2015). A falta de coleta sistemática de dados sobre os consumos residenciais e comerciais é apontada por Gleick (2003) como um dos problemas para a ineficiência do uso da água. Argumento corroborado por Tamaki e Gonçalves (2006) que defendem a realização de auditoria do consumo como instrumento fundamental para propor mudanças. Contudo, a auditoria deve ultrapassar a simples coleta e organização desses dados, alertam Hu *et al.* (2021). Para estabelecer novos parâmetros e balizar as tomadas de decisão é necessária a retroalimentação do sistema (COMINOLA *et al.*, 2015). Além da gestão de dados, Bermudez *et al.* (2018) alerta para importância de considerar frequentemente a obsolescência da infraestrutura.

Na literatura existente, são encontrados exemplos de várias metodologias voltadas para a conservação de água em edifícios. Algumas dessas metodologias incluem os trabalhos de: Tamaki, (2003); Oliveira, (1999) ou Rodrigues, (2015) que abordavam a determinação de procedimentos e critérios práticos para gestão. Em outra linha Silva-Afonso (2009) adaptaram a política de sustentabilidade 5 Rs destinada à redução de resíduos sólidos para a gestão da água. Reduzir consumo, reduzir perdas e desperdícios, reutilizar água, reciclar água e recorrer a fontes alternativas são os princípios propostos. Outro exemplo de metodologia é derivado da

Política Nacional de Combate ao Desperdício de Água (PNCDA), estabelecida pelo governo federal em 1987, que se dedica à conservação desse recurso em todos os níveis. O referencial do PNCDA possui princípios básicos, tais como a realização de uma auditoria inicial, a avaliação da oferta e demanda de água, a realização de estudos de viabilidade técnico-econômica e o desenvolvimento de ações tecnológicas (SILVA; CONEJO; GONÇALVES, 1998).

Oliveira (1999) defende que a conservação na microescala representa parcela significativa do consumo da água urbana. Para estimular o uso racional da água nas edificações, propõem a implementação do Programa de Uso Racional da Água (PURA). Os procedimentos metodológicos do programa incluem realização da auditoria do consumo, definição de indicador histórico, execução de diagnóstico preliminar com levantamento das características físicas e funcionais da edificação, monitoramento do consumo para acompanhamento dos indicadores e elaboração de plano de intervenção. O consumo de água nas edificações é composto pela quantidade efetivamente necessária para a realização das atividades, somada à parcela relacionada às perdas. Essa distinção é necessária devido aos altos índices de perdas ocorridas tanto pela má utilização dos usuários como pelos projetos inadequados ou pelas falhas do sistema (OLIVEIRA, 1999).

Um exemplo bem sucedido de aplicação de uma metodologia para gerir a água de uma edificação é o trabalho conduzido por Tamaki (2003) no campus da USP no qual foi empregada dispositivos digitais para setorizar a medição. O resultado obtido, na primeira fase, foi a redução de 43% do consumo e, na segunda fase, de 19%, representando uma economia global de 33%.

Estabelecer históricos do consumo, definir indicadores de referência e monitorar os consumos são os pontos de convergência entre as metodologias apresentados e fundamentaram a elaboração da pesquisa.

O estado da arte sobre a gestão da água aponta para a diminuição da oferta de água potável nas cidades e evidencia a necessidade de realizar estudos que indiquem maneiras de promover a conservação da água para garantir a equidade. Portanto, o gerenciamento de água em edifícios é uma parte crucial do debate sobre a escassez de água. Moravej *et al.* (2021) sustentam que há uma interligação entre o consumo em níveis predial e urbano, sendo que o aumento da eficiência no consumo em nível predial contribui para o gerenciamento integrado. Novotny (2008) acrescenta que não apenas a redução do consumo, mas também o reuso de água são valores fundamentais nesse contexto.

Contudo, na escala das edificações verifica-se maior ênfase a abordagens do consumo residencial. Mannan e Al-Ghamd (2020) reconheceram a importância da conservação de água

em edifícios para garantir a segurança hídrica e identificaram a necessidade de expandir o conhecimento sobre o consumo de água não residencial. O impacto do consumo comercial na água urbana é imprecisamente definido. No entanto, estudos locais realizados no Paquistão (TABASSUM et al., 2016) e nos Estados Unidos (EPA, 2016) sugeriram valores de 15% e 9%, respectivamente. Esses valores são significativos e demonstram o potencial de economia de água desse setor.

A digitalização da indústria AEC/O (Arquitetura, Engenharia, Construção e Operações) e do setor de água tem promovido o desenvolvimento de novas soluções. Aivazidou et al. (2021) identificaram que os estudos podem ser categorizados de acordo com o nível de gestão, tecnologias e objetivos. Monitoramento, detecção de vazamentos, suporte à tomada de decisão e otimização estão entre os objetivos mais comuns do emprego da tecnologia.

BIM-IoT-FM é uma das tendências tecnológicas que se destaca no setor da construção. Essa integração, aliada à disponibilidade de dados provenientes de dispositivos IoT, apresenta-se como uma alternativa promissora para aprimorar o desempenho de edificações durante a fase de operação. Essa abordagem permite a coleta, análise e utilização de dados em tempo real, proporcionando insights valiosos para a gestão eficiente das edificações, otimização dos recursos e tomada de decisões embasadas em dados concretos.

2.4 Tecnologias digitais aplicadas

Segundo Hamelink, (1997, p.3), “*Digital Technologies* (DTs) ou Tecnologias digitais se referem ao uso das tecnologias de informação e comunicação (TICs) para facilitar diferentes formas de comunicação entre seres humanos e sistemas eletrônicos e entre sistemas eletrônicos”. Ou seja, as informações são produzidas em linguagem digital, o que permite armazenar, manipular e reutilizar os dados. A adoção das DTs pela indústria da construção é lenta, embora essa realidade esteja mudando (IBEM; LARYEA, 2014).

2.4.1 BIM

Nas duas últimas décadas, o *Building Information Modeling* (BIM) se consolidou como paradigma para automatizar e modernizar o setor (BILAL et al., 2016). Os modelos digitais 3D possibilitam capturar, organizar e compartilhar informações em todas as etapas do ciclo de vida de um edifício (EASTMAN et al., 2008). Succar (2008) define o BIM como metodologia que integra os aspectos tecnológicos, políticos e os processos da construção.

Com exceção do continente africano, a adoção mundial do BIM é expressiva e pode ser medida pelos incentivos e pelas exigências legais de cada país. Observa-se (Figura 5) que sua implementação é desigual. Enquanto países como EUA, Reino Unido, Rússia e Singapura exigem que todos os projetos públicos sejam desenvolvidos em BIM, o Canadá está na fase de implementação.

Figura 5 - Implementação do BIM no mundo



Fonte: Ministério da Infraestrutura 2022⁴.

No Brasil, a implementação BIM está em processo de desenvolvimento. Os primeiros trabalhos acadêmicos e artigos técnicos foram publicados no final dos anos 1990 e início dos anos 2000 (KASSEM e AMORIM, 2015). O governo federal criou, em 2009, a Comissão de Estudo Especial de Modelagem de Informação da Construção para definir a padronização e o promover desenvolvimento BIM. Diversas frentes de trabalhos foram estabelecidas. Em 2011, foi publicada a primeira norma técnica (Quadro 2), enquanto a legislação inicial (decreto 9.377) data de maio de 2018. O objetivo do decreto era instituir uma estratégia de disseminação do BIM no país. O decreto nº 10.306 publicado em 2020 define os critérios básicos para o emprego da metodologia BIM para executar obras e serviços de engenharia no âmbito da administração pública federal” (BRASIL, 2020, p.1).

⁴https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/bim-no-dnit/base-de-conhecimento/apresentacoes-webinar/20210428_apresentacao_o-bim-mandate_grupo-aj.pdf

Quadro 2 – Normas brasileiras sobre BIM

Número da norma	Assunto
ABNT NBR 15965-1:2011	Parte 1: Terminologia e estrutura
ABNT NBR 15965-2:2012	Parte 2: Características dos objetos da construção
ABNT NBR 15965-3:2014	Parte 3: Processos da construção
ABNT NBR 15965-7:2015	Parte 7: Informação da construção
ABNT NBR ISO 16757-2:2018	Parte 2: Geometria Estruturas de dados para catálogos eletrônicos de produtos para sistemas prediais
ABNT NBR ISO 16757-1:2018	Parte 1: Conceitos, arquitetura e modelo
ABNT NBR ISO 16354:2018	Diretrizes para as bibliotecas de conhecimento e bibliotecas de objetos
ABNT NBR 15965-4:2021	Parte 4: Recursos da construção
ABNT NBR 15965-5:2022	Parte 5: Resultados da construção
ABNT NBR 15965-6:2022	Parte 6: Unidades e espaços da construção

Fonte: ABNT⁵.

Outro aspecto a ser considerado na implementação do BIM é o estágio de maturidade. Succar, (2015) divide em três esse estágio. No primeiro (fase 1), o modelo digital é usado apenas como um suporte de visualização espacial, não havendo interação entre as etapas do processo de construção (projeto, construção e operação). No segundo (fase 2), as informações do modelo começam a ser compartilhadas entre projeto e construção. No terceiro e último estágio (fase 3), o modelo é utilizado em sua capacidade máxima e promove a integração entre os profissionais das diferentes fases através da troca de informações.

Aplicações do BIM nas mais variadas áreas são tratadas nos estudos. Pode-se citar: cálculo automático de rotas de fugas (RUEPPEL; STUEBBE, 2008); checagem automática de normas (MACITILAL; GÜNAYDIN, 2017); melhoria do desempenho energético para edificações existentes (HABIBI, 2017); capacidade de realização de simulações para tomar decisões de projetos mais sustentáveis (LIU; MENG; TAM; LIU, 2015); ferramentas de análise do desempenho energético das edificações (CLARKE; HENSEN, 2015); análises de iluminação natural (DÍAZ-VILARIÑO *et al.*, 2014); elaboração de projetos de MEP⁶(WANG *et al.*, 2016); projetos *retrofits* (MA *et al.*, 2012); utilização de elementos pré-fabricados (WANG *et al.*, 2016); ; uso da tecnologia IoT para melhorar a segurança dos canteiros de obra (KANAN *et al.*, 2018); ferramentas para estudo de orientação solar (KANTERS *et al.*, 2014); dentre outras.

⁵<https://www.abntcatalogo.com.br/normagrid.aspx>

⁶MEP - (Mechanical, Electrical and Plumbing) tradução: Mecânico, Elétrico e de Tubulações

Paralelamente á expansão do uso do BIM, as TICs contemporâneas começam a ser introduzidas na indústria da construção e em associação ao BIM estão criando novas oportunidades. No Quadro 3, a seguir, há as definições básicas e os respectivos exemplos das aplicações mais comuns para o setor.

Quadro 3 – Tecnologias digitais associadas ao BIM

Termo	Definição	Exemplos de aplicações na Indústria da construção
Realidade Virtual ou <i>Virtual Reality</i> (VR)	Ambiente virtual imersivo que simula ambientes (Davila Delgado <i>et al.</i> , 2020)	Treinamento segurança contra incêndio e a eficiência do resgate em edifícios (Chen, 2021)
Realidade aumentada ou <i>Augmented Reality</i> (AR)	Inserção ou a sobreposição de elementos reais nos modelos digitais (Zhanga <i>et al.</i> ,2022)	Visualização de soluções na fase de projeto (Siltanen, 2015) Soldagem robótica (Tavares <i>et al.</i> , 2019) Montagem de tubulação (Kwiatek <i>et al.</i> , 2019)
Gêmeo digital ou <i>Digital Twinning</i> (DT)	Refere-se à cópia virtual ou modelo de qualquer entidade física (gêmeo físico), ambos interconectados via troca de dados em tempo real (Singh <i>et al.</i> , 2021)	Detalhamento de projeto e verificação virtual (Jiang <i>et al.</i> , 2021) Produção pré-fabricada (Jiang <i>et al.</i> , 2022)
Sistema de Informação Geográfica ou <i>Geographic Information System</i> (GIS)	É um sistema para capturar, armazenar, manipular, analisar, gerenciar e apresentar todos os tipos de dados geográficos (Kim <i>et al.</i> ,2012).	Os dados GIS ajudam a dar suporte a diferentes processos de sistemas de informação para o gerenciamento de instalações internas. Ex.: gerenciamento de energia (Wong <i>et al.</i> , 2018)
Rádio Frequência de Identificação ou <i>Radio Frequency Identification</i> (RFID)	Termo genérico para as tecnologias que utilizam a frequência de rádio para captura de dados. Caracteriza-se pela leitura repetitiva, reescrita, não contato e a capacidade de acessar várias <i>tags</i> simultaneamente (Hunt <i>et al.</i> , 2007)	Inventário e rastreamento de ferramentas (Goodrum <i>et al.</i> ,2006) Planejamento, controle de produção para uma casa com painéis e instalação de pré-fabricado (Altaf <i>et al.</i> ,2018)

Fonte: Elaborado pela autora.

A associação BIM-IoT é um dos pilares que estruturam o desenvolvimento dessa pesquisa. Devido à importância da Internet das Coisas ou IoT nesse contexto, o conceito será apresentado mais detalhadamente.

Segundo Gubbi *et al.* (2013, p.1647), o IoT é

interconexão de sensores e dispositivos de atuação com a capacidade de compartilhar informações entre plataformas por meio de uma estrutura unificada, desenvolvendo um quadro operacional comum para permitir aplicativos inovadores.

Os sistemas IoT permitem que dispositivos estabeleçam uma conexão via internet para fornecer dados em tempo real, admitindo assim o controle dos parâmetros físicos dos ambientes (KOCHOVSKI; STANKOVSKI, 2018; MINERVA *et al.*, 2015). O número de sensores inteligentes instalados cresce exponencialmente (DAVE *et al.*, 2015) a cada ano, as projeções apontam que até 2025 serão cerca de 35 bilhões⁷. O movimento crescente de tornar os dispositivos inteligentes expandiu o emprego do conceito IoT e a indústria 4.0. Nos últimos anos, a redução do custo de sensores ampliou o acesso a dados que podem ser usados para tomada de decisão operacional (OLIFF; LIU, 2017).

Inúmeras aplicações empregam os dados de dispositivos IoT nas mais variadas áreas. Transporte e logística, saúde, ambientes inteligentes são alguns exemplos citados por Atzori *et al.* (2010). No setor da construção, quando a tecnologia IoT associa-se ao BIM, oferece opções para determinadas etapas do ciclo de vida, como por exemplo, a operação. Tang *et al.* (2019) classificaram as aplicações em diferentes domínios. Operação e monitoramento da construção dos dados ambientais e localização auxiliam as tarefas da construção por meio do monitoramento das condições ambientais, equipamentos e progresso da obra. No gerenciamento de saúde e segurança os sensores fornecem informações para identificar riscos, emitir alertas em tempo real e monitorar a saúde dos trabalhadores. O autor identificou ainda aplicações nos domínios logísticos (ex.: automação em sistemas pré-fabricados) e *Facility Management*.

2.4.2 A integração BIM-FM-IoT

Tradicionalmente, o gerenciamento operacional das edificações baseia-se em projetos tradicionais desatualizados e informações fragmentadas, o que torna a obtenção de desempenhos positivos muito dependente da experiência e do conhecimento pessoal do gestor (BECERIK-GERBER *et al.*, 2012). Segundo Motamedi, Hammad e Asen (2012), uma forma de modernizar a gestão da edificação na etapa da operação é o emprego de tecnologias que promovem a atualização das informações, que apoiam as tarefas FM e tornam a tomada de

⁷ <https://www.statista.com/statistics/802690/worldwide-connected-devices-by-access-technology/>

decisão mais intuitiva. Corroborando com essa argumentação de Marocco e Garofolo (2021) propõem o uso das tecnologias disruptivas como instrumento de ampliação da eficiência através da inclusão de análises sistemáticas de dados da operação.

Nesse cenário, o BIM destaca-se como uma plataforma adequada para implementar essa mudança de paradigma, porque possibilita integração de bases de dados diferente, atualização dinâmica e espacialização das informações (NICAŁ; WODYŃSKIB, 2016). Características que facilitam a integração entre as etapas de concepção, projeto, execução e operação (PÄRN, EDWARDS; SING, *et al.*, 2017). A integração BIM-FM ganhou relevância nos últimos anos em virtude dessa capacidade de combinar fontes externas de informações com elementos geométricos da edificação para executar análises complexas (ZHAN *et al.*, 2019). Em outras palavras, o modelo digital 3D possibilita representar e localizar os elementos construtivos com acuidade ao mesmo tempo que promove a centralização de metadados descritivos e operáveis (TANG *et al.*, 2019).

A interação entre BIM-FM permite a modelagem das informações operacionais, possibilitando a otimização da gestão de instalações para melhorar o desempenho do edifício ao longo de seu ciclo de vida (NICAŁ e WODYŃSKIB, 2016; Dixit, M. *et al.* 2019). A definição clara das tarefas de FM e a integração de informações em todas as etapas são os motivos para o sucesso do BIM-FM (PISHDAD-BOZORGI *et al.*, 2018). Facilidade de integrar o modelo BIM a banco de dados em tempo real, a visualizar informações e promover a gestão energética estão entre as funções iniciais, descritas por Becerik-Gerber *et al.* (2012), para a construção.

Assim como Becerik-Gerber *et al.*, (2012), Nicał; Wodyńskib, (2016) descrevem as tarefas FM clássicas para construção. Essas funções abrangem a gestão de espaços, planejamento de reformas, manutenção de equipamentos, análise e controle do consumo de energia. Enquanto os autores Pärn; Edwards; Sing, *et al.*, (2017) destacam, a integração de equipes.

Muitas outras aplicações se somaram as iniciais. Por exemplo, a operação de desvios de sistemas ferroviários (KAEWUNRUEN; LIAN, 2019) ou instalações industriais de petróleo e gás (RASYS *et al.*, 2014).

Além disso, o emprego do modelo BIM facilita a incorporação das alterações dinâmicas que ocorrem na rotina da operação (BOSCH, A.; VOLKER L.; KOUTAMANIS A., 2015), possibilita a geração de banco de dados históricos e descomplica a busca e apresentação por informações (MAROCCO; GAROFOLO, 2021). Consequentemente, os investimentos no desenvolvimento de aplicações BIM podem transformar a gestão de instalações na fase

operacional (GAO; PISHDAD-BOZORGI, 2019). Segundo Dixit *et al.* (2019), a modelagem das informações durante essa etapa potencializa o desempenho das edificações. Esses novos recursos renovaram o debate sobre o aperfeiçoamento da gestão das instalações nos edifícios (KELLY *et al.*, 2013).

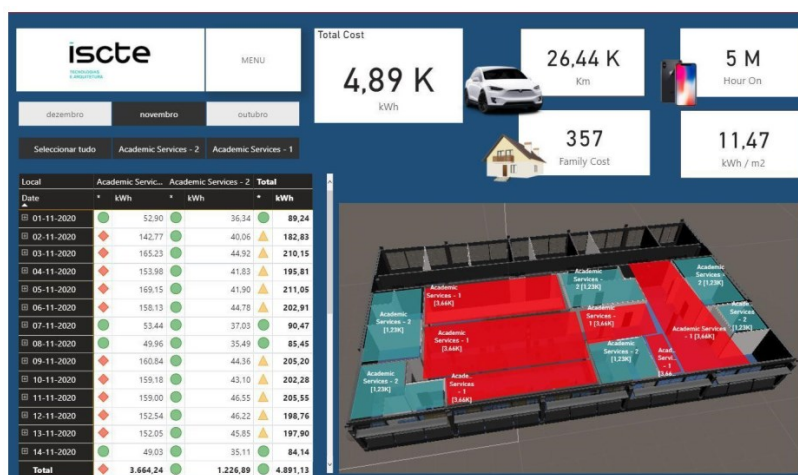
Recentemente, pesquisas envolvendo esse campo do conhecimento incluíram a sustentabilidade (LAWRENCE *et al.*, 2012; GHAFFARIANHOSEINI *et al.*, 2019) e as tecnologias inteligentes (WONG *et al.*, 2018; HONG *et al.*, 2015). Windapo (2020) argumenta que a integração BIM-FM-IoT possibilita estabelecer critérios para a operação sustentável dos edifícios. Dessa forma, é possível medir e monitorar se a utilização dos recursos está dentro de um padrão estabelecido. De acordo com Gürsel (2010), o monitoramento contínuo das funcionalidades das edificações possibilita estabelecer metas que aumentem o desempenho das edificações e as tornem mais sustentáveis.

Nesse contexto, a adoção de tecnologias digitais tem proporcionado novas oportunidades e avanços significativos. Entre as diferentes áreas de pesquisa estão uso da Realidade Virtual. Por exemplo, Zhang *et al.* (2022) levantaram aplicações empregando tecnologia de Realidade Virtual integrada ao BIM em todo o ciclo de vida da indústria AECO. Nesse estudo, os autores levantaram os benefícios e as fragilidades das aplicações descritas na literatura. Três tipos de aplicações destacam-se na área de conhecimento FM: localização interna e segurança de usuários através da integração do banco de dados e recursos gráficos (renderização de imagens) do modelo BIM (HA *et al.*, 2018), automação de processos de manutenção empregando o diálogo entre os sistemas computacionais em nuvem e modelo BIM para captar e gerenciar informações essenciais à manutenção de edificações, e a preservação da integridade estrutural da edificação através das análises de medições obtidas por sensores em tempo real. O modelo 3D dinâmico, nessa situação, facilita a identificação das anomalias e quando integrados a algoritmos criam padrões que avaliam a condição estrutural (MORGENTHAL *et al.*, 2019).

Outra linha de pesquisa de destaque para aplicações FM é a integração BIM aos dispositivos IoT. Segundo Tang *et al.* (2019), a estrutura dessa integração é composta pelo modelo BIM (repositório de dados geométricos da edificação e informações da operação), pelo armazenamento de séries temporais de dados fornecidas pelos sensores (geralmente empregando *Structured Query Language* ou SQL) e pelo método de integração que pode ser uma API (*Application Programming Interface*) ou semântica *web*. A associação de características complementares explica os benefícios da associação BIM-IoT. O BIM integra fontes externas de dados de forma dinâmica e estrutura espacialmente as informações por meio

de modelo 3D operável dentro de um contexto virtual. A materialidade é dada pelos dispositivos IoT que fornecem *status* em tempo real e registrável das operações nas edificações (TANG *et al.*, 2019). Adicionalmente, as plataformas BIM possuem propriedades para representar graficamente as informações. O resultado das análises é apresentado por meio de cores para facilitar a interpretação dos dados por pessoas que não possuem conhecimento técnico (MATALOTO *et al.*, 2021) conforme exibido na Figura 6 a seguir.

Figura 6 - Exemplo de aplicação BIM em *software* para gerenciamento de energia



Fonte: Mataloto *et al.*, (2021).

Paralelamente, Elghaishet *et al.* (2021) incluem a gestão operacional e patrimonial como uma das tendências para aplicações IoT dentro da indústria da construção 4.0. Inseridos nesse grupo quatro assuntos relacionados a aplicações BIM-FM-IoT se sobressaem: automatização de tarefas de operação e manutenção, gerenciamento de performance, gerenciamento de energia e aprimoramento para respostas a emergência e desastres. (TANG *et al.*, 2019). A análise dos parâmetros em tempo real permite adequar as ações considerando os dados reais da operação.

Além disso, a análise de dados em tempo real tem sido aplicada com ênfase no monitoramento e aprimoramento do conforto dos usuários durante a fase de operação. Zahid, Elmansoury e Yaagoub (2021) investigaram a otimização dos sistemas de ventilação, aquecimento e ar condicionado, a partir de dados de sensores. Trabalho semelhante é realizado por Jaewon *et al.* (2022) que estudaram a personalização do controle da temperatura dos ambientes para melhorar o conforto térmico e a eficiência energética

Os resultados iniciais das pesquisas indicam que a disponibilização de dados *on-line* torna a tomada de decisões FM mais precisa (GAMIL *et al.*, 2020; VALINEJADSHOUBI *et al.*, 2021; WONG *et al.*, 2018).

2.4.3 Aplicação dos dispositivos IoT na gestão da água

Muitos autores defendem que os recursos tecnológicos são instrumentos chave para a implementação de um novo paradigma da gestão hídrica (ZHIGUO YUAN *et al.*, 2019; EGGIMANN *et al.*, 2019) e o uso mais eficiente da água (AIVAZIDOU *et al.*, 2021; HERING *et al.*, 2013). A disponibilidade de informações em tempo real e o aumento da capacidade de armazenamento de dados criaram oportunidades para revolucionar os sistemas de gestão de águas urbanas (HERING *et al.*, 2013; CONEJOS FUERTES *et al.*, 2020).

No contexto da gestão da água, investigações empregando dados dos medidores inteligentes ou *smart meter* (SM) se destacam. Os SM são dispositivos digitais capazes de registrar remotamente os consumos de energia, água ou gás em intervalos regulares e transmiti-los em tempo real para banco de dados (BOYLE *et al.*, 2013). Inicialmente, a adoção dos SM em larga escala se deu em empresas concessionárias de energia elétrica com intuito de modernizar os mecanismos de faturamento, cadastro de usuários e, eventualmente, evitar perdas no sistema (FELICIANO *et al.*, 2021). Os resultados das pesquisas obtidas no setor elétrico incentivaram o uso dos SM também nas empresas concessionárias de água (TURNER *et al.*, 2010; STEWART *et al.*, 2018).

Após os anos 2000, intensificaram os estudos nessa área principalmente em países europeus, na Austrália e EUA (COMINOLA *et al.*, 2015). Monitorar a vazão, a distribuição e o consumo de água; permitir o acesso em tempo real a informações de consumo e faturamento; aumentar a eficiência e conservação do uso da água; melhorar a detecção de vazamentos e fraudes; e fornecer leituras e dados mais precisos são as diferentes abordagens de pesquisas que empregam dados SM (MOUNCE; BOXALL, 2010). O desenvolvimento de aplicações envolvendo cidades inteligentes ou *Smart city* é foco de publicações recentes (RANDALL; KOECH, 2019). Verifica-se nos últimos anos uma expansão na utilização desses dispositivos, embora sua difusão em massa ainda seja lenta devido à falta de políticas que incentivem o gerenciamento sustentável da água (MSAMADYA *et al.*, 2022).

A digitalização da medição estabeleceu novos parâmetros para a gestão da água em todas as suas escalas (MAYER; DEOREO, 1999; GOURMELON *et al.*, 2021). Considerando a micro gestão, muitos estudos aplicam ferramentas computacionais ao banco de dados para determinar os usos finais (ex.: máquina de lavar, chuveiro, torneira, vaso sanitário) da água residencial. Como, por exemplo, Boyle *et al.* (2013) estudaram o uso de *feedbacks* detalhados dos consumos como instrumento para influenciar comportamentos dos usuários e gerar redução

no consumo. No trabalho de Rizzoli *et al.*, (2018) após as análises, a redução do consumo é estimulada por tecnologias de gamificação. Os resultados iniciais apontam que os estudos que utilizaram informações consolidadas do consumo produziram em média uma redução no consumo de 5,5% (LIU; MUKHEIBIR, 2018). Willis *et al.* (2013) relacionam como os padrões socioeconômicos afetam os usos finais do consumo. Na mesma linha, Monks *et al.* (2021) concluem que a utilização da medição digital gera economia de água tanto para os consumidores finais como para os sistemas das concessionárias. Além disso, a coleta e o processamento de dados de uso de água quase em tempo real são ferramentas úteis para o planejamento das demandas e da gestão da água.

Outras abordagens analisam o impacto da implementação de dispositivos economizadores em instituições educacionais (FREITAS *et al.*, 2019) e o aprimoramento do sistema de comunicação entre as empresas concessionárias e os usuários (RIBEIRO *et al.*, 2015).

Em termos da gestão municipal são investigadas, por exemplo, o impacto do consumo residencial para a demanda real da água urbana (FIELDING *et al.*, 2013; LIU *et al.*, 2016); a influência da utilização de *feedbacks* detalhados do consumo aos usuários para adoção de práticas orientadas para a conservação da água (LIU; GIURCO; MUKHEIBIR, 2016; GOURMELON *et al.*, 2021) e avaliação dos impactos financeiros de vazamentos nos sistemas de distribuição de água (MARZOLA; ALVISI; FRANCHINI, 2021), dentre outros.

Savic' (2022) afirma que a aceleração digital na indústria da água é inevitável para enfrentar os desafios contemporâneos impostos, no entanto, deve-se atentar para que falhas já ocorridas em outras áreas (ex.: carros autônomos e indústria aeronáutica) não aconteçam novamente. Feliciano *et al.* (2021) alertam para o fato de que pesquisas nessa área estão ainda embrionárias e necessitam superar desafios como ameaças cibernéticas e ataques à privacidade para que atinjam seu potencial máximo.

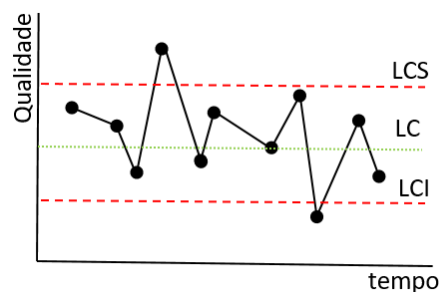
Dentro do contexto apresentado identifica-se que a gestão da água em edificações é uma linha de pesquisa importante e encontra-se em expansão, especialmente estudos que considerem as edificações residenciais. Contudo, as edificações comerciais ainda são pouco estudadas (INMAN; JEFFREY, 2006; FLORES; GHESI, 2021; UZ; BUCK, 2020). Assim sendo, pretende-se contribuir para área do conhecimento do micro gerenciamento da água através da determinação de indicadores e do monitoramento *on-line* do consumo em edificações comerciais. Essa tipologia apresenta cerca de 15% do uso total da água urbana, o que constitui percentual significativo para a conservação da água (TABASSUM *et al.*, 2016). Nos EUA

somente as grandes edificações comerciais consomem cerca de 2,3% do total abastecimento público (USGS, 2019).

2.5 Gráficos de controle Shewhart

O controle estatístico de processo (CEP) foi proposto na década de 1920, mas só se tornou popular na década de 1960 devido ao trabalho de Deming e Juran (MONTGOMOREY, 2012). Uma das principais ferramentas do CEP são as cartas de controle de Shewhart (CCS), que têm três objetivos fundamentais: reduzir a variabilidade, monitorar e estimar os parâmetros de qualidade do processo. A Figura 7 mostra as linhas de controle em um desses gráficos: a linha de controle (LC) representa o valor médio da amostra, a linha de controle inferior (LCI) e a linha de controle superior (LCS) representam, respectivamente, os limites mínimo e máximo. Os limites de controle indicam a variação permitida em um processo. Se os pontos plotados estiverem dentro desses limites, o processo está sob controle estatístico e, portanto, não é causado por eventos aleatórios. Caso contrário, o processo é considerado fora de controle e precisa ser revisado (MONTGOMOREY, 2012).

Figura 7 – Modelo típico dos gráficos de Shewhart



Fonte: Elaborado pela autora.

Os gráficos de Shewhart devem ser utilizados aos pares, sendo sempre um gráfico de controle para monitoramento da média do processo (\bar{X}) e outro para monitoramento da variabilidade do mesmo (\bar{R}). Uma possibilidade é o uso do gráfico \bar{X} para avaliar os valores das médias das amostras ao longo do tempo e o gráfico \bar{R} que representa a variabilidade do processo por meio da análise da sua amplitude. Os gráficos podem ser interpretados separadamente, mas é recomendável começar pelo \bar{R} porque se a variabilidade do processo não estiver sob controle, os limites de \bar{X} poderão não ser confiáveis. As equações usadas para o projeto dos gráficos são: (MONTGOMOREY, 2012):

Para o gráfico \bar{X} :

$$LCS = \bar{\bar{X}} + \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \quad (1) \quad \text{onde, } d_2 \text{ é uma constante que depende de } n$$

$$LC = \bar{\bar{X}} \quad (2) \quad \text{onde, } \bar{\bar{X}} = \text{é média das médias de cada amostra } (m), \text{ como estimativa da média do processo}$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - \frac{3}{d_2\sqrt{n}} \bar{R} \quad (3) \quad \text{onde, } d_2 \text{ é uma constante que depende de } n$$

Para o gráfico de R:

$$LCS = D_4 \times \bar{R} \quad (4) \quad \text{onde, } D_4 = 1 + 3 \frac{d_3}{d_2}$$

$$LC = \bar{R} \quad (5) \quad \text{onde, } \bar{R} = \text{médias das amplitudes de cada amostra } (m)$$

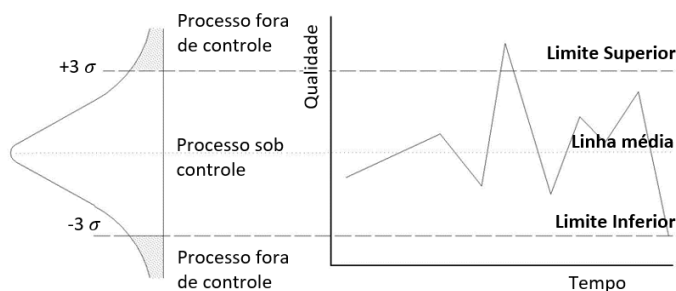
$$LCI = D_3 \times \bar{R} \quad (6) \quad \text{onde, } D_3 = 1 - 3 \frac{d_3}{d_2}$$

Tradicionalmente, o CEP tem sido utilizado para monitorar processos industriais, no entanto, sua gama de aplicações tem-se expandido ao longo do tempo (QIU, 2013; MACCARTHY, 2002).

Os GCS foram usados inicialmente para controlar a qualidade em processos industriais. Atualmente, vêm sendo empregados em pesquisas de diferentes áreas, a exemplo das publicações de Elevli, Uzgören e Bingöl (2016), Freitas *et al.*, 2019 e Singh (2011).

Slock *et al.* (2006) associam o teste de hipótese à distribuição de probabilidades da curva normal. Sua equação matemática relaciona a média dos dados amostrais (μ) e o desvio padrão (σ) e pode ser expressa em um gráfico em forma de seno. Conforme apresentado na Figura 8, os limites do GCS correspondem a área de aceitação da curva normal do teste de hipótese. Os pontos que estão entre LCS e LCI correspondem a não rejeição da hipótese, o que significa que o processo está sob controle, enquanto os pontos que estão fora desses marcos retratam a rejeição da hipótese, ou seja, valores que estão fora do controle estatístico. Coeficiente do desvio padrão menor corresponde a limites de controle menores, o que aumenta a ocorrência do erro tipo I e conseqüentemente diminui os erros tipo II.

Figura 8 - Gráfico de controle Shewhart x curva normal



Fonte: Adaptado de Slock *et al.*, 2006.

Estudos recentes mostraram que as cartas de controle são usadas em três níveis de gestão da água. No nível macro, os estudos geralmente monitoram os parâmetros de qualidade da água (DURMUSOGLU, 2018; ELEVLI *et al.*, 2016; IGLESIAS *et al.*, 2016; PAROISSIN *et al.*, 2016). No nível urbano, foram realizados estudos para identificar vazamentos em tubulações e avaliar os tempos de resposta do reparo (CONCEIÇÃO *et al.*, 2018; ROMANO, WOODWARD; KAPELAN, 2017). No nível do edifício, Freitas *et al.* (2019) estudaram o consumo de água em um prédio universitário usando dispositivos de economia de água. No entanto, estudos no nível micro das edificações ainda são escassos.

2.6 Data Mining

Em consonância com a entrada da indústria da construção na era digital houve aumento exponencial na geração de dados pelo setor. Bilal *et al.* (2016) identificam na indústria da construção três atributos definidores das *Big Data*. A saber: grande volume de dados (*terabytes*, *petabytes* ou mais), variedade nos tipos de arquivos analisados (ex.: DWG (desenhos 2d), RVT (modelo BIM), ifcXML (*Industry Foundation Classes XML*), ifcOWL (*Industry Foundation Classes OWL*), DOC/XLS/PPT (*Microsoft format*), RM/MPG (*video format*), JPEG (*image format*)) e velocidade (fluxo contínuo de dados como, por exemplo, sensores, RFID ou sistemas BMS - *Building Management System*).

Diante desse fato, a aplicação de instrumentos estatísticos convencionais é insuficiente para analisar o enorme volume de informações atuais. (MAYER-SCHÖNBERGER; CUKIER, 2013). A *Knowledge Discovery in Databases* (Descoberta de conhecimento em bancos de dados) ou *Data Mining* (Mineração de dados) são ferramentas que aplicam os conceitos do

campo de conhecimento *Data Science* (Ciência de dados) para identificar padrões válidos, utilizáveis e inéditos (SOIBELMAN; KIM, 2002).

Provost e Fawcett (2013) explicam que a aplicação de recursos tecnológicos não são o objetivo final do *Data Mining*, mas um suporte para extração de conhecimento a partir dos dados. Os autores explicam que o potencial máximo da mineração somente é alcançado quando há uma combinação entre aplicação de técnicas e obtenção de bases de dados adequados à resolução de um problema particular. Nesse processo, a tecnologia deve ser aliados à criatividade e ao conhecimento humano.

Uma habilidade crítica para a ciência de dados é a decomposição do problema em subtarefas de análises distintas que se adequam às ferramentas disponíveis. Cada um dos métodos possui uma técnica adequada para solucionar um tipo de pergunta. A subtarefa da classificação, por exemplo, prevê a qual classe pertence os indivíduos de uma população. A função é importante para o gerenciamento e a tomada de decisão, pois possibilita determinar faixas de referências (ex.: baixo, médio e alto) para balizar as análises (KÖKSAL; BATMAZ; TESTIK, 2011). O *clustering* apresenta princípios semelhantes para alcançar objetivos diferentes. No *clustering* também se identifica características comuns em grupos, mas sem definir previamente os propósitos.

Existem ainda outros métodos como a regressão (estimar ou prever um valor numérico para uma determinada variável), a correspondência por semelhança (identificar similaridades na base de dados) e a redução de dados (reduzir a base de dados para concentrar análises nas informações mais pertinentes ao estudo) (PROVOST; FAWCETT, 2013). Além das tarefas clássicas mencionadas, outros métodos mais tecnológicos estão em desenvolvimento. Dentre eles, pode-se citar o *Machine Learning* ou aprendizado de máquina, a *Artificial Intelligence* ou inteligência artificial, o reconhecimento de padrões e estatísticas, e a visualização para extrair automaticamente conceitos, inter-relações e padrões. (SOIBELMAN; KIM, 2002). Dentro dessa tendência Provost e Fawcett (2013) acrescentam a utilização de bancos de dados *Querying* e *Data Warehousing*. O primeiro se refere ao emprego da *query*, linguagem de programação própria para realizar solicitação em um subconjunto de informações ou dados estatísticos em um sistema de banco de dados, que tem como ferramentas usuais a *Structured Query Language* (SQL) ou linguagem de consulta estruturada e *Graphical User Interface* (GUI) ou interface gráfica do usuário.

Essas subtarefas são parte de um processo mais complexo que garantem a confiabilidade do processo *Data Mining*. Provost e Fawcett (2013) explicam que conclusões superficiais e inválidas podem ocorrer quando se analisa um grande volume de dados. As descrições dessas

etapas não apresentam diferenças significativas entre os autores na literatura existente. Com base nos trabalhos de Soibelman, Asce e Kim (2002), Chen *et al.*, (2015) e Provost e Fawcett (2013), apresentam-se as principais etapas:

- i. *Identificação do problema* – nessa etapa dedica-se a compreender o problema a ser resolvido. O conhecimento prévio requerido pode ser obtido através de consultas a experiências empresariais anteriores ou pesquisas na literatura existente.
- ii. *Pré-processamento* – para facilitar a mineração, realiza-se o pré-processamento da base de dados que pode ser composto das seguintes sub-etapas.
 - ✓ Limpeza da base de dados – essa tarefa pode incluir a redução de variáveis, remoção de *outliers*, determinação de amostras válidas (diminuir a variabilidade e aumentar a confiança).
 - ✓ Integração de bases de dados – essa tarefa dedica-se a compatibilizar fontes de dados diferentes de modo a possibilitar a interoperabilidade.
- iii. *Data mining* (Mineração) – aplicação de algoritmos próprios para descobrir os padrões e/ou realizar previsões dentro do conjunto de dados considerado.
- iv. *Avaliação* – validação dos resultados encontrados através de duas fases.
 - ✓ Verificação – avaliar se os resultados obtidos responderam adequadamente ao problema proposto.
 - ✓ Refinamento – verificar se os resultados obtidos pelo processo são generalizáveis.
- v. *Apresentação* – Visualização dos resultados e apresentação do conhecimento produzido para os usuários.

A técnica do *Data Mining* pode ser empregada para duas funções distintas. Na primeira, chamada descritivas, destina-se a determinar padrões e suas relações. Ao passo que, na segunda, função prescritiva, a base de dados é usada para determinar características de qualidade que são obtidas a partir da identificação de propriedades comuns em um conjunto de parâmetros selecionados (KÖKSAL; BATMAZ; TESTIK, 2011).

No Quadro 4 apresentam-se as principais tendências de aplicação das técnicas *Data Mining* na indústria da construção.

Quadro 4 – Campos de aplicação das técnicas *Data Mining* na indústria da construção

Campos de aplicação	Estado da arte	Número de artigos	Oportunidades potenciais
Energia	Previsão do consumo de energia do edifício	33	<p>Uso de técnicas de <i>machine learnig</i></p> <p>Expandir a aplicabilidade e o desempenho de modelos atuais de mineração</p> <p>Considerar a imprevisibilidade das políticas governamentais</p> <p>Evitar as preocupações de custos altos e a privacidade usando abordagens não intrusivas</p> <p>Previsão de desempenho de materiais diferentes</p> <p>Previsão ou monitoramento do comportamento do trabalhador</p> <p>Uso de métodos de aprendizado profundo para analisar fotografias ou vídeos do canteiro de obras</p> <p>Extraír conhecimento de diferentes tipos do documento de construção (especificação de projeto, engenharia mudança e reivindicação do projeto)</p> <p>Uso de estruturas de <i>Big Data</i> para descoberta de conhecimento com base em dados massivos</p> <p>Integrar técnicas de DM no sistema de tomada de decisão para auxiliar o desenvolvimento do projeto</p> <p>Extração de conhecimento de conjuntos de dados BIM</p>
	Identificação do padrão de consumo de energia do edifício		
Ocupação dos espaços e comportamento do usuário	Detecção de ocupação	14	
	Contagem de ocupantes		
	Comportamento dos usuários		
	Estimativa de custo de construção		
Desempenho de materiais	Previsão do desempenho das propriedades do material (abrangente resistência, resistência de união, variação de temperatura, mecânica, propriedades do concreto)	12	
Gerenciamento de segurança	Extraír causas ou fatores de acidentes	12	
	Determinação de padrões de acidentes de trabalho		
	Identificar perigo e risco		
Conhecimento textual	Classificar documentos	12	
	Extração de informações		
	Recuperação de informação		
Estabelecimento da estrutura	Estrutura de sistema em nuvem para dados BIM	9	
	Estrutura para extração de conhecimento		

	Sistema de tomada de decisão		
Elaboração de projeto	Prever o desempenho do ambiente construído de diferentes projetos no estágio inicial de tomada de decisão	6	Otimização de recursos e resíduos
Outros	Análise estrutural	15	Facility management
	Gerenciamento de equipamentos		Conservação da água
	Diagnosticar defeitos		
	Estimativa de cronograma		

Fonte: Adaptado de Yan *et al.* (2020).

2.7 Trabalhos correlatos

Uma contribuição inovadora são os métodos propostos para definir indicadores sustentáveis que subsidiam decisões de gestão. Esses indicadores foram utilizados para automatizar ferramentas para a gestão de instalações em edifícios comerciais com intuito de reduzir os impactos ambientais do uso da água, em linha com os argumentos de Hörisch *et al.* (2015).

A seguir apresentam-se estudos que empregam indicadores na construção de instrumentos sustentáveis, embora sob abordagens diferentes. Horisch *et al.* (2015) analisam a aplicação de diferentes ferramentas de gestão sustentável para ajudar grandes empresas a reduzir seus impactos ambientais. A questão da água, por exemplo, é tratada sob uma perspectiva econômica que relaciona o uso da água às vendas ou receitas da empresa. Os autores usam um banco de dados ASSET4® para analisar esses parâmetros no nível do conjunto de dados do planeta, diferentemente da abordagem em escala de construção proposta nesta pesquisa.

Zhongming *et al.* (2019) apresentam uma conotação teórica e importante e extensa pesquisa bibliográfica sobre indicadores sustentáveis para gerenciar sistemas complexos. No trabalho concluem que esses indicadores são considerados importantes ferramentas de apoio à tomada de decisão, pois permitem uma avaliação efetiva do tema a ser analisado e a identificação de suas virtudes e limitações.

Mantendo a amplitude da escala de análise, Nika *et al.* (2020) desenvolveram uma estrutura conceitual para avaliar indicadores de circularidade da água em vários setores (energia, agricultura, água urbana e industrial). Eles investigaram os ciclos de *feedback* entre os setores socioeconômicos e ambientais. A metodologia de Nika *et al.* (2020) seleciona e especifica os setores envolvidos, realiza a coleta de dados, calcula indicadores, analisa seus impactos e apresenta os resultados. Os autores citam a utilização do Excel para analisar os dados e calcular os indicadores. Embora o estudo investigue o uso da água de forma mais ampla e com objetivos distintos, os princípios básicos desta metodologia são semelhantes aos da presente pesquisa. A comparação dos dois estudos mostra um avanço nesta pesquisa, devido ao uso integrado das tecnologias BIM, IoT e FM para o desenvolvimento da metodologia e sua implementação em um protótipo computacional para *web* para automatizar o gerenciamento de edificações.

Com relação BIM-FM-IoT, pesquisas demonstram a viabilidade do desenvolvimento de sistemas para trocar informações entre o modelo BIM e dados digitais coletados em tempo real.

Hu *et al.* (2016) criaram um sistema híbrido (BIM + banco de dados RFID + *software* de gerenciamento de energia), que utilizam o banco de dados para gerar parâmetros de análise para melhorar o desempenho da edificação durante sua operação. Bonci *et al.* (2019) utilizaram modelos BIM como centralizadores de dados, o que possibilita a realização de simulações customizadas. O estudo determina indicadores de desempenho a partir de métricas de gestão industrial denominadas *Overall Throughput Effectiveness* (OTE), onde a plataforma monitora vários sistemas juntos. Na abordagem investigada por Tagliabue *et al.* (2021), foi desenvolvido um aplicativo móvel, que monitora os parâmetros de sustentabilidade em tempo real. A metodologia utiliza o modelo BIM parametrizado por parâmetros de sustentabilidade existentes (LEED) para monitoramento *on-line* da edificação. Além disso, a metodologia incentiva os usuários a melhorarem os comportamentos e atualizarem a pontuação da classificação de sustentabilidade.

Os trabalhos citados anteriormente tratam da gestão de instalações (FM) utilizando princípios tecnológicos e metodológicos semelhantes aos propostos, porém aplicados em diferentes tipos de fontes de consumo, predominantemente a gestão do consumo de energia elétrica.

Vale citar algumas pesquisas, que trataram da sustentabilidade no uso da água. Alguns estudos investigaram a gestão municipal da água (HÖRISCH *et al.*, 2015; ZHONGMING *et al.*, 2019) e outros abordaram o consumo residencial (COMINOLA *et al.*, 2015; BOYLE *et al.*, 2013; WILLIS *et al.*, 2013; LIU; MUKHEIBIR, 2018). Na literatura, no entanto, há poucas pesquisas sobre o tratamento da sustentabilidade na gestão de instalações em edifícios comerciais, sendo esta lacuna que se pretende preencher com esta investigação.

Por fim, apresentam-se autores que empregaram procedimentos estatísticos semelhantes. Por exemplo, Braga *et al.* (2013) propõem um sistema para monitorar o consumo de energia em edifícios em tempo real. Técnicas de controle estatístico de processo foram aplicadas para analisar períodos de consumo de energia, utilizando o Controle de Soma Cumulativo (gráfico CUSUM). O sistema identifica demandas e falhas não usuais e gera relatórios para gestão. No trabalho de Braga *et al.* (2013), as leituras de consumo de energia foram consideradas individualmente, enquanto a utilização do modelo BIM neste trabalho permitiu as análises considerando as informações geométricas e não geométricas da edificação integradas aos dados de consumo de água.

Esta pesquisa para automação da gestão da água predial, incluindo a definição de parâmetros e faixas de consumo de referência, representa um avanço em relação à gestão tradicional. Esses pressupostos fornecem novos instrumentos que detalham o consumo de água

da edificação de forma clara e acessível. Esses destaques corroboram a originalidade do trabalho na busca de melhorar o desempenho das edificações reduzindo o consumo de seus recursos naturais e o objetivo de alcançar sua sustentabilidade ao longo do tempo contribuindo para o desenvolvimento do campo do conhecimento BIM-FM.

3 METODOLOGIA

Existe uma diferença conceptual entre a metodologia científica tradicional e o *Design Science*. As ciências naturais (física, química e biologia) e sociais (sociologia, política, economia, antropologia e história) estão relacionadas às metodologias científicas tradicionais, pois se estruturam na observação desses fenômenos. Tem o intuito de explorar, descrever, explicar ou redizer a realidade e utiliza-se de métodos consagrados (indutivo, dedutivo ou hipotético-dedutivo) na busca de uma relação causal que pode ser generalizável dentro do limite de análise. O *Design Science* é um paradigma metodológico mais adequado na condução de pesquisas práticas (DRESCH, 2013), que têm como objetivo propor melhorias para situações concretas por meio da criação de artefatos que ainda não existem.

As metodologias tradicionais analisam e desenvolvem teorias sobre fatos e comportamentos atuais. Por outro lado, a ciência do design baseia-se na produção de conhecimento a partir de artefatos criados pelo homem (HEVNER, 2007). Dada a natureza tecnológica dos estudos BIM-FM, a metodologia da ciência do design é adequada para pesquisas desse tipo, como seu uso no protótipo construído por Patacas et al. (2020) para integrar processos de informação de FM.

Esta seção apresenta conceitualmente os princípios teóricos do *Design Science* e descreve os procedimentos metodológicos empregados no desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 *Design Science Research*

De acordo com Dresch (2013), *Design Science* (DS) ou Ciência do Projeto é a fundamentação teórica para a metodologia que privilegia o desenvolvimento de projetos e a proposição de soluções para problemas práticos. Os projetos DS propõem a melhoria em sistemas existentes utilizando objetos construídos pelo homem denominado artefatos. A implementação prática dos artefatos deve gerar conhecimentos úteis generalizáveis que possam contribuir com determinado campo do conhecimento. Para garantir esses resultados, a metodologia considera tanto as interações internas geradas durante o processo de construção do artefato, como como as alterações provocadas sua aplicação no ambiente externo. A avaliação deve considerar a capacidade do artefato em responder adequadamente ao problema estudado e as implicações tecnológicas, econômicas e administrativas da solução proposta. É interessante notar que nem sempre os resultados serão soluções ótimas, o importante é que sejam viáveis e adequados a necessidade reais dos interessados.

Com intuito de garantir a relevância das pesquisas DS, apesar de os estudos focarem na resolução de problemas para sistemas específicos, os temas devem ser suficientemente relevantes para contribuir com a evolução de um campo de conhecimento. Alguns autores como Wieringa (2009), Dresch (2013), Engelbrecht, Botha e Albert (2014) e Hevner (2007) defendem que o DS é a metodologia adequada para garantir o rigor científico das pesquisas que envolvem tecnologia.

O *Design Science Research* (DSR) é o instrumento prático para aplicar o conhecimento teórico DS. Geralmente, os instrumentos DSR representam ciclos que descrevem as etapas necessárias para garantir o rigor e gerar contribuições científicas (WIERINGA, 2009). Pode-se citar o ciclo descrito por Hevner (2007) composto por três etapas: relevância, rigor e projeto e o proposto por Wieringa (2009) com quatro: identificação do problema, projeto de solução, validação e implementação. Embora as perspectivas sejam semelhantes, Wieringa (2009) diferencia as questões do conhecimento das questões práticas.

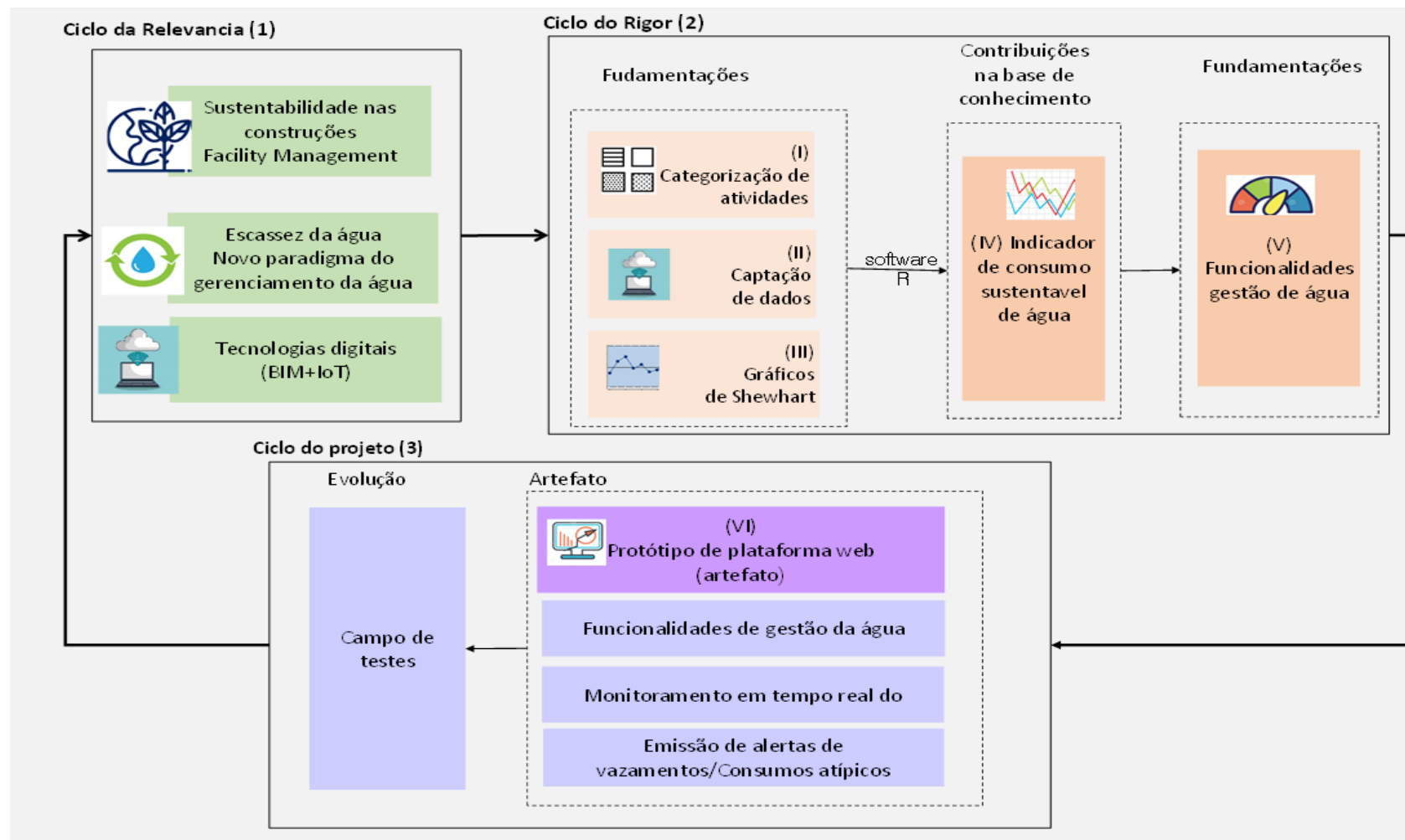
Na Figura 9, apresenta-se o *framework* da pesquisa adaptado da teoria de Hevner (2007). No ciclo de relevância (1) foram levantados os conceitos fundamentais, os problemas e as oportunidades das áreas de conhecimento investigadas apresentadas anteriormente na revisão bibliográfica. Em linhas gerais, verificou-se o agravamento da escassez de água no planeta e a consequente necessidade de melhorar o desempenho das edificações. Três pilares fundamentam a solução formulada: sustentabilidade na construção, mudança de paradigma na gestão da água e uso das tecnologias digitais. O estudo da literatura permitiu reconhecer a importância do tema, definir a hipótese da pesquisa e delimitar o contexto da pesquisa.

No ciclo de rigor (2) são apresentados os métodos científicos. Nessa etapa definiu-se conceitualmente a metodologia proposta para a gestão da água e os procedimentos necessários para sua implementação em um artefato. Definir os indicadores de consumo de água foi uma etapa importante do trabalho visto que essas referências foram utilizadas para determinar as funcionalidades durante a construção do artefato e balizar os resultados das análises na fase de implementação prática.

O ciclo de design (3) é dividido em duas partes. A primeira detalha a construção do artefato. A segunda apresenta os procedimentos de avaliação do projeto em que a análise dos resultados possibilita a generalização da metodologia e a definição de contribuições científicas para o campo de conhecimento.

No DSR, as validações internas de cada etapa retroalimentam o processo metodológico, ou seja, problemas identificados nas fases mais avançadas possibilitam a

reavaliação e evolução de etapas anteriores. Os resultados retroalimentam o ciclo, validam as contribuições científicas e fornecem subsídios para novas pesquisas.

Figura 9 - *Framework* da pesquisa

Fonte: Adaptado Hevner (2007)

3.2 Ciclo do rigor (2)

O ciclo do rigor apresentado na Figura 9 é constituído por cinco etapas. Na etapa I (categorização das atividades), são definidas as categorias de atividades de maior relevância no contexto da edificação. Na etapa II (captação de dados), as informações referentes à edificação e ao consumo são captadas e armazenadas em banco de dados. Na etapa III (gráficos Shewhart), é aplicado instrumento estatístico sobre a base de dados para estabelecer os indicadores de consumo sustentável conforme os parâmetros e as configurações estipuladas. Por exemplo, o *software* para computação estatística denominado R⁸ considera série histórica do consumo coletados *on-line* durante um ano. A etapa IV (indicadores de consumo sustentável) transforma os gráficos resultantes da etapa anterior em valores/faixas de referência que alimentarão o artefato. Por fim, na etapa V (ferramentas de gerenciamento), decompõe-se o gerenciamento da água em subtarefas para viabilizar a criação de ferramentas específicas. As ferramentas de gerenciamento possibilitam o aprimoramento da gestão da água na edificação através do monitoramento *on-line* do consumo e da realização de análises. A seguir cada etapa será detalhada.

3.2.1 Categorização de atividades (I)

Para medir o consumo sustentável da água na edificação, é necessário categorizar as atividades e compreender a contribuição de cada uma para o consumo global. As categorias de atividades podem ser definidas de acordo com dois critérios. O primeiro considera o grau de importância do uso da água para o desenvolvimento das atividades. Definiram-se duas categorias. Atividades que utilizam a água como insumo essencial para seu desenvolvimento e aquelas nas quais auxiliam sua realização. Por exemplo, atividades que aplicam a água como insumo para realizar tarefas secundárias, como limpeza.

O segundo critério adotado decorre dos princípios estatísticos de Shewhart. Segundo Montgomery (2012), para estimar os parâmetros de qualidade usando cartas de controle, as amostras precisam ter entre 20 a 25 elementos. O autor explica ainda que um estudo estatístico consistente exige amostras com no mínimo quatro unidades.

A categorização obtida nessa etapa estrutura o pré-processamento do modelo BIM e a organização dos bancos de dados.

⁸<https://www.r-project.org/>

3.2.2 Captação de dados (II)

A etapa de captação dedica-se à obtenção e compatibilização de fontes de dados diferentes. As informações construtivas, que englobam arquitetura, estrutura e sistema hidráulico, são extraídas do modelo BIM, enquanto os dados referentes ao consumo de água advêm dos *Smart Meters* (SM).

Os dados são capturados de duas fontes diferentes: o modelo BIM e os medidores inteligentes. A plataforma Revit foi escolhida para gerar o modelo e processar informações no ambiente BIM. A construção básica de um modelo 3D inclui dados geométricos do edifício (por exemplo, arquitetura, estrutura e mecânica). No entanto, o gerenciamento de água requer a adição de outros dados.

Nesta proposta, o modelo é aprimorado para incluir informações sobre o consumo e atividade de cada loja no edifício comercial. Os seguintes dados devem ser incluídos: Identificador do medidor (ID), atividade desenvolvida, categoria de atividade, nome do proprietário e nome da loja.

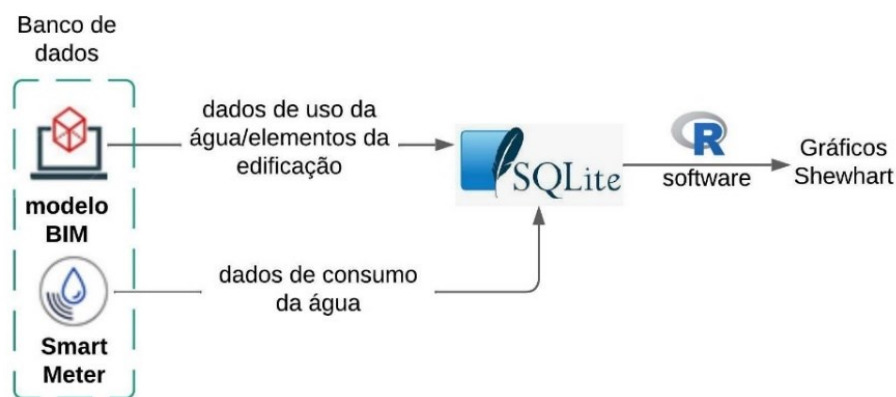
Com intuito de complementar o modelo BIM, outras informações incluindo a localização e identificação dos medidores e o cadastramento das atividades desenvolvidas por cada loja são acrescentadas durante sua elaboração. Palomar *et al.* (2020) afirmam que a plataforma BIM disponibiliza recursos essenciais para o desenvolvimento de aplicativos devido a sua boa estrutura de banco de dados e a capacidade de interoperabilidade. Além disso, possibilita a reutilização das informações durante a fase de operação (EASTMAN *et al.*, 2011; SUCCAR, 2009).

As informações de consumo, por sua vez, são originadas de um banco de dados de medidores inteligentes disponíveis na nuvem. O diagrama, Figura 10, detalha a alimentação do banco de dados SQLite pelo modelo BIM e SM. Após tratamento, as informações alimentam o *software* R, que é empregado para plotar os gráficos de Shewhart (base para cálculo dos indicadores de consumo).

Uma interface de programação ou *Application Programming Interface* (API), fornecida pelo fabricante do SM, possibilita o acesso, a captação e o armazenamento dos dados de consumo. Optou-se pelo banco de dados SQLite por ser de fácil implementação e uso, adequado para operações simples e por estar disponível em código aberto (SQLITE ORG, 2020). A API é composta por uma *Uniform Resource Locator* (URL) que permite captar dados de acordo com parâmetros de frequência predeterminados e retornar um arquivo de leitura

padrão denominado *Java Script Object Notation (JSON)*⁹. O arquivo JSON, captado em tempo real, fornece as leituras de consumo, o ID do medidor e a data e hora da leitura. Os dados de consumo são associados às informações do modelo BIM correspondente à respectiva loja cadastrada. Uma função específica para SQLite ordena os dados por data, categoria de atividade, nome e área da loja. Os resultados são exportados para o ambiente de *software* estatístico R que gera a plotagem dos gráficos de controle.

Figura 10 - Fluxograma da captação de dados para geração dos indicadores de consumo



Fonte: Elaborada pela autora.

Por fim, os dois bancos de dados são armazenados em um único banco de dados, o que ajuda a definir os critérios de análise e monitoramento online.

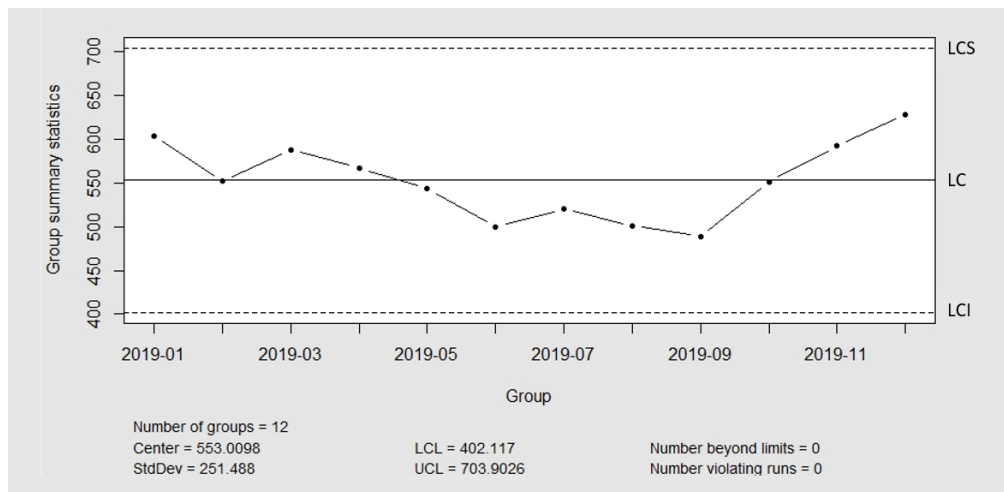
3.2.3 Gráficos Shewhart (III)

Os gráficos de controle fundamentam-se nas linhas de referências LC, LCS e LCI. No contexto dessa pesquisa (Figura 11), o eixo x representa o tempo medido em meses, enquanto o eixo y representa a variável da qualidade consumo de água em litros. Cada ponto corresponde a um subconjunto de dados ou amostras de lojas de determinadas categorias.

⁹ O JSON armazena e transmite dados em formato de textos apropriado para aplicações *web*.

[https://ceweb.br/guias/dados-abertos/capitulo-38/#:~:text=O%20formato%20JSON%20\(JSON\),XML%2C%20mas%20possui%20nota%C3%A7%C3%A3o%20diferente.](https://ceweb.br/guias/dados-abertos/capitulo-38/#:~:text=O%20formato%20JSON%20(JSON),XML%2C%20mas%20possui%20nota%C3%A7%C3%A3o%20diferente.)

O formato JSON (JavaScript Object Notation) é uma linguagem de transferência de dados baseada em texto, que utiliza uma notação simples e humana para representar estruturas de dados complexas. É amplamente utilizado em aplicações web e APIs para transmitir dados de forma eficiente e segura.

Figura 11 - Modelo de gráfico \bar{X} 

Fonte: Elabora pela autora.

A amplitude dos limites de controle varia de acordo com o valor do desvio padrão usado no cálculo. Utilizou-se o valor três sigmas (3σ) de amplitude, que é o valor padrão empregado para aplicações práticas e pesquisas científicas (WALPOLE, 2009).

Os dados de consumo aplicados para as análises consideram o período de um ano. Os gráficos são plotados usando o ambiente do *software* estatístico R que é um pacote integrado para manipulação de dados, cálculo e ferramentas de exibição gráfica. Inclui código aberto e bibliotecas de pacotes que oferecem diferentes funcionalidades e possui uma linguagem de programação simples que permite customização por meio de *scripts* (R FOUNDATION, 2020). R é uma ferramenta popular na comunidade científica (MUENCHEN, 2020) e é comumente usada em estudos acadêmicos (YAN *et al.*, 2020). Nesta pesquisa, o pacote *Quality Control Charts* (qcc) do ambiente (SCRUCCA, 2004) foi utilizado para realizar as funções de Controle Estatístico de Processo (CEP) e plotar os gráficos de Shewhart que determinaram indicadores de consumo sustentável.

A unidade de referência L/m^2 foi adotada para padronizar as análises e reduzir o número de variáveis envolvidas. Os indicadores de consumo sustentável calculados são proporcionais à área das lojas, permitindo comparar lojas de diferentes portes dentro de uma mesma categoria de atividade. O banco de dados é analisado por um *script* SQLite. Este *script* divide o consumo de água de cada loja (L) por sua área (m^2), identifica e remove *outliers* no gráfico de variabilidade e, em seguida, plota os gráficos \bar{X} com base nos valores calculados do LC, linhas de controle LCS e LCI.

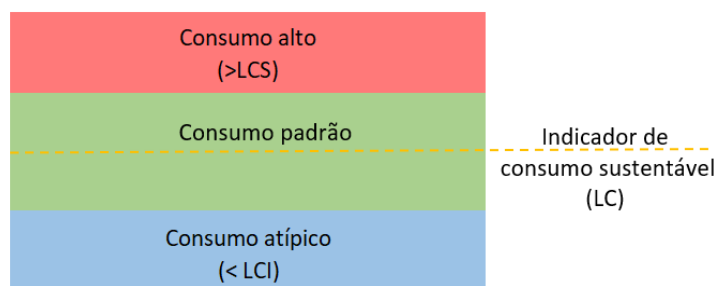
3.2.4 Indicadores de consumo sustentável de água (IV)

A partir dos gráficos de controle determinaram-se os indicadores de consumo. A linha de controle do LC, Figura 12, determina o valor de referência, que é utilizado como indicador de consumo sustentável para cada categoria. Os valores dos limites de controle definem as faixas de consumo: alto, padrão e atípico.

- Faixa de alto consumo - valores acima da linha LCS indicam consumo excessivo de água. É importante ressaltar que o consumo excessivo, nesse contexto, não representa necessariamente desperdício de água.
- Faixa de consumo padrão - valores entre estão abaixo da LCS e acima LCI indicam que o consumo de uma categoria se encontra relativamente próximo da média calculada, o que se determinou como faixa padrão.
- Faixa de consumo atípica - valores abaixo da LCS indicam consumos muito abaixo do esperado para uma determinada categoria. Consumos com essas características devem ser analisados, pois podem indicar situações atípicas, como, por exemplo, loja fechada.

A definição dessas faixas e a determinação de indicadores de consumo sustentável permitiram o desenvolvimento de funcionalidades gráficas para automatizar e facilitar a gestão da água. Especificamente, essas funcionalidades são projetadas para produzir, analisar e interpretar informações de consumo associadas a cada loja e categoria de atividade. As análises utilizaram o padrão de cores mostrado na Figura 12 para ajudar a interpretação dos dados. As cores vermelha, verde e azul representam as faixas de consumo alto, padrão e atípico, respectivamente.

Figura 12 - Padrões de cores das faixas de consumo de água



Fonte: Elaborada pela autora.

3.2.5 Funcionalidade de gestão da água (V)

A metodologia propõe oito funcionalidades para automatizar a gestão da água em edificações inspiradas nas diretrizes do processo *Plan-Do-Check-Act* da norma ISO 41001 de *Facility Management* (ISO, 2018). Esse processo consiste em estabelecer objetivos (*Plan*), implementar (*Do*), monitorar e medir (*Check*) e tomar ações (*Act*), que promovam a melhoria do desempenho.

Tais funcionalidades foram desenhadas para permitir o acompanhamento do consumo atual e do consumo em períodos anteriores. Adicionalmente, as análises de consumo resultantes das funcionalidades anteriormente referidas são realizadas a escala global do edifício ou individualizadas por loja ou por categorias de atividade, conforme sintetizado no Quadro 5. As funcionalidades monitoram a evolução anual do consumo global e por categoria de atividades da edificação. Os resultados são apresentados por meio de relatórios gráficos. Outras funcionalidades analisam os dados de consumo por categoria de atividade e alarmes de vazamento mensalmente por meio de planilhas.

Quadro 5 – Funcionalidades de gestão da água

Tipo de Função (Análise)	Tipo de consumo	Funcionalidades de Gestão	Apresentação
Individual (loja)	Corrente	Consumo Acumulado no mês	Gráfico
	Histórico	Evolução do consumo em um quadrimestre	Gráfico
Global da edificação (por categoria de atividade)	Corrente	Para o Acumulado no mês	Gráfico
	Histórico	Para o mês	Gráfico
Por categoria de atividade	Corrente	Para o dia corrente	Gráfico
	Corrente	Para o acumulado no mês	Gráfico
	Histórico	Para data definida	Gráfico
	Histórico	Para mês escolhido	Gráfico
Relatórios	Anual	Consumo geral	Gráfico
	Anual	Consumo por categorias	Gráfico
	Mensal	Análise de consumo	Planilha
	Mensal	Análise de alarmes	Planilha

Fonte: Elaborada pela autora.

3.3 Ciclo do projeto (3)

A etapa VI do ciclo de Hevner (2007) retrata a construção do artefato concebido para implementar a metodologia proposta. O artefato criado é um protótipo computacional para *web* que integra informações do modelo BIM e dos dados de medidores inteligentes. Após a sua elaboração, foi conduzido um teste conceito para sua avaliação prática que completa o ciclo. As validações internas assim como os resultados de cada etapa retroalimentam o processo metodológico e validam as contribuições científicas alcançadas e fornecem subsídios para novas pesquisas.

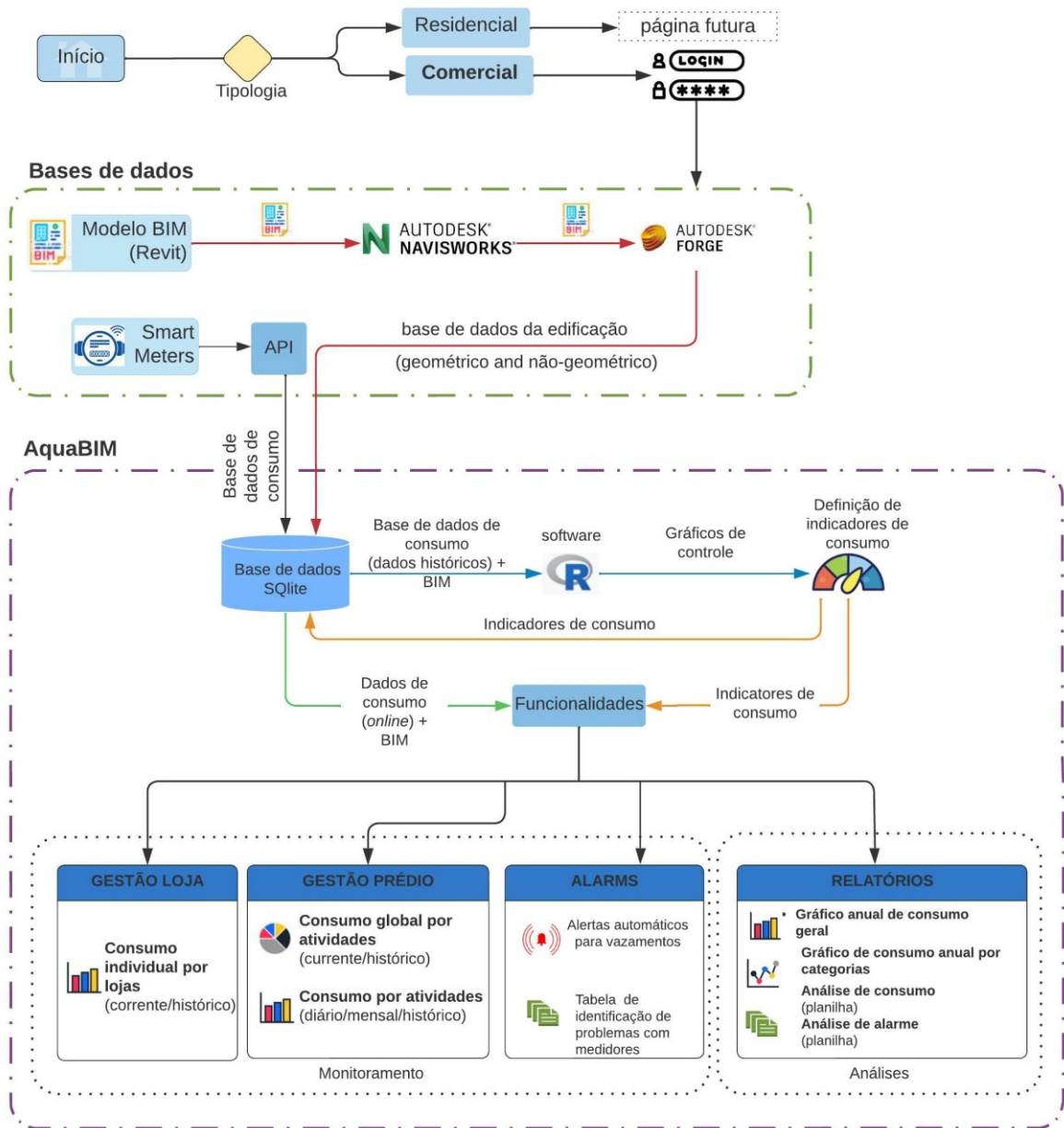
4 DESENVOLVIMENTO

O gerenciamento da edificação na fase de operação, usualmente, não é feito por profissionais técnicos ou especializados (arquitetos/engenheiros). Dentro desse contexto optou-se pelo desenvolvimento de um aplicativo para *web*, intuitivo e de fácil operabilidade, denominado AquaBIM. Permitir o acesso às informações de consumo em tempo real, possuir baixo custo de implementação e dispensar a necessidade do *software* proprietário estão entre as características que justificam a escolha.

4.1 Fluxo de informações

O AquaBIM integra e trata duas bases de dados, a do modelo BIM e a dos medidores inteligentes. A Figura 13 mostra os dois fluxos de dados empregados na alimentação e estruturação de protótipo. Primeiramente, foi necessário adequar o modelo BIM às especificidades da plataforma de visualização 3D na *web*. A plataforma escolhida para executar essa função foi o *Forge* da Autodesk, que integra aplicativos e serviços para execução na nuvem com objetivo de facilitar a interoperabilidade entre bancos de dados externos, o modelo BIM 3D e a navegação na *web* (AUTODESK, 2020; NAGY, 2017). Contudo, a troca de dados entre as plataformas de modelagem e de visualização possui falhas. O que demandou o desenvolvimento de procedimentos computacionais para minimizar o problema. O tratamento das informações consiste na ela plataforma tradução, *pNavisworks*, do arquivo *rvt* para um formato adequado à plataforma *Forge* para que, posteriormente, alimente o banco de dados SQLite. A integração de elementos de diferentes fontes de dados utiliza a extensão *Comma Separated Values (CSV)*, que é comumente usada para trocar informações entre planilhas e banco de dados.

Figura 13 - Fluxograma de navegação do AquaBIM



Fonte: Elaborado pela autora.

Os valores dos indicadores juntamente com os dados tratados no banco de dados determinam a operação das funcionalidades de gestão. De acordo com a análise a ser executada, acessa-se dados históricos ou atuais. As funcionalidades Gestão loja e Gestão prédio possibilitam os dois tipos de análises para o usuário. O consumo corrente das lojas ou categorias de atividades analisam os dados em tempo real ou informações históricas armazenadas no banco de dados. As funcionalidades do Relatório abordam a consolidação dos períodos anuais.

Por outro lado, a execução dos alarmes de vazamento objetiva informar da forma mais rápida possível a ocorrência de eventos adversos, por isso empregam exclusivamente os dados em tempo real.

4.2 Linguagens de programação

O AquaBIM foi desenvolvido utilizando linguagens e ferramentas de programação apropriadas para a *web*, listadas a seguir no Quadro 6.

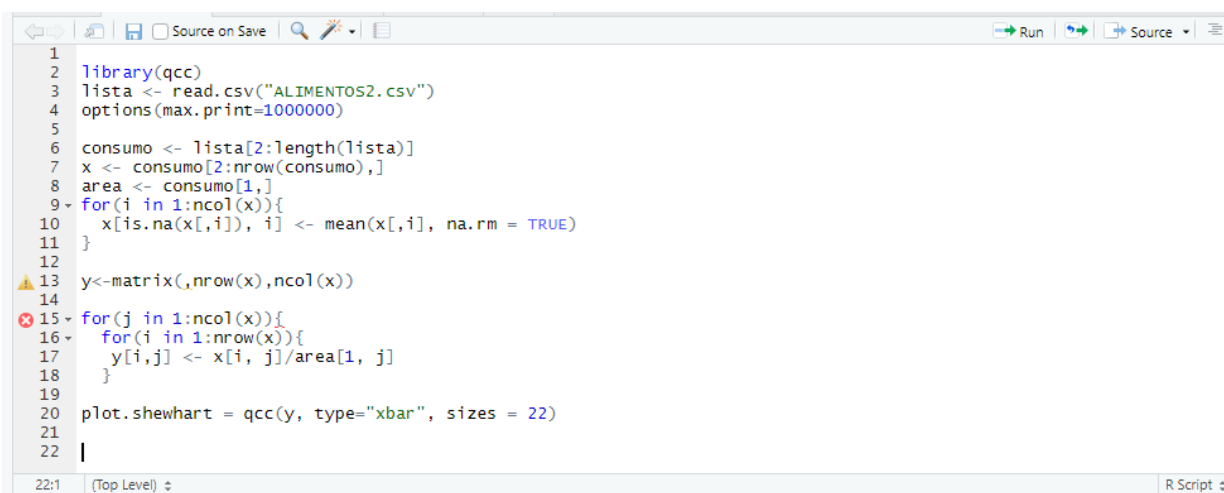
Quadro 6 – Linguagens de desenvolvimento do AquaBIM

Linguagens / ferramentas de programação	Aplicação no AquaBIM
 HTML (HiperText Markup Language)	Linguagem de programação Define as estruturas da página da <i>Web</i> interpretando o código para torná-lo legível pelo sistema.
 CSS (<i>Cascading Style Sheet</i>).	Ferramenta computacional Defina o design gráfico da página.
 Java Script	Linguagem complementar Executa funções altamente complexas.
 PHP (<i>Hypertext Preprocessor</i>).	Linguagem de programação Integra o servidor e o banco de dados na plataforma web. Aplicado no desenvolvimento do sistema de login e para salvar as informações de consumo em um banco de dados próprio da plataforma.
 MySQL	Ferramenta de Banco de dados Plataforma de gerenciamento de banco de dados relacional de código aberto. Ele usa SQL (Structure Query Language), que é uma linguagem de consulta estruturada, para acessar e gerenciar bancos de dados.
 SQLite	Ferramenta de banco de dados Base de dados principal AquaBIM. Armazena dados de consumo para o site e funções para cálculo de parâmetros de consumo.
 R	<i>Software</i> estatístico Disponibiliza funções estatísticas utilizadas na construção de indicadores de referência para a gestão do consumo de água.
 C#	Linguagem de programação É a linguagem padrão de desenvolvimento do AquaBIM. Usado no desenvolvimento de código para calcular taxas de consumo padrão, taxas de transferência de arquivos json geradas pelo script R, etc. Usado nos códigos de integração entre Revit, Navisworks e Forge.

Fonte: Elaborado pela autora

O AquaBIM gera automaticamente os indicadores de consumo a cada ano a partir da análise dos dados de consumo do ano anterior. Essa etapa é essencial para a execução de todas as funcionalidades de gestão. Os dados de consumo e da edificação armazenados no banco SQLite suportam o cálculo dos indicadores de consumo. Um *script* R apropriado (Figura 14) aos objetivos e às particularidades do trabalho realiza a tarefa. Primeiro, o *script* analisa os dados e remove os *outliers* até que todos os pontos dos gráficos de amplitude (\bar{R}) estejam dentro dos limites de controle e do processo considerado estatisticamente estável. Depois os gráficos das médias (\bar{X}), que determinam os indicadores, são plotados. Os gráficos foram plotados com a unidade m^3/m^2 para normalizar os dados de consumo em relação à área de cada loja e permitir análises comparativas, além de reduzir a quantidade de variáveis.

Figura 14 - Exemplo do *script* R usado para classificação dos dados



```

1
2 library(qcc)
3 lista <- read.csv("ALIMENTOS2.csv")
4 options(max.print=1000000)
5
6 consumo <- lista[2:length(lista)]
7 x <- consumo[2:nrow(consumo),]
8 area <- consumo[1,]
9 for(i in 1:ncol(x)){
10   x[is.na(x[,i]), i] <- mean(x[,i], na.rm = TRUE)
11 }
12
13 y<-matrix(,nrow(x),ncol(x))
14
15 for(j in 1:ncol(x)){
16   for(i in 1:nrow(x)){
17     y[i,j] <- x[i, j]/area[1, j]
18   }
19 }
20 plot.shewhart = qcc(y, type="xbar", sizes = 22)
21
22 |

```

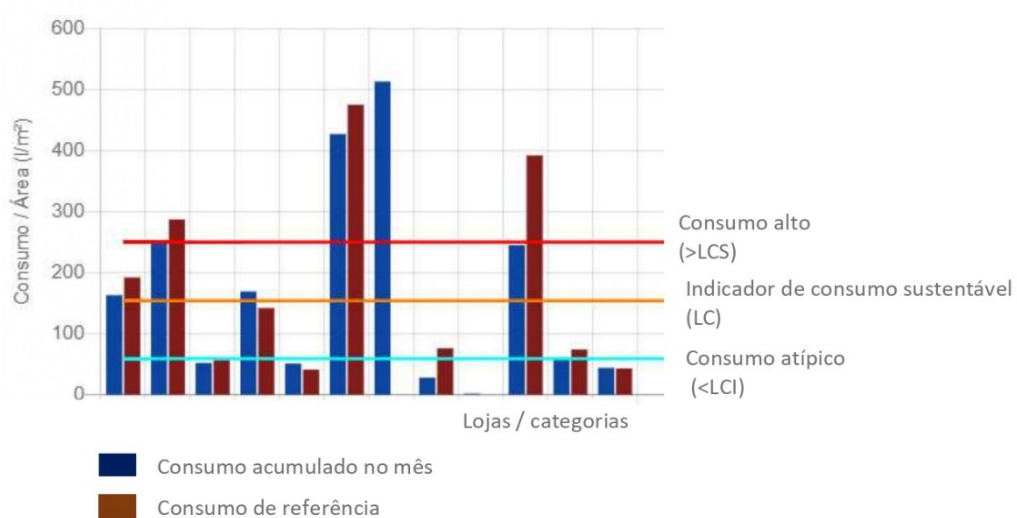
Fonte: Elaborada pela autora.

As funcionalidades do AquaBIM foram implementadas em *Java Script* utilizando a API da plataforma Forge e as bibliotecas jQuery e Chart.js para criação de gráficos. A função *viewer.search* do Forge foi aplicada para a coleta de dados, o que permitiu importar as informações do modelo BIM. Os dados de consumo são acessados pelo AquaBIM utilizando a API da gestora dos medidores inteligentes, que retorna também a lista de identificadores (ID) dos medidores. As propriedades das entidades geométricas do modelo BIM estendido são filtradas pelos identificadores das lojas. Compara-se, então, o ID do hidrômetro cadastrado no modelo BIM com o ID do medidor fornecido pela empresa. Se coincidentes, os dados são captados e modelados para a realização das análises. Todas as funcionalidades utilizam esse mesmo relacionamento. As lojas são selecionadas por meio de uma lista dinâmica ou indicação direta no modelo BIM.

4.3 Funcionalidades

As funções de análise e gerenciamento do consumo são organizadas em três grupos: *Gestão loja*, *Gestão prédio* e *Relatórios*. Para uniformizar as ferramentas de gestão, foi criada uma legenda com padrão de cores azul, verde e vermelho que correspondem, respectivamente, às faixas de consumo atípico, padrão e alto. O indicador de consumo de referência para cada categoria de atividade é representado por uma linha de cor laranja. Quando a análise se referir a Gestão lojas, os tipos de consumo são diferenciados pelas cores azul escuro (analisado) e marrom (de referência), conforme mostrado na Figura 15. Não existe um padrão de cores predeterminado para representar as categorias na gestão prédio, contudo utilizou-se cores marcantes para marcar de forma clara as atividades.

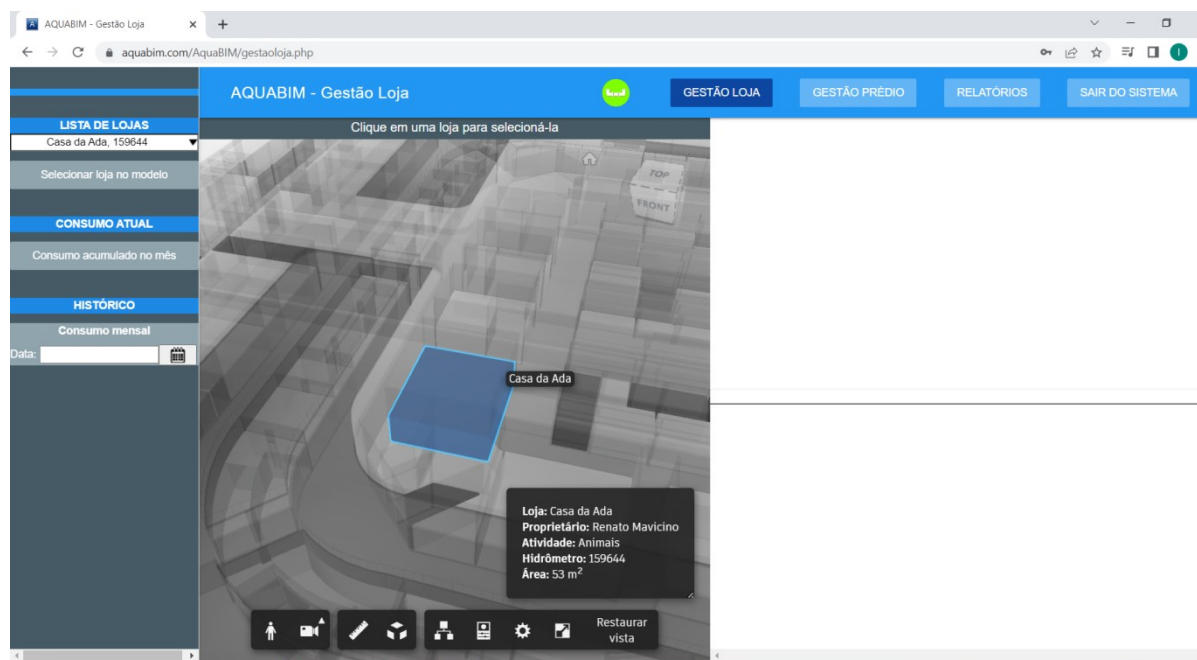
Figura 15 - Padrão gráfico para desenvolvimento das funcionalidades AquaBIM



Fonte: Elaborado pela autora.

Os resultados das análises podem ser visualizados tanto no modelo BIM como em tabelas, gráficos e textos. Contudo, essas informações não são estáticas, há uma interação entre elas. Na Figura 16, destaca-se a utilização do BIM como instrumento de espacialização das informações. O modelo 3D da edificação facilita a visualização da loja por meio do uso de cores, permite sua seleção com maior praticidade e fornece informações adicionais do respectivo estabelecimento.

Figura 16 - Uso do modelo BIM para seleção das funcionalidades e visualização de dados



Fonte: Elaborado pela autora.

Outro ponto em comum entre as funcionalidades das Gestão loja e prédio é a opção de análise do consumo atual ou histórico. No consumo atual, os dados considerados são do dia ou mês corrente, enquanto no consumo histórico pesquisa-se uma data determinada no passado dentro do banco de dados.

Em todas as funcionalidades, além dos aspectos gráficos, as informações também são disponibilizadas por meio de relatórios textual ou tabelas.

4.3.1 Gestão loja

A Gestão loja modela e analisa as informações de consumo individual da loja através dos parâmetros consumo acumulado no mês corrente ou do seu consumo histórico mensal.

Consumo acumulado no mês corrente

É possível analisar as informações do consumo acumulado da loja no mês corrente até a data da consulta e ainda estabelecer um comparativo com os seguintes referenciais:

- i. consumo do mesmo período do mesmo mês do ano anterior, mês de referência;
- ii. consumo integral do mês de referência;
- iii. linha de referência para o consumo padrão da categoria de atividade.

Os dados são apresentados por meio de um gráfico de barras que diferencia os três

tipos de consumo. Como a função utiliza duas referências (i e ii), além das cores padrões mencionados, acrescenta a cor ocre na representação (Figura 15).

Estabelecer o contexto do consumo interno de cada loja para referenciar os valores de consumo é a função desse parâmetro.

Consumo histórico mensal

Mesmas funcionalidades anteriores para um mês histórico determinado. Dessa forma, é possível resgatar os valores para elaborar estudos e planos de ação.

4.3.2 Gestão prédio

Nas funcionalidades da *Gestão prédio*, as informações do consumo de água, consolidadas por categoria de atividades, são comparadas com o consumo global do prédio. Nesse grupo, as funcionalidades estão divididas da seguinte maneira.

Consumo Global por Atividade

Essa funcionalidade analisa o consumo por categoria do mês corrente ou de um mês anterior (histórico mensal) e relaciona com o consumo global da edificação.

Consumo acumulado no mês (%): determina e analisa o percentual de consumo por atividade no mês corrente em relação ao consumo global da edificação. Além disso, identifica as atividades responsáveis pelos maiores consumos e apresenta os resultados em texto, tabela e gráfico de pizza. A localização das lojas aparece no modelo BIM de acordo com a cor definida para cada categoria.

Histórico global mensal: permite a escolha de um mês específico para realizar análise semelhante à anterior.

Consumo por Atividade

Nessa funcionalidade o consumo do dia ou do corrente mês é analisado por atividade.

Consumo no dia: determina o consumo do dia corrente das lojas de uma categoria selecionada e compara com os consumos no mesmo dia da quarta semana anterior.

Consumo acumulado no mês: permite determinar o consumo acumulado até o dia selecionado do mês corrente das lojas de uma categoria e comparar com o mesmo período do ano anterior.

Esses consumos são também comparados com o consumo padrão de referência da categoria e com os limites de controle que definem as faixas de consumo.

Os resultados são apresentados através de gráfico de barras, de tabela e da localização das lojas no modelo BIM. A tabela detalha as informações de cada loja.

Histórico por Atividades

Essa função analisa os dados históricos de consumo armazenados no banco de dados. Similarmente aos dois itens anteriores o usuário pode selecionar dois parâmetros.

Consumo Diário: essa funcionalidade determina o consumo de cada loja em um dia selecionado e compara com o consumo de referência no mesmo dia da quarta semana anterior.

Consumo Mensal: essa funcionalidade analisa o consumo das lojas de uma categoria de atividade em um mês escolhido e compara com o consumo de referência do mesmo mês do ano anterior. Além disso, estes dois consumos são comparados com consumo médio padrão da categoria e com seus limites de controle. Os consumos anteriores do padrão são destacados em vermelho na tabela de informações.

4.3.3 Relatórios

Nesse grupo os dados anuais estão consolidados em tabelas e gráficos. As quatro funcionalidades descritas a seguir agrupam as informações.

Consumo anual geral

Mostra em um gráfico de barras a evolução do consumo total da edificação, mês a mês, durante o ano escolhido. O instrumento permite acompanhar as maiores demandas e comparar valores ao longo do tempo.

Consumo anual por categoria

A funcionalidade mostra o gráfico da evolução do consumo anual por categoria, durante o ano escolhido em gráficos de linhas. As categorias com as respectivas cores são apresentadas por meio de uma lista na qual o usuário tem opções de selecionar uma ou mais categorias, ou de todas simultaneamente. Quando uma única categoria é isolada, o indicador de consumo de referência é apresentado complementando as informações.

Apresentou-se esse parâmetro pelo gráfico de linhas para enfatizar as mudanças ocorridas no ano e estabelecer relações e níveis de consumo entre as categorias. Ao contrário do item anterior, o consumo anual por categoria apresenta uma visão mais ampla, pois aprofunda um nível na determinação dos usos da água na edificação.

Análise do Consumo (mensal por categoria)

A funcionalidade executa análises da evolução do consumo das categorias de atividades considerando seus indicadores de consumo sustentável e as faixas de consumo, cujos resultados são apresentados em tabelas, como, por exemplo, o da Figura 17. As lojas são agrupadas nas faixas de consumo *atípico*, *padrão* e *alto* segundo os limites de corte determinados pelo gráfico de controle. O instrumento detalha a quantidade de água consumida pelo estabelecimento em litros por área (L/m^2) e em litros (L) e o impacto no consumo global da edificação (IGL). O parâmetro IGL compara o consumo da categoria em relação ao consumo total da edificação em porcentagem (%).

Figura 17- Modelo da tabela da funcionalidade análise do consumo mensal por categorias de acordo com as faixas de referência

Resumo de consumo mensal por categoria															
	Atípico					Padrão					Alto				
	Lojas	Limite de corte (L/m^2)	Consumo (L/m^2)	Consumo (L)	Impacto Consumo global (%)	Lojas	Indicador de consumo sustentável (L/m^2)	Consumo (L/m^2)	Consumo (L)	Impacto Consumo global (%)	Lojas	Limite de corte (L/m^2)	Consumo (L/m^2)	Consumo (L)	Impacto Consumo global (%)
categoria 1	valor	\leq LCI	valor	valor	valor	valor	indicador (LC)	valor	valor	valor	\geq LCS	valor	valor	valor	valor
categoria 2	valor	\leq LCI	valor	valor	valor	valor	indicador (LC)	valor	valor	valor	\geq LCS	valor	valor	valor	valor
categoria 3	valor	\leq LCI	valor	valor	valor	valor	indicador (LC)	valor	valor	valor	\geq LCS	valor	valor	valor	valor
categoria 4	valor	\leq LCI	valor	valor	valor	valor	indicador (LC)	valor	valor	valor	\geq LCS	valor	valor	valor	valor
categoria 5	valor	\leq LCI	valor	valor	valor	valor	indicador (LC)	valor	valor	valor	\geq LCS	valor	valor	valor	valor
categoria 6	valor	\leq LCI	valor	valor	valor	valor	indicador (LC)	valor	valor	valor	\geq LCS	valor	valor	valor	valor

Fonte: Elaborado pela autora.

Na faixa de consumo padrão o limite de corte é substituído pelo indicador de consumo referência. O valor médio é importante para balizar o consumo entre lojas de tamanhos e processos distintos. Dessa forma, identifica pontos fora da curva e calcula potenciais excessos.

As informações fornecem um panorama do consumo entre as atividades comparando o número de lojas em cada faixa e sua representatividade.

Uma segunda planilha da funcionalidade (Tabela II) estima o excesso de consumo, considerando somente as lojas que estão acima do limite na faixa de consumo alto. O cálculo do excesso é a subtração dos valores superiores a linha de controle superior e o consumo padrão de referência:

Potencial consumo excessivo = Consumo em excesso (área x Limite de Corte Superior - LCS)

– consumo padrão (área x Indicador de Consumo).

Os dados da planilha organizados por categoria de atividade mostram o número de lojas de consumo excessivo, o valor da LCS (L/m^2), da área (m^2) e da LCS (L) e o valor de consumo excedente (L). O impacto financeiro da estimativa de consumo excedente é demonstrado através do seu custo em moeda local (R\$).

Outras três tabelas disponibilizam as seguintes informações para análise do consumo mensal:

- i. Resumo geral do consumo de acordo com a classificação;
- ii. A estimativa do excesso, seu custo e percentual em relação ao consumo da edificação e;
- iii. A situação dos hidrômetros (ativos e inativos).

A caracterização dos usos nesse parâmetro é mais aprofundada, sendo possível identificar dentro de uma categoria quais lojas apresentam um consumo mais elevado, assim como avaliar sua relevância dentro do contexto geral.

Análise de alarmes

Por fim, o Relatório de alarmes modela e analisa as informações sobre eventos de alarmes acionados pelos medidores inteligentes. O critério adotado pela empresa administradora dos SM para o acionamento do alarme é o consumo ininterrupto por um período de 24 horas.

De acordo com Britton *et al.* (2008), a definição de parâmetros para analisar vazamentos na escala do usuário ainda está em estágios iniciais de desenvolvimento. Não foi identificada na literatura uma referência que abordasse os objetivos estabelecidos nesta pesquisa.

Para realizar as análises, calculou-se a média de consumo diária de cada loja, com base em dados históricos de um período de um ano. Os valores obtidos foram utilizados como critério para quantificar o volume da água desperdiçada com os vazamentos. Foi aplicado um incremento de 20% no valor da média com o propósito de estabelecer uma margem de segurança. Visto que não foi identificado na literatura um valor consolidado para estabelecer essa margem, adotou-se um valor dentro da faixa de referência usada pela concessionária de água da cidade de São Paulo como para indicar a ocorrência de vazamentos. Segundo a SABESP, (2023) a variação acima de 20 a 30% no consumo, mantendo o mesmo padrão, indica provável ocorrência de vazamentos.

Os alarmes emitidos baseados nos dados *on-line* que foram organizados pelo

AquaBIM para gerar relatórios mensais. Os relatórios, indexados por data de ocorrência, contêm o nome da loja onde ocorreu o evento, o número de ocorrências e o excesso de consumo registrado.

Os resultados foram apresentados em três planilhas com informações relevantes para a gestão sustentável e o controle do excesso de consumo e vazamento. A primeira planilha consolida os dados de excesso de consumo das lojas em um determinado mês/ano, mostrando o nome da loja, o número de dias de alarmes acionados, o valor médio do consumo diário em litros, o valor do consumo excedente em litros e o custo desse excesso.

A segunda planilha apresentou os detalhes das informações indicando os nomes das lojas com alarmes no mês, os números de identificação (ID) do seu contador inteligente, as datas de ocorrência dos alarmes e o consumo em litros nessa data. A terceira planilha listava o número de alarmes acionados por ano.

5 TESTE CONCEITO

O teste conceito é uma técnica empregada no desenvolvimento de *softwares* que consiste na aplicação de um projeto em condições reais de uso para avaliar a viabilidade da solução proposta (MALSAM, 2019; ELGHAISH *et al.*, 2020). Especificamente no contexto deste trabalho, a aplicação desse teste possibilitou aplicar a metodologia proposta em condições reais de uso a fim de obter as validações que são requisitos da metodologia *Design Science*. Duas avaliações foram realizadas: a técnica que constituiu na avaliação da execução das funcionalidades em condições reais e a validação externa que analisou se as soluções foram capazes de responder adequadamente ao problema investigado.

Flores e Ghisi (2022) argumentam que a determinação de indicadores de consumo sustentável para grandes edifícios é importante para estabelecer *benchmarks* de comparação entre edifícios da mesma tipologia.

5.1 Aplicação da metodologia

O edifício selecionado para avaliar a metodologia e testar o AquaBIM foi o Mercado Central, construído em 1929, localizado na cidade de Belo Horizonte em Minas Gerais, Brasil (Figura 18). Além do seu porte com área construída de 14.000 m² esse tradicional mercado municipal tem como característica a complexidade. A edificação possui aproximadamente 400 lojas distribuídas em dois pavimentos, especializadas no comércio de produtos regionais, além de oferecer serviços variados como bares e floricultura.

Figura 18 - Interior do Mercado Central

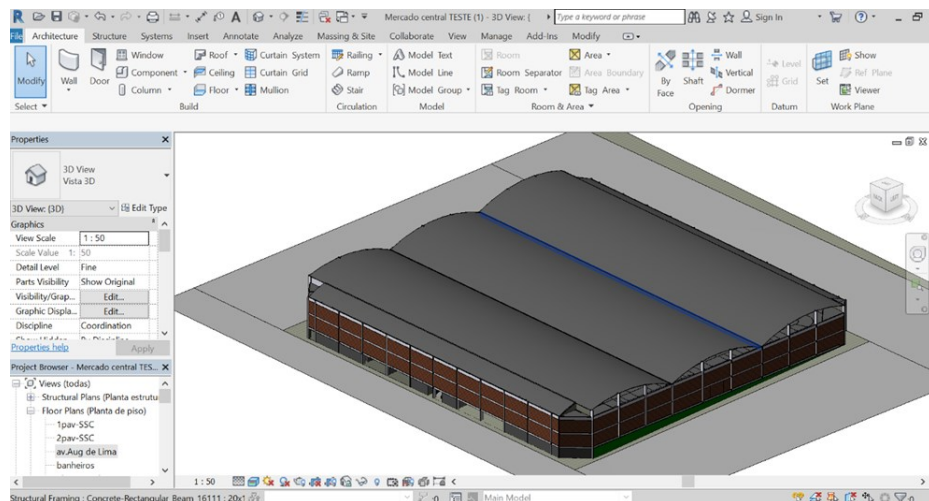


Fonte: Arquivo da Autora.

Inicialmente a medição do consumo de água oficial da edificação era feita pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) através de medidor único analógico. Contudo, em 2011, foi instalada uma rede de medidores inteligentes para individualizar o consumo das lojas. Uma parceria realizada entre a empresa responsável pelos medidores inteligentes, a diretoria do Mercado Central e a UFMG possibilitaram o acesso ao banco de dados a realização da pesquisa.

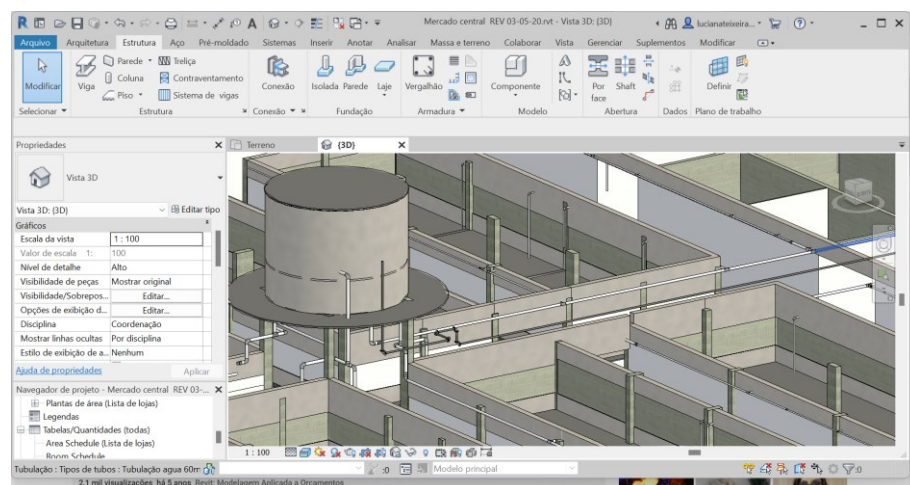
O Mercado Central é um prédio histórico, o que exigiu a elaboração do modelo BIM a partir dos projetos originais em CAD e visitas técnicas. A plataforma Revit foi escolhida para geração do modelo e tratamento de informações no ambiente BIM. Modelou-se os elementos arquitetônicos e estruturais (Figura 19) e o projeto hidráulico (Figura 20).

Figura 19 - Modelo BIM do Mercado Central – Elementos arquitetônicos e estruturais



Fonte: Elaborado pela Autora.

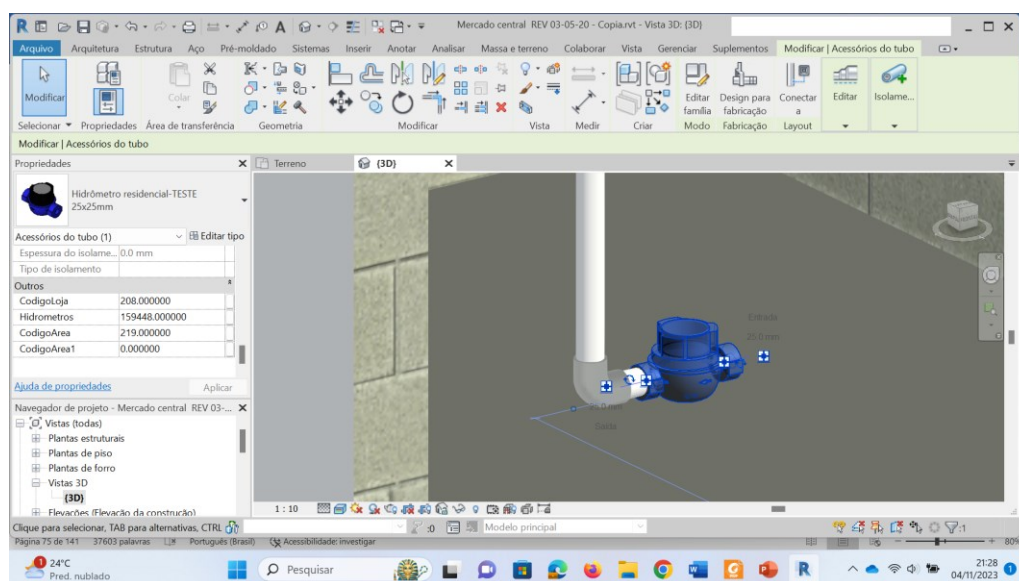
Figura 20 – Modelo BIM do Mercado Central – Sistema hidráulico



Fonte: Elaborado pela Autora.

Além dos elementos construtivos (geométricos), dados relativos à operação da edificação (não geométricos) foram cadastrados no modelo BIM para viabilizar a realização das análises. Através da funcionalidade de parâmetros compartilhados do Revit foram incluídos o nome fantasia da loja, o ID do medidor, a categoria de atividade e o nome do proprietário (Figura 21).

Figura 21 – Modelo BIM Mercado Central – detalhe do medidor inteligente



Fonte: Elaborado pela Autora.

O modelo BIM facilitou a localização espacial, a atualização das modificações arquitetônicas e a inclusão dos dados relacionados ao uso da água. O dinamismo, característico da etapa da operação, não era contemplado pela plataforma dos medidores inteligentes que vincula apenas o identificador do medidor ao nome do proprietário da loja. Além disso, dificulta as análises porque muitos estabelecimentos possuem mesmo proprietário ou são lojas alugadas.

A determinação dos indicadores foi realizada automaticamente pelo AquaBIM por meio da aplicação dos gráficos de Shewhart no *software* R considerando uma série histórica de dados coletados durante um ano. As informações e os dados utilizados para determinar os indicadores de consumo vieram da integração do banco de dados do modelo BIM e dos dados de consumo capturados *on-line* por meio de 361 medidores inteligentes.

Considerando-se os critérios de Shewhart e as especificidades de uso da edificação, determinaram-se dezessete categorias de atividades detalhadas no Quadro 7.

Quadro 7 – Categorias de atividades do Mercado Central

Categorias	Descrição
Artesanato	Comércio de produtos de artesanato regional
Utilidades domésticas	Comércio de produtos para casa (ex.: utensílios de cozinha)
Suplementos	Comércio de produtos de suplementação nutricional
Alimentos	Comércio de produtos alimentícios variados (ex.: chocolate, biscoito, farinhas...)
Industrializados	Comércio de produtos manufaturados variados (ex.: produtos de limpeza, embalagens, velas...)
Ervas	Comércio de ervas medicinais
Hortifruti	Comércio de hortaliças, frutas e legumes <i>in natura</i>
Temperos	Comércio de temperos variados
Mercearias	Mercados de pequeno porte que comercializa produtos variados
Laticínios	Produtos derivados do leite, especialmente queijos artesanais regionais
Restaurantes	Restaurantes e lanchonetes de pequeno porte
Flora	Comércio de flores e arranjos florais
Frigoríficos	Comércio de produtos de origem animal de portes diferentes como açougues e frigoríficos
Salão/ barbearias	Serviços de salão de cabeleireiros e barbearias
Bebidas	Comércio de bebidas engarrafadas industrializadas (ex.: cachaças)
Bares	Serviço de vendas de bebidas alcóolicas e não alcóolicas fracionadas, petiscos e iguarias
Animais	Comercialização de animais de estimação (ex.: passáros, peixes e cachorros)

Fonte: Elaborado pela autora.

Uma reunião preliminar foi realizada entre a equipe técnica e os responsáveis pela gestão do prédio com intuito de apresentar o AquaBIM. No treinamento detalharam-se os objetivos das funcionalidades e o passo a passo para sua operação.

O teste iniciou-se em janeiro de 2019 e está em uso até os dias atuais. Para garantir a segurança do acesso e da privacidade de dados, foi definida uma senha para cada usuário acessar o sistema disponibilizado através do endereço www.aquabim.com.

A gestão da água é um dos componentes do gerenciamento das instalações em edificações. De acordo com a norma ISO 41001 sobre Gestão de Instalações (*Facility Management*), é preciso planejar, implementar, monitorar parâmetros e propor ações para atingir melhores desempenhos e processos que estão incorporados nas funcionalidades do AquaBIM. Essas funcionalidades permitiram a coleta sistemática de dados de consumo associada às informações da edificação no modelo BIM para promover a gestão de consumo

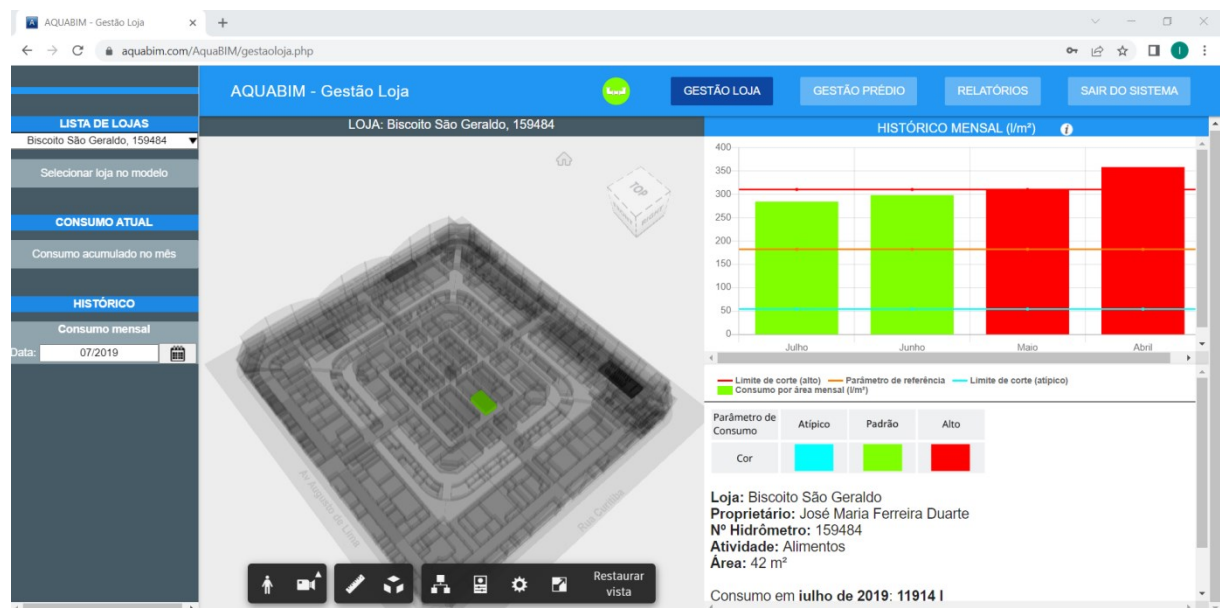
sustentável da edificação. O estudo analisou cerca de 2,8 milhões de leituras de consumo no período de um ano. A atualização constante desse banco de dados é importante, pois constitui uma base de informações para determinar indicadores de consumo e gerar análises customizadas baseadas na operação da edificação.

5.2 Validação técnica

Essa seção apresenta os resultados gráficos e operacionais correspondentes a cada funcionalidade dos três grupos (Gestão loja, Gestão prédio e Relatórios) de análises.

Na Gestão loja observa-se características dos consumos atuais e históricos individuais dos estabelecimentos. A Figura 22 representa a funcionalidade Gestão loja relacionada aos consumos históricos mensais, em que as cores de referência das faixas de consumo simbolizam a situação do uso da água naquele período. O recurso permite, não apenas analisar tendências gerais, mas verificar o nível de consumo dentro de uma determinada faixa de referência e estabelecer panorama que subsidia o planejamento.

Figura 22 - Funcionalidade histórico da Gestão Loja



Fonte: Elaborado pela Autora.

O consumo atual se refere a um período no mês selecionado pelo usuário. Ou seja, não considera apenas os dados do dia, mas a soma das leituras até a data determinada. O objetivo é obter um diagnóstico mais consistente desse tipo de consumo, visto que há grande variação no consumo diário. A tela dessa funcionalidade da Gestão é apresentada na Figura 23. Nota-se que os consumos estão representados por cores diferentes do padrão das faixas de referências porque o período analisado é inferior a um mês.

Diferentemente da funcionalidade anterior não é possível verificar tendências, são análises dinâmicas focadas no consumo momentâneo de uma unidade dentro da edificação que possibilita, portanto, adotar medidas direcionadas para resolver problemas pontuais. O gráfico exibe duas referências: o valor do consumo para a mesma quantidade de dias analisados (na cor laranja) e o valor integral para o mês (na cor marrom), ambas do ano anterior. Desde modo, o gestor poderá avaliar se a quantidade de água consumida no período selecionado está compatível com o critério de normalidade determinado para aquela loja.

Figura 23 - Funcionalidade consumo atual da Gestão Loja



Fonte: Elaborado pela Autora.

Uma perspectiva mais ampla é tratada pelas funcionalidades da Gestão prédio. No primeiro grupo, *Consumo global por atividades*, o objetivo é caracterizar o consumo de cada categoria de atividade separadamente e relacioná-la com o gasto da edificação como um todo. Tanto no gráfico de porcentagens como na representação das cores das categorias no modelo 3D, apresentada na Figura 24, é disponibilizada uma visão global da distribuição do consumo entre as lojas. Informações complementares são detalhadas na tabela correspondente. Essa funcionalidade do AquaBIM proporciona entender rapidamente como estão distribuídos os usos da água e assim estabelecer uma primeira avaliação.

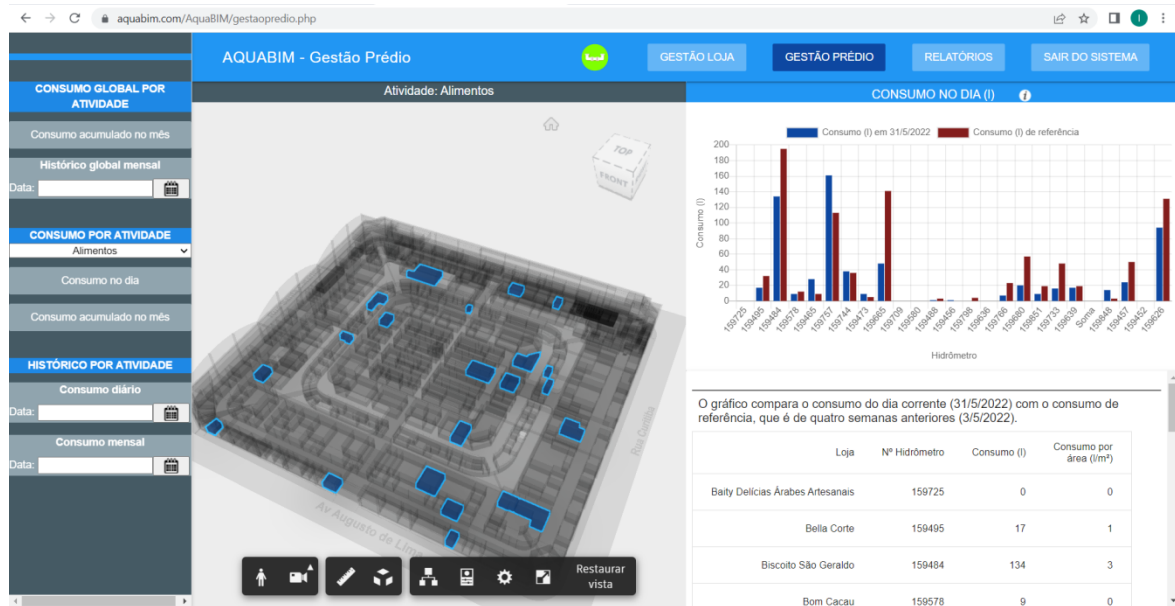
Figura 24 - Funcionalidade consumo global por atividade da Gestão Prédio



Fonte: Elaborado pela Autora.

Análises aprofundadas de cada atividade são obtidas pela função do grupo consumo por atividade. A funcionalidade *consumo no dia* retrata um instante específico balizado por um valor de referência de quatro semanas anteriores. O gráfico dessa função (Figura 25) caracteriza o consumo entre lojas de uma categoria relacionadas ao dia da semana pesquisado. Gerar essas informações auxilia o gerenciamento na medida em que a comparação dos valores identifica variações que podem provocar questionamentos e a necessidade da realização de estudos mais específicos. O destaque das lojas analisadas no modelo 3D facilita a busca por informações e quantifica o número de lojas consideradas. Na sua versão opção histórico, o procedimento possibilita a identificação de alterações do consumo relacionadas aos dias da semana.

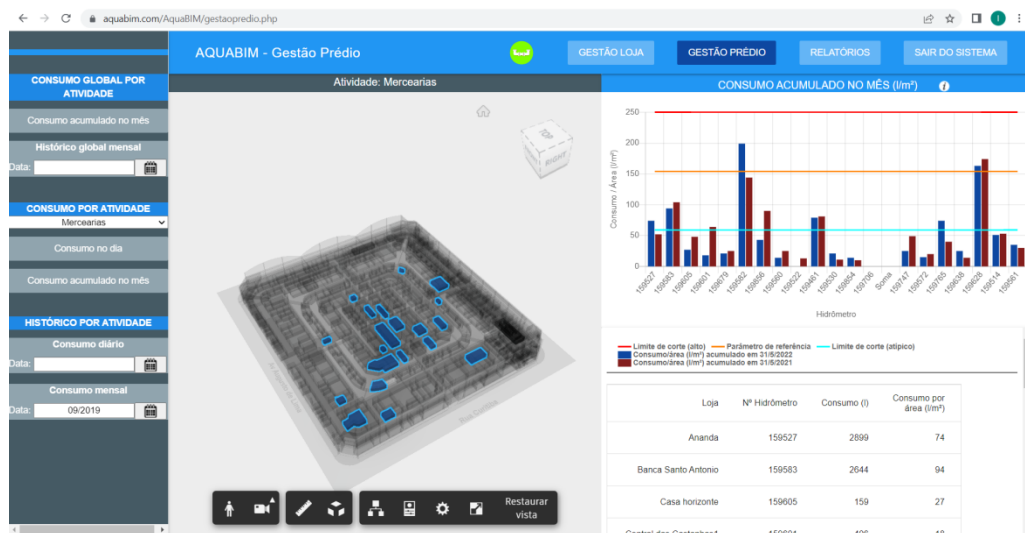
Figura 25 - Funcionalidade consumo do dia na Gestão Prédio



Fonte: Elaborado pela Autora.

A outra funcionalidade (Figura 26) dentro desse grupo possui procedimento semelhante, mas o critério de referência é o mês. A diferença é que no consumo acumulado no mês o período avaliado ainda está em curso, dessa forma não é possível determinar a qual faixa de consumo cada loja pertence.

Figura 26 - Funcionalidade consumo acumulado no mês na Gestão Prédio

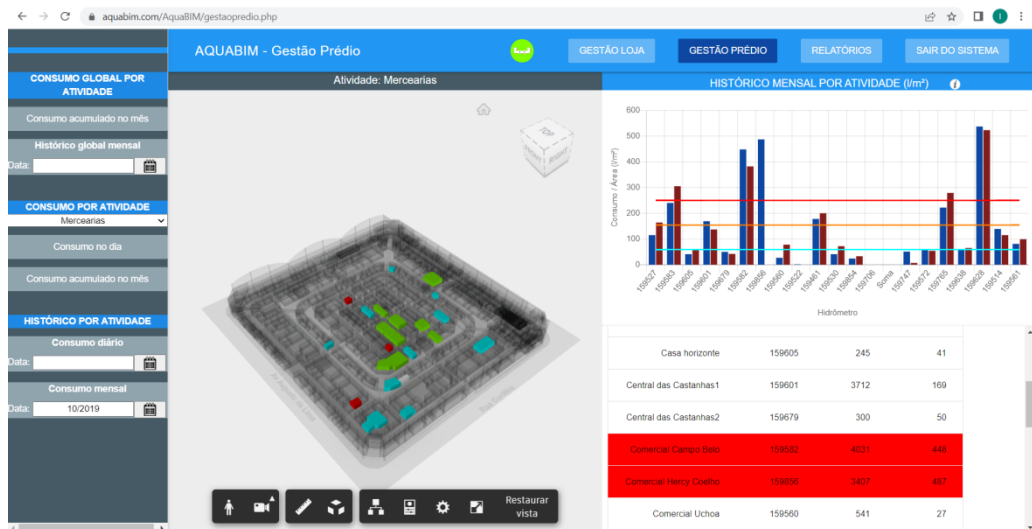


Fonte: Elaborado pela Autora.

Isso não ocorre na opção histórico dessa funcionalidade, conforme exibido na Figura 26, na qual o padrão de cores das faixas de consumo é destacado não apenas no modelo BIM, como também na tabela complementar. Desse modo, as lojas classificadas como consumo alto são facilmente identificadas. O gráfico exibe o conjunto de lojas e as linhas de referência que

balizam as flutuações do consumo dentro das faixas. O instrumento fornece uma visão panorâmica da categoria ao mesmo tempo em que possibilita individualizar cada elemento. Por exemplo, na Figura 27 observa-se que duas lojas estão muito acima e duas próximas do limite do consumo alto, quatro unidades próximas do indicador de referência e as demais abaixo do consumo atípico.

Figura 27 - Funcionalidade histórico consumo mensal na Gestão prédio

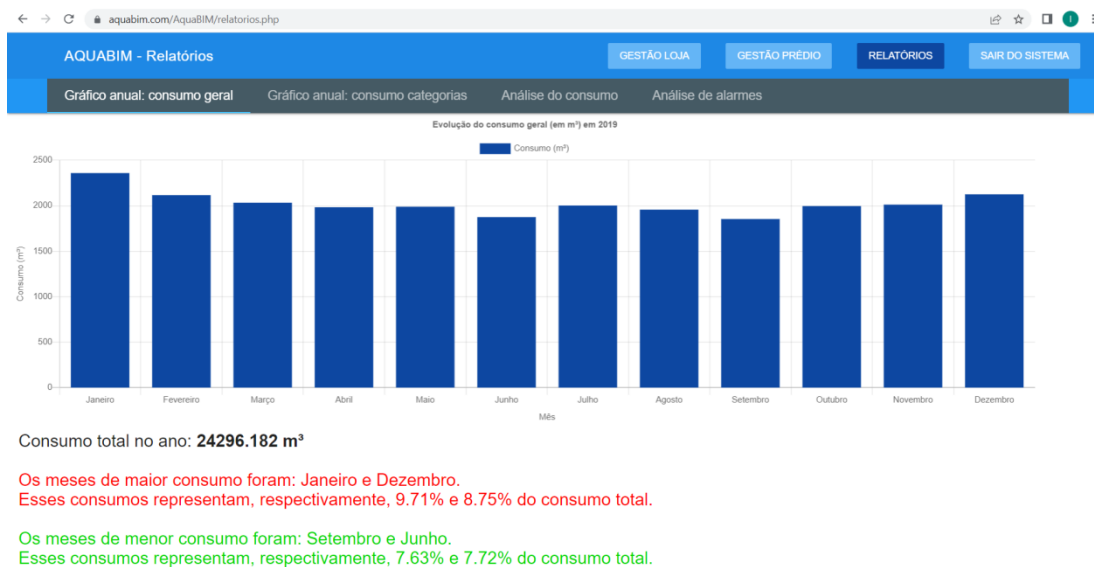


Fonte: Elaborado pela Autora.

Enquanto Gestão loja e Gestão prédio fornecem dados em períodos curtos (dia ou mês) isolados, a função Relatórios, dividida em quatro funcionalidades, consolida informações em períodos anuais para subsidiar o planejamento estratégico.

O relatório *Consumo geral* soma as leituras de todas as categorias de cada mês e exibe um gráfico (Figura 28). Com esse critério acompanha-se variações na evolução do consumo do prédio ao longo dos anos e identificam-se as demandas mensais dentro do período. A ocorrência de valores atípicos indica a necessidade de investigações mais aprofundadas.

Figura 28 - Funcionalidade consumo Geral em Relatórios

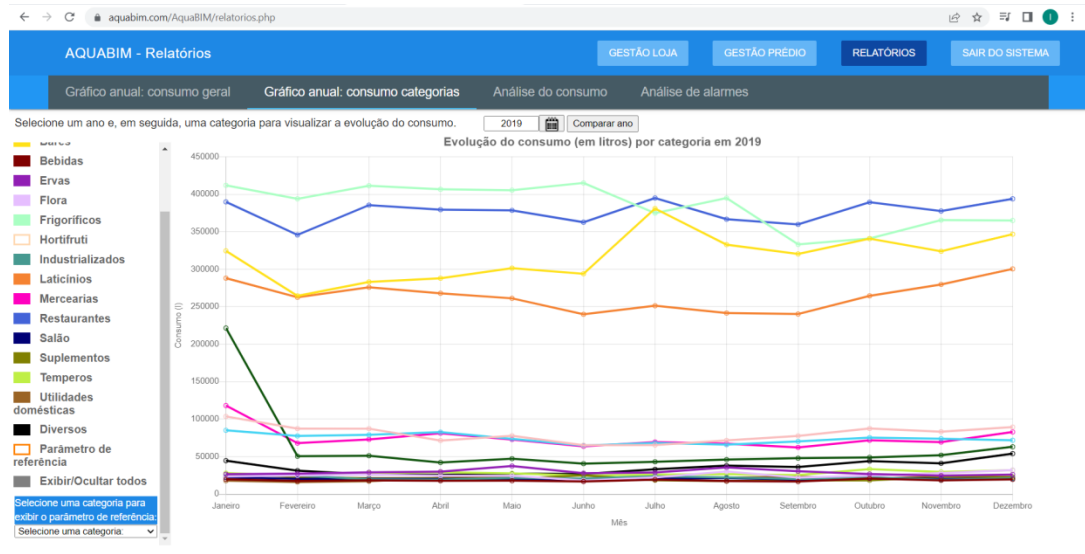


Fonte: Elaborado pela Autora.

Comparativamente as funcionalidades da Gestão prédio, os relatórios *Consumo categorias* e *Análise do consumo* compilam os dados categorizados, porém para o período de um ano.

As informações disponíveis pelo gráfico do consumo por categorias dinamizam o acesso aos dados. Seleccionam-se as categorias escolhendo o nome em uma lista ou clicando na sua cor correspondente. Outra opção é o botão “exibir/ocultar todos” criado facilitar a (des)seleção de todo o conjunto ao mesmo tempo. Quando todas as categorias são seleccionadas conforme Figura 29, promove a categorização dos usos finais dentro da edificação, sendo possível estabelecer diferentes níveis de consumo assim como suas variações.

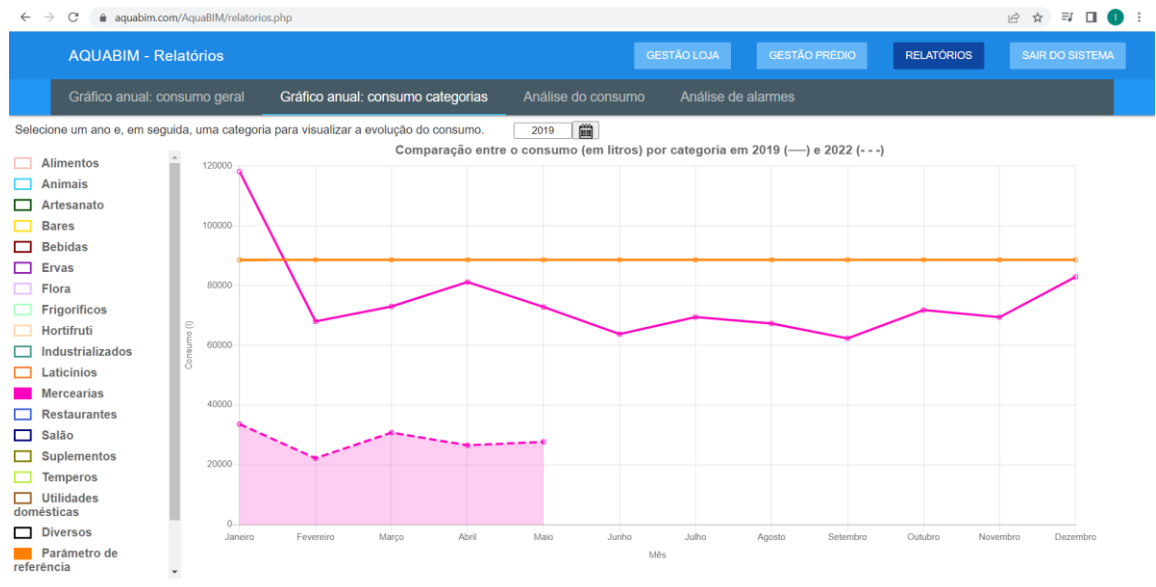
Figura 29 - Análise simultânea do consumo anual das categorias em Relatórios



Fonte: Elaborado pela Autora.

O aspecto negativo desse instrumento é a sobreposição de linhas de categorias que apresentam valores de consumos semelhantes. A questão é solucionada pela opção de seleção individual que adiciona a linha do indicador de consumo de referência e possibilita analisar dois anos simultaneamente (Figura 30).

Figura 30 - Análise isolada do consumo anual de uma categoria em Relatórios



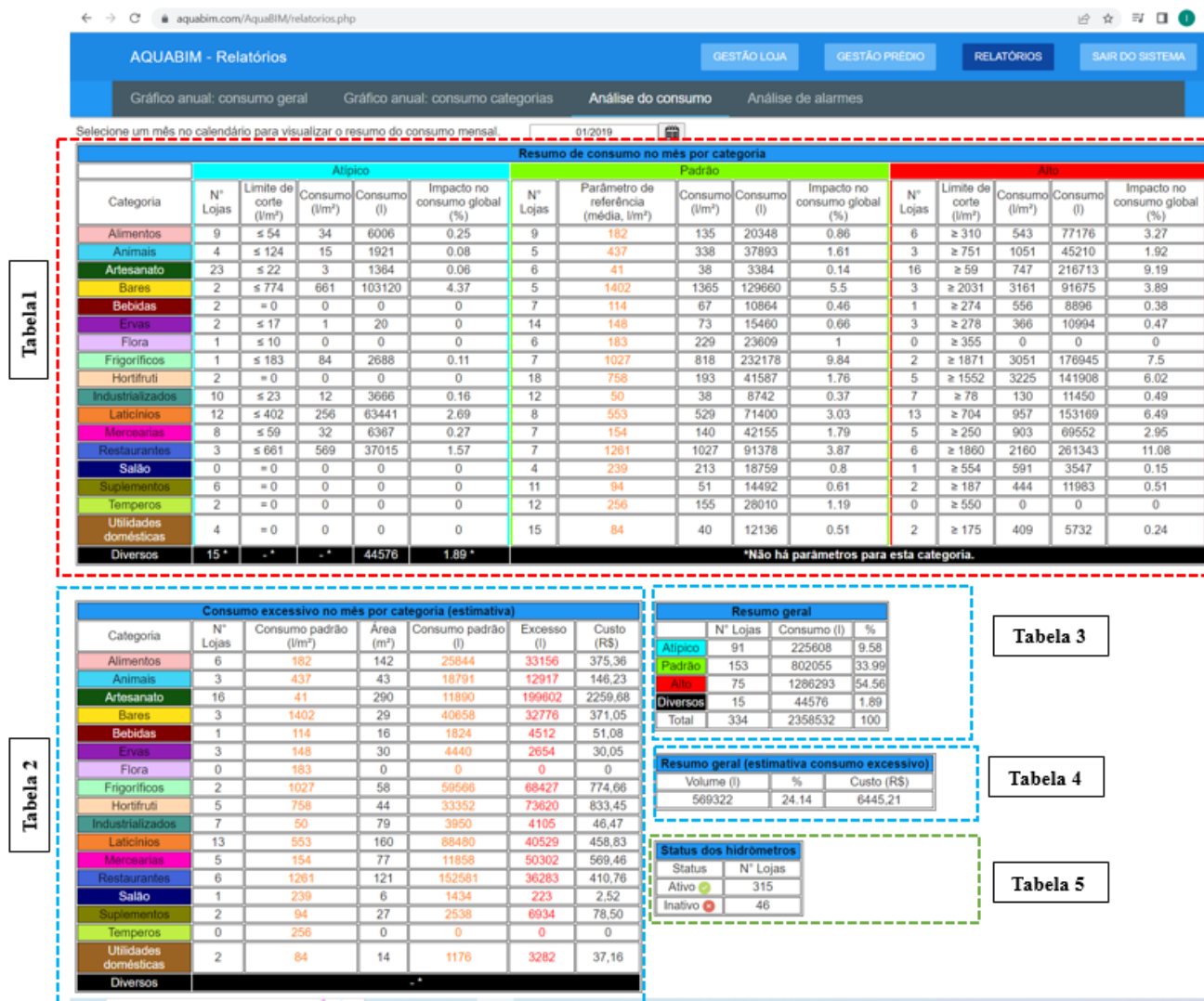
Fonte: Elaborado pela Autora.

O Relatório *Análise do consumo* apresenta cinco planilhas (Figura 31) que organizam os dados do conjunto de lojas de cada categoria de acordo com as faixas de consumo atípico, padrão ou alto. A tabela *Resumo mensal* (Tabela 1) e a *Resumo geral* (Tabela 2) apresentam

respectivamente as informações detalhadas e a soma geral desses consumos na edificação. Realizar o acompanhamento do uso da água é o foco deste instrumento de gestão. Pode-se depreender, por exemplo, que a categoria artesanato apresenta uma quantidade maior no número de lojas classificadas como consumo alto, mas proporcionalmente representa um impacto menor no consumo global. Ao passo que no *Resumo geral* verifica-se que cerca de 55% do total de lojas, no ano de 2019, estavam inseridas na faixa consumo alto. São dados importantes para a gestão da água porque permitem tomar decisões com mais assertividade, identificar pontos críticos e acompanhar a eficácia das medidas tomadas.

Além disso, os indicadores determinam quantitativamente o potencial de economia de água daquela edificação a partir da compilação de dados acima do limite superior para faixa de consumo alto e os valores do consumo padrão. As informações detalhadas por categoria são apresentadas na tabela *Consumo excessivo por mês* (Tabela 3) e o resultado das somas (Tabela 4) de todos potenciais excessos da edificação. Os valores não refletem necessariamente desperdícios de água, mas são indicativos que processos e lojas precisam ser reavaliados. A leitura e interpretação dessas análises permitem estudar a viabilidade de obtenção de certificados internacionais de sustentabilidade, por exemplo, através do cumprimento dos requisitos do módulo Edifícios em Operação - Gestão Sustentável da certificação (AQUA-HQE, 2016).

Figura 31 - Tabelas das análises da funcionalidade do consumo por categorias de acordo com as faixas de referência em Relatórios



Fonte: Elaborado pela Autora.

A leitura da tabela *Status dos hidrômetros* (Tabela 5) disponibiliza duas interpretações. O *status* ativo indica a quantidade de lojas em análise, enquanto o *status* inativo a existência de equipamentos defeituosos ou lojas fechadas.

Por fim, a seção apresenta o desenvolvimento do relatório *Análises de vazamentos* (Figura 32). O instrumento identifica as lojas e analisa a gravidade dos eventos ocorridos. A tabela 1 apresenta resumidamente os consumos excessivos balizados pelos valores médios de referência de cada loja. O procedimento particulariza os dados obtidos pela empresa responsável pelos medidores inteligentes, detalhando o consumo em litros para cada dia de alarme.

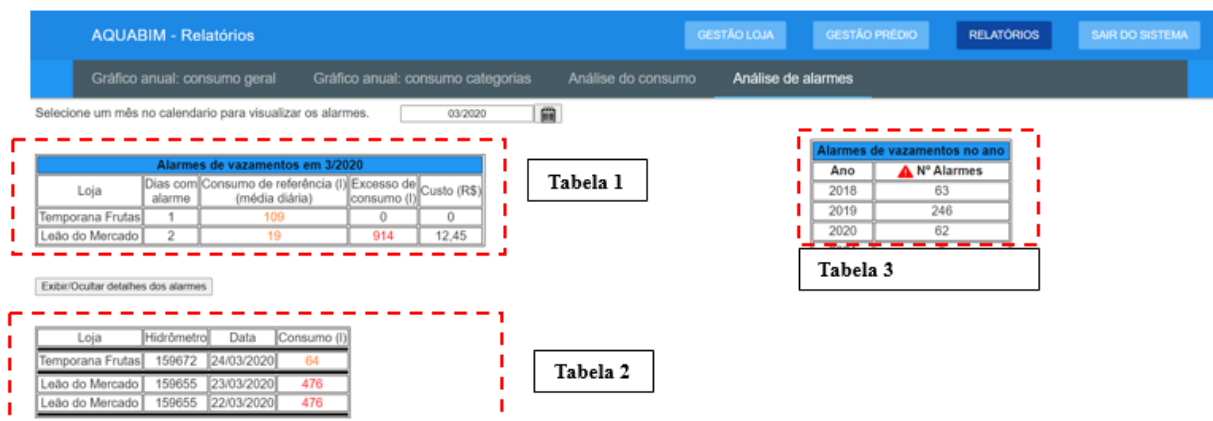
Para a gestão é importante não apenas conhecer a quantidade de ocorrências (como fornecido pelas bases de dados originais dos medidores inteligentes), mas estabelecer comparações, verificar se é um problema recorrente ou em evento isolado.

O AquaBIM envia um alerta automático para o gestor da edificação que por sua vez notifica a unidade, contudo a iniciativa de solucionar o vazamento é de responsabilidade do usuário. Infelizmente, existe um problema cultural relacionado ao desperdício da água potável que pode ser explicado, em parte, pelo baixo valor cobrado pela água e pela crença que o Brasil possui o recurso em abundância. A manchete vinculada em junho de 2022 ilustra a magnitude da questão “As cidades brasileiras desperdiçam 40% da água potável por falta de cuidado ou mau uso” (G1 GLOBO, 2022), valor que abasteceria 33 milhões de pessoas por dia¹⁰.

Conhecer as informações do impacto financeiro e os quantitativos dos vazamentos possibilita traçar estratégias individualizadas e globais para minimizar essas perdas.

¹⁰<https://g1.globo.com/jornal-nacional/noticia/2022/06/01/cidades-brasileiras-desperdicam-40percent-da-agua-disponivel-por-falta-de-cuidado-ou-mau-uso.ghtml>

Figura 32- Funcionalidade análise de alarmes em Relatórios



Fonte: Elaborado pela Autora.

5.3 Avaliação externa

Um dos preceitos do *Design Science* é que os ciclos de interação da pesquisa devem resolver questões práticas e teóricas para gerar contribuições científicas. Outro pré-requisito é atender às necessidades das partes interessadas (WIERINGA, 2009). As demandas do responsável pela operação e manutenção do Mercado Central foram incluídas no processo de desenvolvimento por meio da realização de várias reuniões técnicas. Os *feedbacks* obtidos retroalimentaram a pesquisa e originaram reflexões distintas daquelas inicialmente propostas. A inclusão desse agente externo no processo expandiu os questionamentos em relação ao tema e o aprimoramento técnico do AquaBIM.

Uma das etapas do teste conceito no Mercado Central foi a aplicação de dois instrumentos diferentes de avaliação. O primeiro, um questionário estruturado publicado no *Google Forms*, e o segundo, uma entrevista semiestruturada *on-line* realizada na plataforma *Zoom*.

O formulário foi elaborado para avaliar a aplicabilidade e a funcionalidade do protótipo sob três aspectos:

- Metodológico – avaliar a adequação das funcionalidades do protótipo, ou seja, verificar se a solução construída respondeu de forma inovadora e apropriada às questões formuladas.
- Tecnológico – avaliar os recursos computacionais utilizados. O objetivo é verificar a percepção do usuário em relação aos aspectos operações do AquaBIM, por exemplo, tempo de resposta do sistema, usabilidade das funcionalidades, estabilidade do site, dentre outros.
- Aplicação de recursos gráficos – avaliar a adequação dos recursos gráficos. Nessa sessão as perguntas foram direcionadas a investigar se o *design* da página, uso do

modelo 3D, cores e gráficos contribuíram para apresentar os dados e as análises de forma clara e intuitiva.

Uma escala linear de 1 a 5 foi criada para obter as respostas, sendo que cada resposta corresponde a uma porcentagem de satisfação do usuário. Tal procedimento é denominado escala de Likert. Segundo Mattar (2008) com a atribuição de um valor numérico sequencial a cada resposta é possível avaliar a predisposição do entrevistado em relação as afirmações feitas sobre um determinado tema.

No formulário Google Forms, apresentado no apêndice A, para aplicado a resposta 1 “Discordo totalmente” indicava que não havia aprovação do usuário em relação a afirmação formulada, ou seja, 0% de satisfação. Por outro lado, a resposta 5 “Concordo totalmente” indicava a concordância total correspondendo a 100% de satisfação. As vantagens desse tipo de entrevista são a obtenção de respostas impessoais e objetivas, a possibilidade de reutilizar o instrumento com pessoas diferentes e armazenar os dados para gerar estudos estatísticos (ALMEIDA JUNIOR, 2017).

O questionário foi dividido em 2 partes. A primeira composta por questões fechadas nas quais o usuário avaliou a plataforma através de uma seleção em escala linear dividida em 5 graus de satisfação dispostos em ordem crescente.

As perguntas podem ser agrupadas em três grupos.

No grupo 1 é composto por 8 questões estão relacionadas ao fornecimento de informações técnicas e as funcionalidades para a gerenciamento da água da edificação. No grupo 2 considerou-se o desenvolvimento técnico da plataforma. Questões como a usabilidade e estabilidade da plataforma foram avaliadas. No grupo 3 as perguntas são relacionadas aos recursos gráficos disponíveis. A segunda parte do questionário é dedicado a coletar críticas e sugestões através de perguntas abertas.

O questionário foi respondido pelo engenheiro responsável pela administração da edificação estudada e pelo CEO da empresa responsável pelos medidores inteligentes. Para a realização das análises considerou-se a seguinte escala de avaliação (escala Likert):

- 0 a 20 % satisfação – Muito ruim
- 20 a 40% satisfação – Ruim
- 40 a 60% satisfação – Neutro
- 60 a 80% satisfação – Bom
- 80 a 100% satisfação – Excelente

O AquaBIM foi bem avaliado e as respostas obtidas, organizadas pela escala Likert, indicaram um nível de satisfação satisfatório. Os resultados demonstram que a parte conceitual foi a parte mais bem avaliada. No grupo 1 das 15 perguntas possíveis, 14 alcançaram índices de excelente e uma boa. No grupo 2 (desempenho técnico) foi verificado 58% respostas excelentes, 33% boas e 8% neutras. No grupo 3 (recursos gráficos) as avaliações foram predominantemente positivas: (63% excelentes e 37% boas). Os respondentes tiveram avaliações semelhantes, não sendo verificado discrepâncias entre eles.

Em resumo, conclui-se que a plataforma atingiu os objetivos propostos tanto na parte conceitual como nos recursos e funcionalidades oferecidos. Não apresentando nenhuma resposta com avaliação negativa.

Para conseguir aprofundar as respostas obtidas no formulário, realizou-se uma segunda fase da avaliação constituída pela realização de entrevista semiestruturada. Na entrevista participaram a equipe de desenvolvimento desta pesquisa, o gestor da edificação estudada, o programador e o administrador da empresa responsável pelos medidores inteligentes.

As respostas obtidas a partir da entrevista *on-line* reforçaram as qualidades técnicas do AquaBIM. Entre as funcionalidades mencionadas pode se citar o monitoramento em tempo real do consumo, a caracterização do consumo de água da edificação e o uso das interfaces gráficas para facilitar a visualização das informações. Além disso, foi destacado a viabilidade do uso potencial do protótipo para outras tipologias de edificação.

Diante das respostas obtidas avalia-se que o protótipo atendeu adequadamente os requisitos técnicos, se mostrou uma solução viável para a investigação proposta e demonstrou seu potencial para adoção do AquaBIM em maior escala.

6 RESULTADOS

Dois conceitos importantes estruturaram as contribuições deste trabalho. O primeiro foi a associação de dados de dispositivos IoT com as informações do modelo BIM da edificação, uma linha de pesquisa que ganhou relevância nos últimos anos. O outro foi o gerenciamento de instalações (Facility Management), metodologia aplicada nesta pesquisa pelo seu potencial para melhorar a eficiência de sustentabilidade durante a operação.

A metodologia proposta para a gestão de água em edificações comerciais foi implementada em um protótipo para a web denominado AquaBIM que permite captar, tratar, organizar e analisar dados dos medidores inteligentes e do modelo BIM. A integração BIM-IoT para gestão de instalações (FM) possibilitou identificar anomalias, estabelecer tendências no padrão de consumo da edificação e acompanhar a evolução do consumo ao longo do tempo. As funcionalidades do AquaBIM visam aumentar a eficiência da gestão e responder à demanda por sustentabilidade segundo os princípios da norma ISO 41001 sobre gestão das instalações.

Para facilitar as análises, o aplicativo web entrega gráficos e tabelas dinâmicas, que permitem um monitoramento on-line e a visualização de alertas de vazamentos. O modelo BIM 3D facilita a interpretação espacial da informação.

Com base em Design Science Research (DSR), empregou-se uma integração BIM-IoT-FM e seus objetivos foram consolidados para melhorar a gestão de instalações em edifícios comerciais, na busca de um desempenho sustentável durante a operação predial. Uma das contribuições da metodologia proposta foi a determinação de indicadores de consumo sustentável de água, com base em gráficos de Shewhart, que foram aplicados ao FM do Mercado Central de Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil.

A interatividade entre o BIM do prédio e os medidores inteligentes possibilitou a construção de um banco de dados único integrando os dados do BIM e o consumo do prédio. Uma vez implementada no aplicativo AquaBIM on-line, a metodologia proporcionou o gerenciamento automatizado do consumo de água.

As certificações ambientais são referências importantes para avaliar a sustentabilidade dos edifícios. A aplicação do AquaBIM atendeu aos requisitos da certificação de sustentabilidade AQUA Haute Qualité Environnementale (AQUA-HQE) quanto ao consumo de água, aos detalhes de consumo e ao controle de vazamentos. As análises automatizadas apresentaram os resultados em tabelas, textos e gráficos, que indicavam a evolução do consumo, o gerenciamento detalhado do uso da água e a emissão de alarmes em tempo real.

Os relatórios foram instrumentos importantes para interpretar esses resultados e para auxiliar na tomada de decisões e no planejamento de ações.

A proposta inicial da pesquisa era realizar o acompanhamento do consumo da edificação no período de no mínimo dois anos para fazer a comparação dos resultados. Contudo, em março de 2020 foi decretada a pandemia de COVID-19. Para conter o avanço da pandemia no país, uma série de medidas foi tomada no sentido de restringir a circulação de pessoas e o funcionamento do comércio. Essas medidas impactaram significativamente o funcionamento do Mercado Central por se tratar de uma edificação comercial de grande porte.

Por essa razão os resultados da determinação dos indicadores de consumo, potencial do consumo excessivo e por categorias consideram o ano de 2019 no qual a edificação estava funcionando normalmente. Apresenta-se também uma comparação com os resultados dos anos de 2020 e 2021 para demonstrar o impacto que a pandemia causou no consumo da água da edificação. Um trabalho similar conduzido por Oberascher *et al.*, (2022) em um campus universitário localizado na Áustria monitorou e avaliou múltiplos aspectos de um sistema de água integrado. Essa abordagem adota uma visão ampla do gerenciamento, considerando o sistema de abastecimento, tratamento de águas residuais e infraestrutura de drenagem. Os autores afirmam que os resultados técnicos evidenciam a relevância do emprego do conceito IoT como um recurso valioso para prover dados operacionais atualizados, capazes de fundamentar decisões relacionadas à gestão hídrica. No entanto, as limitações impostas pela pandemia de COVID-19 no contexto de edifícios comerciais tornaram difícil a apresentação dos resultados quantitativos.

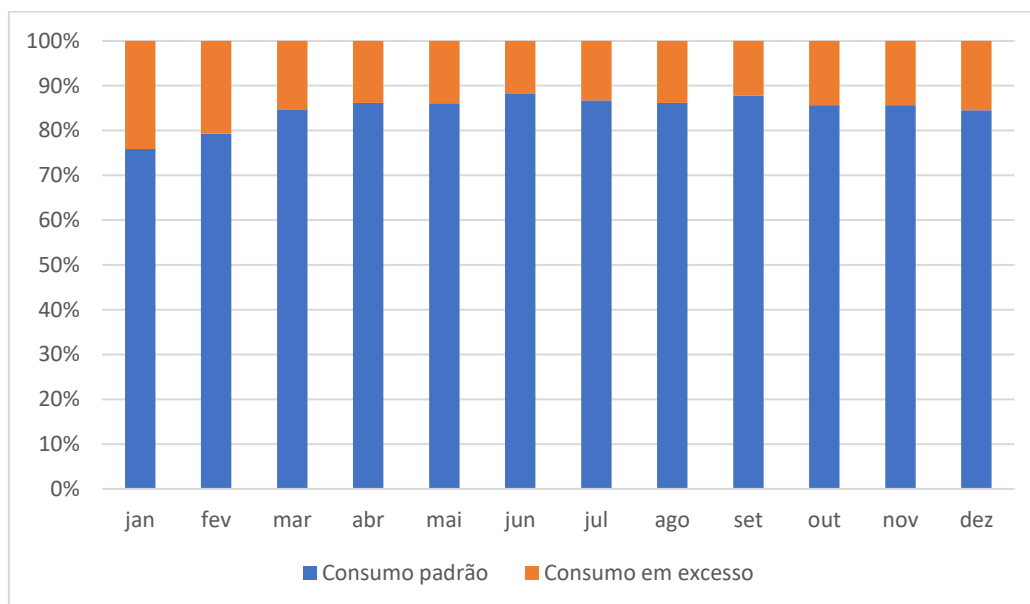
6.1 Análise para o ano de 2019

Os resultados da aplicação do AquaBIM e dos seus indicadores para o ano de 2019 analisaram de forma qualitativa e quantitativa o consumo de água no Mercado Central. Nesse ano, o consumo na edificação foi de 24.296.172 litros, para uma área construída de lojas de 7.267 m², que corresponde a um consumo de 3.343 l/m².

A emissão de relatórios de consumo pelo AquaBIM foi um importante recurso para a gestão sustentável do consumo, por meio do reporte e da interpretação dos resultados das análises que foram apresentados em textos, tabelas e gráficos. A interpretação dos resultados destes relatórios permitiu-nos avaliar a evolução do consumo individual das lojas, do edifício e das categorias de atividade de acordo com o seu intervalo de consumo. Além disso, a análise dos relatórios caracterizou o perfil de consumo da edificação. O gráfico 1 indica que aproximadamente metade das lojas teve consumo dentro da faixa padrão, o que também

correspondeu quase metade do consumo total de água. Um número menor de lojas (20%) respondeu por 40% do consumo total na faixa de alto consumo. Por fim, o gráfico mostrou que cerca de 30% das lojas apresentaram baixo consumo total dentro da faixa de consumo atípico.

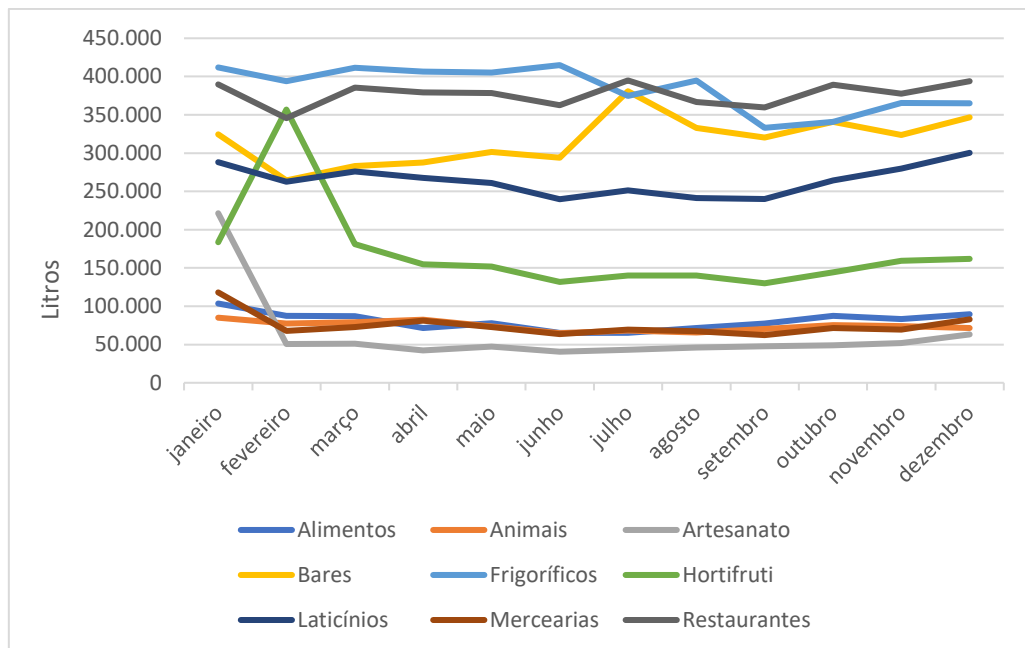
Gráfico 1 – Consumo total de água da edificação no ano 2019



Fonte: Elaborado pela Autora.

Um dos relatórios do AquaBIM mostrou a evolução do consumo por categorias e revelou perfis de consumo ao longo do ano. O gráfico da evolução do consumo foi dividido em duas partes para facilitar a visualização dos valores de todas as categorias. O consumo das categorias como o consumo acima de 50.000 l/mês é apresentado no Gráfico 2. Dentro desse grupo identificou-se como maiores consumidores as categorias frigoríficas, restaurante e bares. Dois picos acentuados destacam-se nas categorias hortifrúti e artesanato, indicando a ocorrência de eventos atípicos.

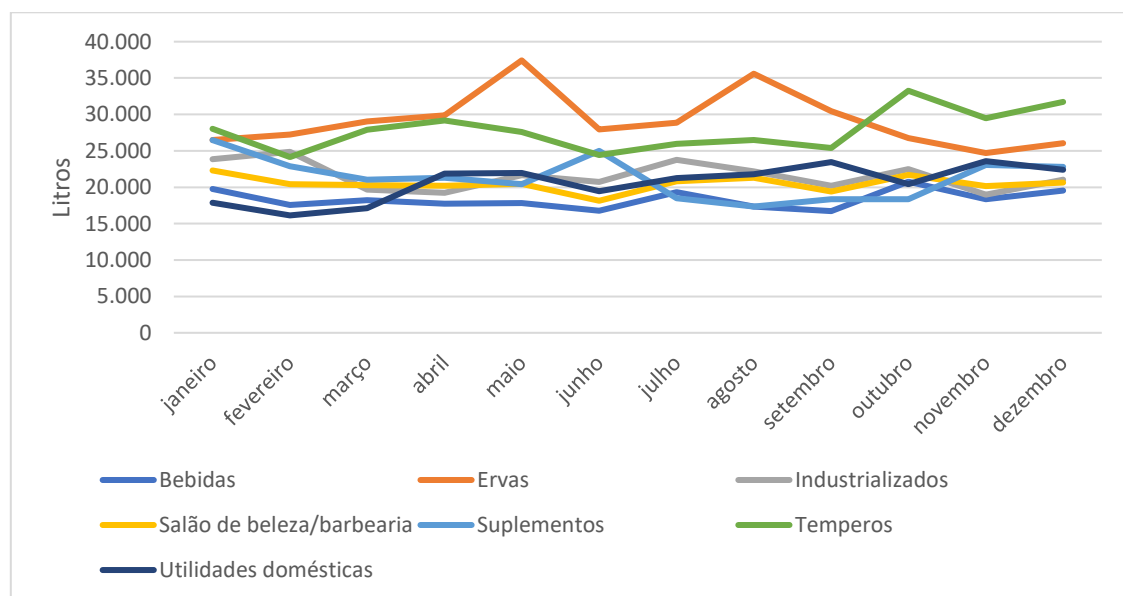
Gráfico 2 - Evolução do uso da água para consumos maiores que 50.000 Litros



Fonte: Elaborado pela Autora.

Quando se considera todas as categorias simultaneamente, não é possível visualizar as variações significativas no consumo, mas delimitando-se a análise para o grupo de lojas que tem consumo abaixo de 40.000 l/mês (Gráfico 3), identificam-se picos ao longo do ano. Contudo a percentagem da amplitude da variação é menor.

Gráfico 3 - Evolução do uso para consumo mensal menores que 50.000 Litros



Fonte: Elaborado pela Autora.

A análise e interpretação da evolução anual dos consumos permitiram avaliar o impacto de cada categoria no contexto do edifício. Essa mesma análise, se realizada em anos distintos, permite prever os meses de maior demanda e verificar se variações bruscas ocorreram de vazamentos ou outros fatores externos.

Uma importante fonte de informação para a gestão sustentável do Mercado Central foi disponibilizada no relatório “*Análise de Consumo*”, onde o consumo mensal foi desagregado por categorias de atividade. Os detalhes das informações do consumo desses grupos para o ano de 2019 são compilados na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo por categorias do Mercado Central no ano de 2019

Categoria	Atípico			Padrão				Alto				
	LCI ¹ (L/m ²)	Consumo (L/m ²)	Consumo (L)	ICG ² %	ICS ³ (L/m ²)	Consumo (L/m ²)	Consumo (L)	IGC ₂ (%)	ICS ⁴ (L/m ²)	Consumo (L/m ²)	Consumo (L)	ICG ² (%)
Alimentos	≤54	590,98	65947	0,30	182,00	134,00	310071	1,30	≥310	577,00	590979	2,40
Animais	≤124	1,070,870	23646	0,10	437,00	365,00	562490	2,30	≥751	994,00	301888	1,20
Artesanato	≤22	32,86	22656	0,10	41,00	38,00	35662	0,10	≥59	229,00	696051	2,90
Bares	≤774	696,05	812606	3,40	1402,00	1206,00	1911091	7,90	≥2031	3178,00	1070870	4,40
Bebidas	0	1,587,188	0	0,00	114,00	62,00	120390	0,50	≥274	518,00	99508	0,40
Ervas	≤17	99,51	2276	0,00	148,00	76,00	189595	0,80	≥278	435,00	158517	0,70
Floricultura	≤10	51,02	0	0,00	183,00	217,00	249590	1,00	≥355	167,00	51015	0,20
Frigoríficos	≤183	1,912,922	37230	0,20	1027,00	785,00	2665867	11,00	≥1871	2748,00	1912922	7,90
Hortifrúti	0	258,27	0	0,00	758,00	201,00	474270	2,00	≥1552	3025,00	1560970	6,40
Industrializados	≤23	158,52	52958	0,20	50,00	42,00	92892	0,40	≥78	133,00	111354	0,50
Laticínios	≤402	1,560,970	714214	2,90	553,00	537,00	891276	3,70	≥704	922,00	1587188	6,50
Mercearia	≤59	122,10	89833	0,40	154,00	147,00	548756	2,30	≥250	438,00	258273	1,10
Restaurantes	≤661	111,35	401819	1,70	1261,00	1252,00	1723739	7,10	≥1860	2177,00	2398461	9,90
Salão beleza/Barbearia	0	301,89	0	0,00	239,00	198,00	212995	0,90	≥554	456,00	32857	0,10
Suplementos	0	2,398,461	0	0,00	94,00	34,00	125247	0,50	≥187	350,00	130286	0,50
Temperos	0	0,00	0	0,00	256,00	150,00	333622	1,40	≥550	0,00	0	0,00
Utilidades Domésticas	0	130,29	0	0,00	84,00	34,00	122642	0,50	≥175	423,00	124679	0,50
Consumo Global			2223185	9,30			10570195	43,70			11085818	45,60

¹LCI—Linha Controle Inferior (L/m²—média). ²ICG- Impacto Consumo Global (%). ³ICS- Indicador de Consumo Sustentável (L/m²—média). ⁴LCS—Linha Controle Superior (L/m²—média).

Fonte: Elaborado pela Autora.

A interpretação dos resultados demonstrou que nem sempre as categorias com maior consumo bruto apresentam o mesmo impacto no consumo relativo. Por exemplo, artesanato com a maior quantidade de lojas não tem a mesma representatividade no consumo por área. A categoria restaurantes, ao contrário, consumiu cerca de 10% no consumo anual do prédio, o que representa aproximadamente 2,4 milhões de litros no mês, considerando que apenas seis lojas foram classificadas como de alto consumo.

Quantificar o potencial de economia é essencial para racionalizar o uso da água, pois viabiliza a determinação de metas compatíveis com a realidade da operação daquela edificação. Se as informações extraídas indicarem um potencial de consumo alto significa que é preciso focar no aumento da eficiência hídrica. Não significa, portanto, que essa economia deva ser exclusivamente atingida pela redução do consumo. Após estudos mais detalhados, é possível concluir que outras medidas (ex.: instalação de dispositivos economizadores, troca da tubulação, etc.) sejam mais adequadas a uma realidade específica. Contudo, se tais medidas já tiverem sido implementadas, o resultado da análise indicará a necessidade da avaliação de processos internos e proposição de estratégias para melhorar a conservação da água. Os dados dos Relatórios são instrumentos para subsidiar a gestão.

As análises de consumo geradas pelo AquaBIM e sintetizadas na Tabela 2 indicaram que no ano de 2019 o Mercado Central teve um excesso de consumo estimado em 3.750 m³, ou cerca de 15% do consumo anual da edificação. O valor identificado neste estudo está em conformidade com os requisitos de certificação AQUA-HQE, que inclui a redução do consumo de água de 5 a 10% como um dos critérios de certificação ambiental (AQUA-HQE, 2017). O AquaBIM também ajuda a atender a outros requisitos, como caracterização do consumo, monitoramento contínuo do uso da água e redução dos riscos de vazamento. Em uma análise qualitativa, os resultados obtidos demonstram consistência com aqueles encontrados na literatura existente, apesar das variações nas tipologias comerciais e metodologias.

Tabela 2 - Potencial de consumo excessivo

	Número de lojas (média)	LCS ¹ (L)	FCA ² (L)	Potencial Consumo excessivo (L)	Custo (R\$)	ICG ³ (%)
Bares	4	21,715	696051	522414	2899	2,15
Salão beleza/Barbearia	2	20,595	301888	64572	752	0,27
Artesanatos	14	2556	32857	2941	6067	0,01
Laticínios	3	75,192	1560970	780314	4430	3,21
Alimentos	1	33,486	590979	256179	531	1,05
Bebidas	3	106,488	1587188	377012	766	1,55
Floricultura	0	3520	51015	1516	244	0,06
Mercearia	2	6089	122101	72529	7250	0,3
Ervas	4	5347	99508	469	9076	0,19
Hortifrúti	6	13,221	258273	116523	431	0,48
Utilidades Domésticas	12	6506	130286	57917	4361	0,24
Industrializados	4	10,004	158517	57881	1328	0,24
Frigoríficos	5	120,711	1912922	610706	3950	2,51
Animais	1	65,956	1070870	386423	34	1,59
Restaurantes	2	5652	111354	41756	692	0,17
Temperos	0	0	0	0	0	0
Suplementos	3	178,155	2398461	346881	891	1,43
Total	-	-	11083240	3696033	43702	15,45

¹ LCS – Linha Controle Superior. ² CFA – Faixa Consumo Alto. ³ IGC – Impacto Consumo Global

Fonte: Elaborada pela Autora.

Nota-se que as categorias em destaque na análise anterior, por representar grande impacto no consumo global, não coincidiram com as atividades que apresentam os maiores potenciais para consumos excessivos. Nessa análise bares, laticínios e frigoríficos são mais relevantes. O resultado aponta que não existe uma relação direta entre os parâmetros.

Em uma análise qualitativa, os resultados obtidos demonstram consistência com aqueles encontrados na literatura existente, apesar das variações nas tipologias comerciais e metodologias.

Tabela 3- Economia de água ou economia potencial de água em estudos de caso similares

Tipologia da edificação	Tipo de base de dados	Objetivo do estudo	Água economizada/ potencial de economia	autor
Shopping Center	Tradicionais	Analisar a eficiência da implantação de instrumentos de gestão da água (dispositivos economizadores, sistema de captação de água da chuva e reaproveitamento de águas cinzas)	Água economizada 10%	Sousa <i>et al.</i> , 2019
Edifício de escritórios	Catálogos de fabricantes e testes de vazão	Auditoria da eficiência de dispositivos hidráulicos (ex. torneiras, pias, mictórios) a partir de parâmetros das certificações verdes	Potencial de economia de água 9,86%	Zaini and Kwong, 2020
Edificações comerciais	Sensores IoT	Analisar como as medidas restritivas da COVID 19 impactaram o consumo de água nas edificações.	As medidas restritivas diminuiram o consumo das edificações comerciais em 42%	Kalbusch <i>et al.</i> , 2020
Universidade	Smart meters	Analisar eficiência de dispositivos economizadores.	Água nizada 21,72%	Freitas <i>et al.</i> , 2019

Fonte: Elaborado pela Autora

Análises dessa natureza auxiliam na tomada de decisões para definir critérios para o uso da água e para propor medidas de melhoria da sustentabilidade. Os parâmetros subsidiam, por exemplo, estudos de viabilidade para implementação nas categorias apropriadas das certificações ambientais.

6.2 Análise para os anos 2020 e 2021

Como mencionado anteriormente as medidas restritivas de circulação de pessoas impostas pela pandemia de COVID 19 afetou diretamente o consumo de água na maior parte das edificações. O comércio da cidade de Belo Horizonte e conseqüentemente o Mercado Central foram muito impactados pelas medidas resumidas no Quadro 8.

Quadro 8 – Histórico de medidas restritivas da cidade de Belo Horizonte

20/mar/20	Fase de controle	Apenas atividades essenciais podem funcionar
25/mai/20	Flexibilização	FASE 1- Estão liberados funcionar: salões de beleza (exceto clínicas de estética), varejo de móveis, cama, mesa e banho e afins
08/jun/20	Flexibilização	FASE 2 - Estão liberados funcionar: lojas de artigos esportivos e bebidas; floriculturas; instrumentos musicais; tabacarias
29/jun/20	Fase de controle	Apenas atividades essenciais podem funcionar
06/ago/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: o comércio varejista e atacadista; salões de beleza; shoppings e galerias; drive-in
24/ago/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: parques públicos; bares, restaurantes e lanchonetes (almoço com restrição de dias e horários)
31/ago/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: academias de ginástica e clínicas de estética
04/set/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: bares, restaurantes e lanchonetes (final de semana e feriados com restrições)
19/set/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: clubes; música ao vivo em bares, que tiveram horário ampliado
23/set/20	Flexibilização	Estão liberados funcionar: feiras permanentes
6/out/20 -	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: comércio de bebidas alcoólicas de segunda a domingo com horários restritos
10/out/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: museus e galerias de arte
31/out/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: cinemas, teatros e casas de shows; feiras, exposições, congressos e seminários, com limitação de público; eventos gastronômicos
30/nov/20	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: feiras de negócios, exposições, congressos e seminários, com necessidade de licitação para público acima de 600 pessoas
11/jan/21	Fase de controle	Suspensas todas as atividades não essenciais
01/fev/21	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: consumo em padarias e lanchonetes, atividades comerciais não essenciais e serviços
08/fev/21	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: venda de bebidas para consumo no local em restaurantes, bares e similares, das 11h às 22h
18/fev/21	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: parques temáticos e de diversão; aval a música ao vivo em bares
06/mar/21	Fase de controle	Estão suspensas todas as atividades não essenciais
13/mar/21	Fase de controle	Praças, parques e pistas de corrida fechados
15/mar/21	Fase de controle	São fechados o comércio de insumos da construção civil e escolas de música e idiomas; cultos religiosos coletivos proibidos e restaurantes e bares podem funcionar apenas com delivery
23/mar/21	Fase de controle	Restrições ao funcionamento do comércio essencial nos domingos
22/abr/21	Flexibilização	Estão liberados a funcionar: comércio varejista e atacadista não essencial, inclusive em shoppings e galerias; salões de beleza; academias; serviços drive-in; consumo de alimentos no local em restaurantes e bares; escolas de idiomas, centros esportivos e artísticos e afins; creches e escolas infantis

Fonte: Adaptado Jornal Estado de Minas, 2021¹¹

Uma notícia publicada no mês de março de 2020 destaca como as medidas contra a COVID-19 alteraram o funcionamento da edificação estudada: “Das 400 lojas, 110 apenas vão continuar abertas. Todas elas ligadas a alimentação, produtos perecíveis, pets e drogarias. Bares e restaurantes, que são grande destaque do mercado, estão fechados (G1, 2020)”¹².

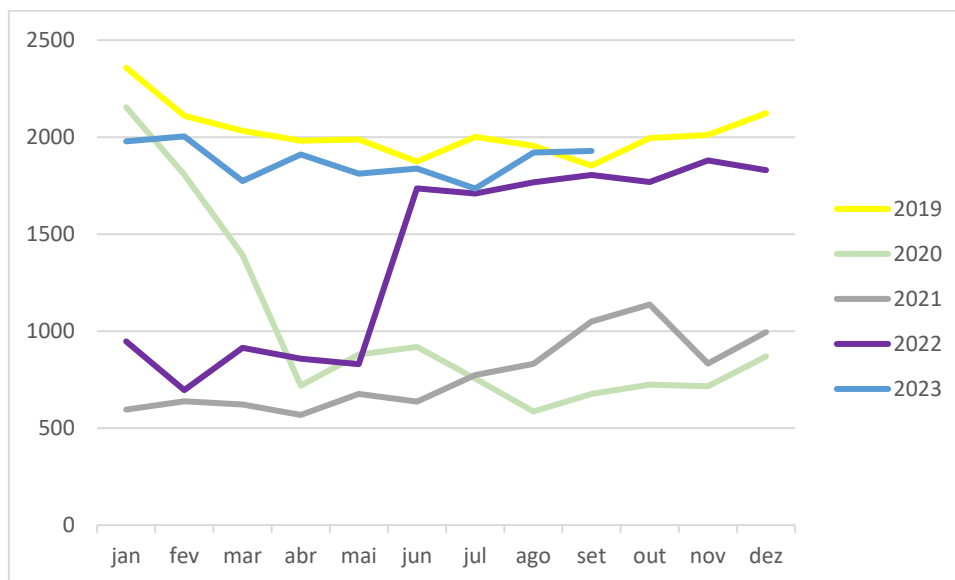
¹¹https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2021/04/19/interna_gerais,1258602/linha-do-tempo-confira-quantas-vezes-kalil-fechou-bh-durante-a-pandemia.shtml

¹²<https://g1.globo.com/mg/minas-gerais/noticia/2020/03/23/coronavirus-mercado-central-de-bh-muda-funcionamento-e-vai-ficar-fechado-aos-domingos.ghhtml>

Desse modo, as análises do AquaBIM são consequência desse cenário.

Mesmo após a flexibilização das medidas restritivas, o nível do consumo ainda está bem inferior ao registrado no ano 2019 que é o ano anterior a pandemia (Gráfico 5). O declínio pode ser explicado pela dificuldade que muitas lojas tiveram e não conseguiram reabrir, a diminuição do fluxo de pessoas e a crise econômica registrada no país.

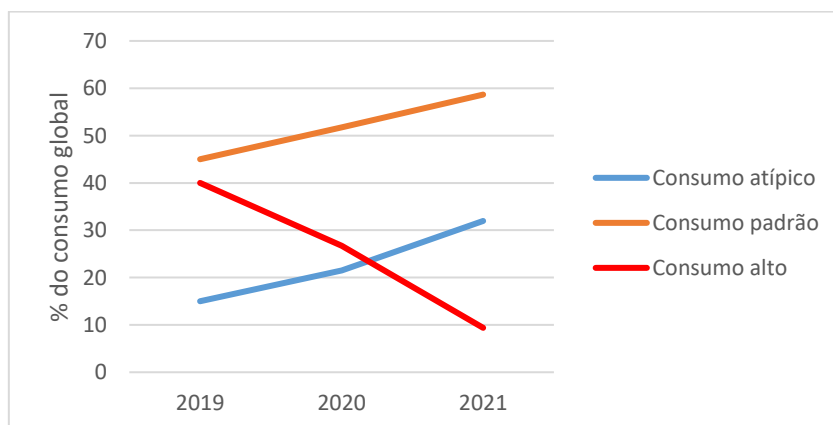
Gráfico 4 - Evolução no consumo de água no Mercado Central durante a pandemia



Fonte: Elaborada pela Autora.

Verifica-se no Gráfico 4 que a porcentagem da faixa de consumo atípico aumentou significativamente no ano 2020 invertendo de posição com o padrão de consumo alto durante o ano 2021. O consumo atípico reflete valores medidos abaixo da média, o que nesse contexto pode ser explicado pela ampliação das lojas fechadas. De modo similar a argumentação explica a diminuição do potencial do consumo excessivo.

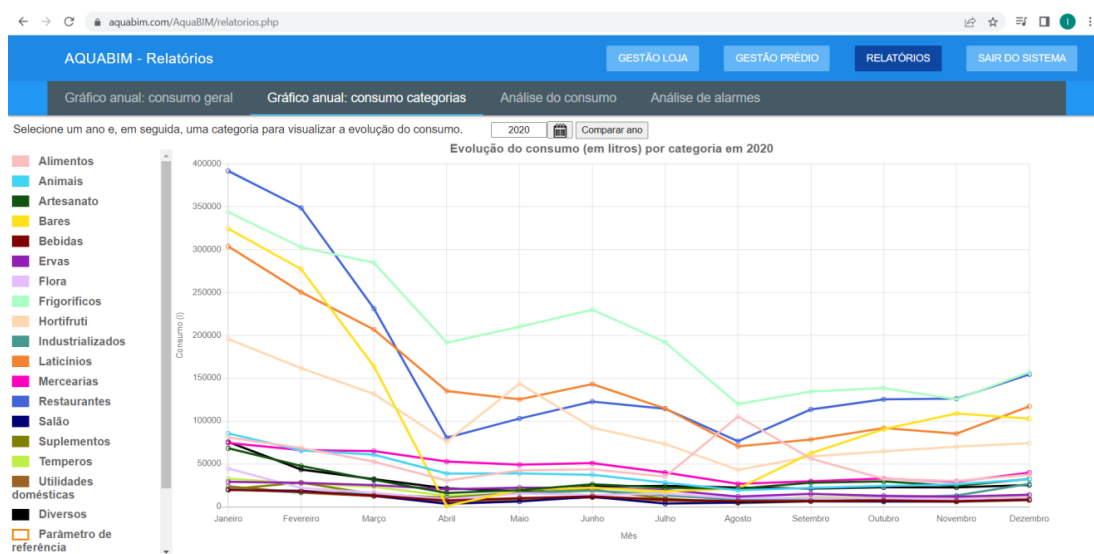
Gráfico 5 - Distribuição do uso da água pelas faixas de consumo nos anos de 2020 e 2021



Fonte: Elaborada pela Autora.

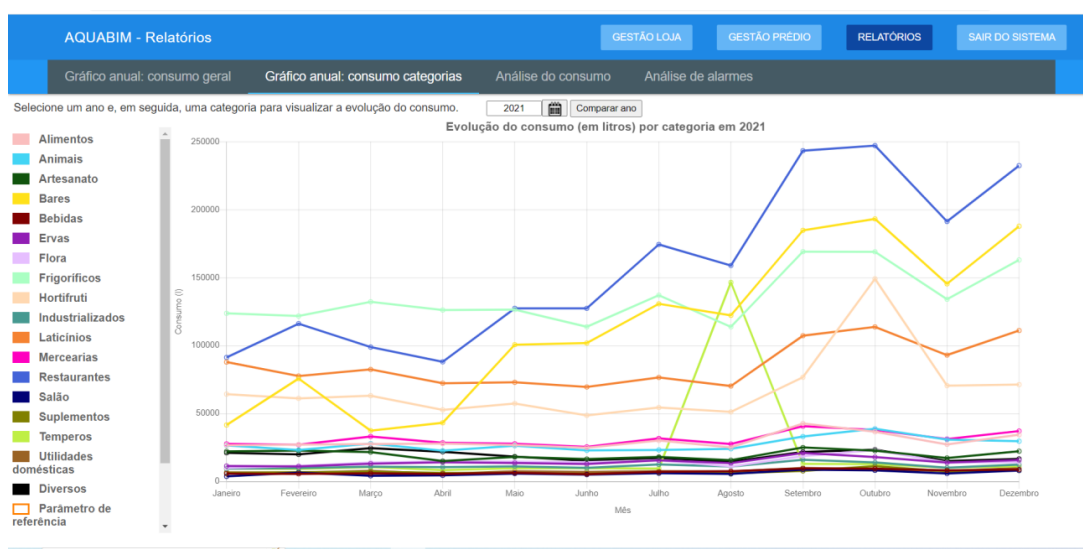
O detalhamento da análise com a evolução do consumo das categorias individualmente é apresentado nas Figuras 33 e 34. Nota-se que as categorias que dependem do fluxo de pessoas como bares e restaurantes sofreram os maiores declínios e também aquelas que continuaram o funcionamento, mesmo que somente no modo de entrega. Isso pode ser visto em suplementos, utilidades domésticas, mercearias, temperos e ervas. O reflexo está em relação as porcentagens dos consumos pelas faixas estabelecidas.

Figura 33 - Evolução do consumo de água por categoria no Mercado Central no ano 2020



Fonte: Elaborada pela Autora.

Figura 34 - Evolução do consumo de água no Mercado Central no ano 2021



Fonte: Elaborada pela Autora.

A captação *on-line* dos dados de consumo pelos medidores inteligentes e as informações fornecidas pelo modelo BIM permitem a caracterização atualizada do consumo, fatores que servem para melhorar os processos de fiscalização e de controle do consumo de água. Essas funcionalidades autorizam o administrador elaborar planos estratégicos e propor ações proativas como, por exemplo, implementação de campanhas de consumo consciente.

A especificidade dos dados permite direcionar intervenções de abrangência geral ou para categorias, ou mesmo para lojas, específicas. Adicionalmente, promove incentivos para revisão de processos nos estabelecimentos, que representem os maiores excessos de consumo.

A gestão da água faz parte do escopo do gerenciamento das instalações em edificações. De acordo com a norma ISO 41001 sobre Gestão de Instalações (*Facility Management*), é preciso planejar, implementar, monitorar parâmetros e propor ações para atingir melhores desempenhos, processos que estão incorporados nas funcionalidades do AquaBIM. Essas funcionalidades possibilitaram a coleta sistemática de dados de consumo associada às informações da edificação no modelo BIM para promover a gestão de consumo sustentável da edificação. O estudo analisou cerca de 2,8 milhões de leituras de consumo no período de um ano. A atualização constante desse banco de dados é importante, pois constitui uma base de informações para determinar indicadores de consumo e gerar análises customizadas baseadas na operação da edificação. A metodologia implementada nessa pesquisa para a gestão de instalações (FM) utilizando a integração BIM-IoT representa uma evolução para a gestão da água em edificações.

7 CONTRIBUIÇÕES DA METODOLOGIA

Durante a aplicação do AquaBIM, foram identificadas contribuições relevantes para uma gestão dos edifícios. Algumas podem ser destacadas, como a importância de definir indicadores de consumo sustentável por categoria de atividade, a identificação de padrões temporais de consumo para algumas categorias, o cumprimento de critérios para reivindicar uma certificação de sustentabilidade, como o AQUA-HQE, a gestão interativa das instalações do edifício com o modelo BIM e a análise dos relatórios emitidos, que permitem avaliar e interpretar os consumos do edifício.

7.1 Determinação de indicadores

O cálculo dos indicadores considera os critérios estabelecidos na metodologia. A tabela 4 detalha os valores de consumo, área e unidades dentro de cada categoria.

Tabela 4 – Detalhamento dos números internos para as categorias no ano 2019

	Número de lojas	Área (m ²)	Consumo total (L)	Consumo L/m ²
Alimentos	24	469	847.415	1.807
Animais	11	273	755.358	2.767
Artesanato	47	474	702.565	1.482
Bares	15	280	3.257.774	11.635
Bebidas	9	181	190.080	1.050
Ervas	19	272	308.924	1.136
Flora	7	145	254.033	1.752
Frigoríficos	12	374	4.096.490	10.953
Hortifruti	25	266	1.849.328	6.952
Industrializados	29	599	227.286	379
Laticínios	36	543	2.826.625	5.206
Mercearias	20	575	785.571	1.366
Restaurantes	20	275	3.936.026	14.313
Salão	5	94	208.466	2.218
Suplementos	21	370	227.433	615
Temperos	17	197	275.083	1.396
Utilidades domésticas	22	371	216.761	584
Diversos	15	362	383.717	-

Fonte: Elaborada pela autora.

Os indicadores de consumo sustentável de água calculados por categoria de atividade no Mercado Central para o ano de 2019 são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5- Indicador de consumo sustentável de água por categoria de atividade

Categorias de atividades	Indicadores de consumo de água sustentável
	(L/m ² /Month)
Bares	1402
Salões/ Barbearias	239
Artesanato	41
Laticínios	553
Alimentos	182
Bebidas	114
Floricultura	183
Mercearias	154
Ervas	148
Hortifrúti	758
Utilidades domésticas	84
Industrializados	50
Animais	437
Frigoríficos	1027
Restaurantes	1261
Temperos	256
Suplementos	94

Fonte: Elaborada pela autora.

Os indicadores de consumo sustentável de água propostos foram compatíveis com os critérios definidos na metodologia de acordo com as características das atividades. Indicadores confiáveis foram importantes para a gestão dar conta de informações para apoiar a tomada de decisões de sustentabilidade (HÖRISCH *et al.*, 2015).

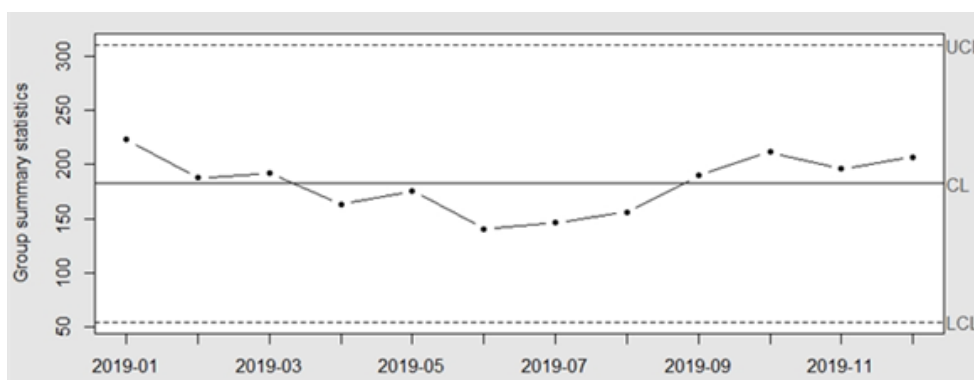
Os indicadores de consumo calculados serviram para subsidiar as análises de consumo sustentável realizadas nesta pesquisa. A base da metodologia de definição desses indicadores poderia ser generalizada para aplicação em estudos de sustentabilidade semelhantes de outros tipos de consumo.

7.2 Identificação de padrões temporais de consumo

O estudo estatístico, incluído nesta pesquisa para determinar indicadores de consumo sustentável, produziu resultados que permitiram identificar padrões temporais de consumo ao longo do ano em algumas categorias. O consumo anual de diferentes categorias de atividade foi agrupado em três padrões temporais de consumo, conforme descrito a seguir:

Padrão 1 – Algumas atividades apresentam um padrão de consumo com tendências para variações ao longo do ano, conforme gráfico da Figura 35. No início do ano (janeiro a junho), o consumo apresenta tendência de queda, mantendo-se estável no meio do ano (junho a agosto) e tende a aumentar nos últimos quatro meses (setembro a dezembro). O consumo de água é maior nos meses mais quentes do ano e menor nos meses mais frios, indicando uma correlação entre o consumo de água dessas atividades e as condições climáticas. As categorias de atividade animais, alimentos, industrializados, artesanatos são exemplos desse padrão.

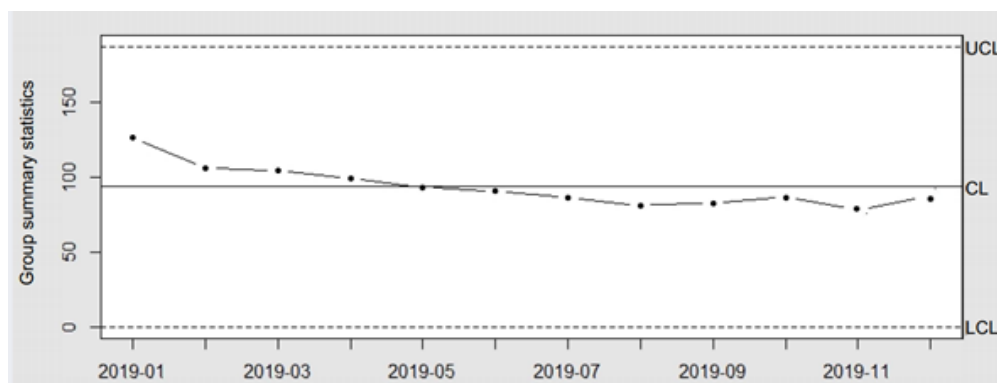
Figura 35- Padrão 1 da análise dos dados do consumo de água



Fonte: Elaborada pela Autora.

Padrão 2 – Este padrão foi apresentado por algumas categorias de atividade para as quais o consumo é maior no início do ano, com tendência de queda contínua (Figura 36). O gráfico mostra uma linha descendente separada pelo indicador de consumo sustentável em duas regiões distintas. Os períodos de consumo acima e abaixo do indicador sustentável são proporcionais ao longo do ano. O consumo das atividades de Mercado de Carnes e Suplementos mostra esse padrão.

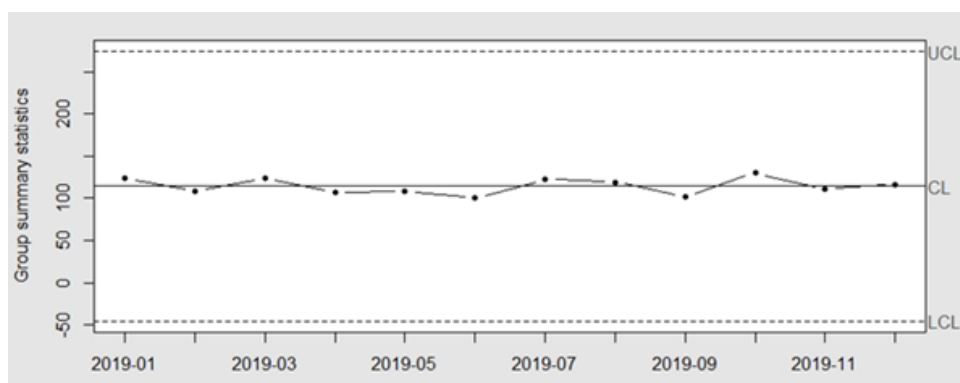
Figura 36 – Padrão 2 da análise dos dados do consumo de água



Fonte: Elaborada pela Autora.

Padrão 3 – Algumas categorias apresentaram um padrão com pouca variação no consumo ao longo do ano (Figura 37), que se manteve próximo do indicador de sustentabilidade, indicando estabilidade no consumo. As categorias de atividade Bebidas, Ervas, Comestíveis, Restaurantes, Salão de beleza/Barbearia mostram esse padrão.

Figura 37- Padrão 3 da análise dos dados do consumo de água



Fonte: Elaborada pela Autora.

A detecção de padrões de consumo por meio da análise da evolução do consumo no Mercado Central é uma importante contribuição desta pesquisa, pois permite o planejamento de ações estratégicas de acordo com as características sazonais de consumo das categorias de atividades para as quais é possível prever picos de consumo ao longo do ano.

7.3 Certificação de sustentabilidade AQUA-HQE

As análises de consumo de água realizadas pelo AquaBIM permitiram avaliar de forma objetiva os critérios relativos à categoria “Água” da certificação francesa de sustentabilidade HQE, que promove boas práticas na busca da qualidade de gestão sustentável durante o ciclo de vida (construção, operação e reforma) de edifícios comerciais e não comerciais.

A presente pesquisa utiliza como referência o documento técnico Guia Prático AQUA-HQE - Edificações em operação - Gestão sustentável. Neste guia, os critérios de certificação estão divididos em 14 categorias (Terreno, Componentes, Obra, Energia, Água, Resíduos, Manutenção, Conforto higrotérmico, Conforto acústico, Conforto visual, Conforto olfativo, Qualidade dos espaços, Qualidade do ar e Qualidade de Água). A categoria “Água” foi utilizada como modelo nesta pesquisa, na busca por uma gestão de sustentabilidade que pudesse atender alguns dos seguintes requisitos para a certificação HQE [74]: conhecer o consumo de água da edificação em um período de referência; reduzir o consumo de água do edifício; limitar o risco de vazamentos de água; otimizar as leituras de consumo; analisar regularmente o consumo de água; otimizar a manutenção dos equipamentos de gestão da água e garantir o acompanhamento das demandas em relação ao conforto olfativo.

A gestão do Mercado Central com o AquaBIM mostra os resultados das análises que atendem aos cinco primeiros requisitos apresentados anteriormente.

A exigência de conhecer o consumo da edificação foi atendida pelo AquaBIM com leituras automáticas de consumo a partir de medidores inteligentes. Adicionalmente, a determinação e aplicação de indicadores sustentáveis definiram faixas de consumo para categorias de atividades por meio de análises realizadas em períodos de 12 meses.

Os resultados foram consolidados em relatórios emitidos pelo AquaBIM, cujas informações permitem a adoção de medidas de controle e redução do consumo de água. Os resultados da análise de consumo são usados para definir metas e políticas de austeridade e também para propor incentivos para mitigar os impactos de excessos e vazamentos. Os resultados mostram um Mercado Central com potencial significativo para aprimorar sua gestão em busca de maior sustentabilidade. O consumo excedente estimado de 3.750 m³ por ano corresponde a 15,45% do consumo global do edifício. Essa porcentagem representa um potencial de economia equivalente à mais alta das três porcentagens de certificação HQE exigidas, que é o nível de melhor prática. Uma gestão planejada com ações voltadas à redução do consumo de água poderia, por exemplo, ter como objetivo obter uma certificação

internacional de sustentabilidade como o AQUA-HQE.

A emissão de alarmes em tempo real para monitorar o consumo fora do padrão é uma característica do AquaBIM, que atende a exigência de certificação para controle e monitoramento de vazamentos. Relatórios são emitidos onde as informações sobre ocorrências de alarme podem ser analisadas para a ação apropriada.

A leitura do consumo em tempo real pelos medidores inteligentes é uma forma de otimizar a leitura do consumo, conforme exigido pelo HQE. Estas leituras são transferidas para o AquaBIM, no qual se cumpre a exigência de analisar regularmente os consumos e a interpretação desses dados permitem a gestão sustentável do edifício.

Em conclusão, a obtenção de informações pertinentes para a gestão da água por meio de práticas convencionais apresenta desafios significativos, o que tem impulsionado a exploração de fontes e métodos alternativos. A gestão da água em edifícios é caracterizada por informações imprecisas baseadas em faturas mensais (DEOREO *et al.*, 1996). No entanto, o uso de tecnologias digitais está começando a modificar esse cenário. A análise dos dados dos medidores inteligentes permitiu a desagregação do consumo, o que possibilitou a parametrização do consumo final de água em edifícios não residenciais.

AquaBIM se destaca ao fornecer análises por meio de uma plataforma web. Segundo uma revisão bibliográfica conduzida por Wagner *et al.* (2020), a visualização em 3D BIM aliada a dados não geométricos é a representação mais adequada as pesquisas destinadas para auxiliar profissionais não especialistas. Outro avanço é reforçado por Quinn *et al.* (2020), em relação ao uso da ferramenta, é o progresso no gerenciamento de edificações hospedadas na nuvem.

8 CONCLUSÃO

O problema da escassez hídrica tem motivado pesquisadores, organizações e governos para pesquisas de inovações do uso racional da água, em busca de uma distribuição adequada entre os setores de atividades. Medidas de incentivo e de controle do consumo racional do recurso hídrico se tornaram imprescindíveis para todos os setores da sociedade, inclusive o residencial e comercial. Nesse contexto, o gerenciamento do consumo predial da água, que é o objeto desta pesquisa, é uma importante diretriz para a concepção de edificações sustentáveis.

Dispositivos IoT, como os medidores inteligentes utilizados, entregam novas perspectivas para o desenvolvimento de pesquisa em diversos campos e a indústria de AECO se tornou uma das maiores protagonistas desse novo paradigma.

Os resultados mostraram, por exemplo, que o Mercado Central tinha potencial para economizar aproximadamente 15% do seu consumo anual.

Embora o escopo do trabalho tenha se limitado aos parâmetros de consumo de água em edifícios comerciais, a metodologia proposta tem um escopo muito mais amplo para outros tipos de consumo.

Em relação a pesquisas futuras, a metodologia deste trabalho pode fornecer uma perspectiva de extensão e generalização. Categorias de atividades de edifícios semelhantes podem ser incluídas para a aplicação do AquaBIM. Diversas tipologias e atividades exigirão que os conceitos metodológicos propostos nesta pesquisa sejam adaptados e adequados às suas necessidades. A extensão da metodologia para generalizar o conceito de energia e abranger estudos sobre consumo e sustentabilidade de outros recursos, como eletricidade e gás, indicam um horizonte promissor para pesquisas inovadoras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AALTONEN, A.; MAATTANEN, E.; RIIKKA KYRÖ, R.; SARASOJA, A.L. **Facilities management driving green building certification: a case from Finland.** *Facilities*, 31, pp. 328-342, 2013.
- ABDELALIM, A.; O'BRIEN, W.; SHI, Z. **Data visualization and analysis of energy flow on a multi-zone building scale.** *Autom. Constr.*, 84, pp. 258–273, 2017.
- ALMEIDA JUNIOR. **Estudo sobre a satisfação dos usuários serviço de transporte público coletivo prestado pela empresa viação cidade Corumbá ao município de Corumbá/MS.** *Revista Geo Pantanal*, 23, pp. 215-230. Jun/dez 2017
- ALTAF, M.S.; BOUFERGUENE, A., LIU, H; *et al.* **Integrated production planning and control system for a panelized home prefabrication facility using simulation and RFID.** *Automation in Construction*, 85, pp. 369–383, 2018.
- ANA, Agência Nacional de águas e Saneamento básico. **Conjuntura Brasil recursos hídricos.** Disponível em <https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/usos-da-agua>. Acessado em 10/04/2022
- ÂNGULO, S. C.; ZORDAN, S. E.; JOHN, V. M. **Desenvolvimento sustentável e a reciclagem de resíduos na construção civil.** IV Seminário Desenvolvimento Sustentável e a reciclagem da construção civil: materiais reciclados e suas aplicações - CT 2006-IBRACON. São Paulo, 2001.
- ANTZOULATOS, G.; MOURTZIOS, C.; STOURNARA, P.; KOULOGLOU, I.-O.; *et al.* **Making urban water smart: The SMART-WATER solution.** *Water Sci. Technol.*, 82, pp.2691–2710, 2020.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. **The Internet of Things: A survey.** Catania: Computer Networks, 2010.
- ATKIN, B; Brooks, A. Total. **Facilities Management.** Wiley and Blackwell, Hoboken, NJ, 2021.
- AUTODESK. **Cloud-based developer tools from Autodesk.** Disponível em: <https://forge.autodesk.com/>. Acesso em: 19/03/2020, 2020.
- AZHAR, S. **Building information modelling (BIM): Now and beyond.** *AJCEB*, 12, pp. 15-28, 2012.
- BARRETT, P. **Achieving strategic facilities management through strong relationships.** *Facilities*, Vol. 18 Nos 10- 12, pp. 421-426, 2000.
- BECERIK-GERBER, B.; JAZIZADEH, F.; LI, NAN; CALIS, G. **Application areas and data requirements for BIM-enabled facilities management.** *J. Constr. Eng. Manag.*, 138, 3, pp. 431–442, 2012
- BERNARDI, E.; CARLUCCI, S.; CORNARO, C.; BOHNE, R.A. **An Analysis of the Most**

Adopted Rating Systems for Assessing the Environmental Impact of Buildings. Sustainability, 9, 1226, 2017.

BILAL, M.; OYEDELE, L.; QADIR, J; MUNIR, K.; AJAYI, *et al.* **Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends.** Advanced Engineering Informatics, 30, pp 500–521, 2016.

BONCI, A; CARBONARI, A.; CUCCHIARELLI, A.; MESSI, L.; PIRANI, M.; VACCARINI, M. **A cyber-physical system approach for building efficiency monitoring.** Autom. Constr., 102, pp. 68–85, 2019.

BOYLE, T., GIURCO, D., MUKHEIBIR, P., LIU, A., MOY, C., WHITE, S. AND STEWART, R. **Intelligent metering for urban water: A review.** Water, 3, pp. 1052-108, 2013.

BOSCH A.; VOLKER, L.; KOUTAMANIS, A. **BIM in the operations stage: bottlenecks and implications for owners.** Built Environ. Project Asset Manag., 5, pp.331–343, 2015.

BRAGA, L.C; BRAGA, A.R; BRAGA, C.M.P. **On the characterization and monitoring of building energy demand using statistical process control methodologies.** Energy and Buildings, 65, pp. 205–219, 2013.

BREARS, R.C. **Demand management to achieve urban water security.** Urban Water Security. New York: John Wiley & Sons, pp. 60-85, 2017.

BREARS, R. C. **Introduction. In: Urban Water Security.** New York, cap. Introduction, p. 1-4. Wiley On-line Books, 2017.

BRITTON, T.; COLE, G.; STEWART, R.; WISKAR, D. **Remote diagnosis of leakage in residential households.** Water (Australian Water Association) 2008, 35, 56–60.

CARVALHO, J.P.; BRAGANÇA, L.; MATEUS, R. **Optimising building sustainability assessment using BIM.** Automation in Construction, 102, pp.170–182, 2019.

CHEN, H. *et al.* **Development of BIM, IoT and AR/VR technologies for fire safety and upskilling.** Automation in Construction, 125, 103631, 2021.

CHEW, M.Y.L., CONEJOS, S.; ASMONE, A.S, **Developing a research framework for the green maintainability of buildings,** Facilities, 35, pp. 39-63, 2017.

CHEN, F.; DENG P; WAN J, ZHANG D, VASILAKOS AV, RONG X. **Data Mining for the Internet of Things: Literature Review and Challenges.** International Journal of Distributed Sensor Networks, 30, ID 431047, 2015.

CHOTIPANICH. S. **Positioning facility management.** Facilities, 2 ,13/14, pp.364–372, 2004.

CLARKE, J. A.; HENSEN, J. L. M. **Integrated building performance simulation: Progress, prospects and requirements.** Building and Environment, v. 91, p. 294-306, 9// 2015.

COMINOLA, A.; GIULIANI, M.; PIGA, D.; CASTELLETTI, A.; RIZZOLI, A.E. **Benefits and challenges of using smart meters for advancing residential water demand modeling and management: A review.** *Environ. Model. Softw.*, 72, pp. 198-214, 2015

CONCEIÇÃO, K.Z.D.; VILAS BOAS, M.A.; SAMPAIO, S.C.; REMOR, M.B.; BONAPARTE, D.I. **Statistical control of the process applied to the monitoring of the water quality index,** *Engenharia Agrícola*, 38, 2018.

COSENTINO, L.; BORGES, M. **Panorama da sustentabilidade na construção civil: da teoria à realidade do mercado Overview of sustainability in construction: From theory to market reality.** ENSUS – Encontro de Sustentabilidade em Projeto. Florianópolis - Brasil, 2016.

DAISSAOUI, A.; *et al.* **IoT and Big Data Analytics for Smart Buildings: A Survey.** *Procedia Computer Science* ,170, pp.161-168, 2020.

DAVE, B.; BUDA, A.; NURMINEN, A.; FRÄMLING, K. **A framework for integrating BIM and IoT through open standards.** *Automation in Construction*, 95, 35–45, 2018.

DAVILA, D.J.M.; OYEDELE, L.; DEMIAN, P.; BEACH, T. **A research agenda for augmented and virtual reality in architecture, engineering and construction.** *Adv.Eng. Inform.* 45, pp. 1–21, 2020.

DIKAKI, C.; GRIGOROUDIS, E.; KOLOKOTSA, D. **Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings.** *Energy and Buildings*, 40, n. 9, pp. 1747-1754, 2008.

DÍAZ-VILARIÑO, L. *et al.* **Indoor daylight simulation performed on automatically generated as-built 3D models.** *Energy and Buildings*, 68, Part A, pp. 54-62, 2014.

DIXIT, M.K.; VENKATRAJ, V.; OSTADALIMAKHMALBAF, M.; PARIAFSAI, F.; LAVY, S. **Integration of facility management and building information modeling (BIM) A review of key issues and challenge.** *Facilities*, pp. 455-483, 2019.

DRESCH, A. **Design Science e Design Science Research como Artefatos Metodológicos para Engenharia de Produção.** (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, Univ. do Vale do Rio dos Sinos- UNISINOS, São Leopoldo, 184 p, 2013.

DUERR, I.; MERRILL, H.R.; WANG, C.; BAI, R.; BOYER, M.; DUKES, M.D.; BLIZNYUK, N. **Forecasting urban household water demand with statistical and machine learning methods using large space-time data: A Comparative study.** *Environ. Model. Softw.*, 102, pp. 29–38, 2018.

DURMUSOGLU, A. **Updating technology forecasting models using statistical control charts,** *Kybernetes*, 47, pp. 672-688, 2018.

EASTMAN, C.; TEICHOLZ, P.; SACKS, R.; LISTON, K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** 2nd ed., John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, 2011.

EGGIMANN, S.; MUTZNER, L.; WANI, O., SCHNEIDER, M.Y.; SPUHLER, D., MOY DE VITRY, M.; BEUTLER, P. M. **The potential of knowing more: A review of data-driven urban water management** *Env. Sci. Tec.*, 51, pp. 2538-2553, 2017.

ELEVLI, S.; UZGÖREN, N.; BINGÖL, D.; ELEVLI, B. **Drinking water quality control: control charts for turbidity and pH.** *Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development*. 6, n. 4, p. 511-518, 2016.

ELGHAISH, F.; HOSSEINI, M.R; MATARNEH, S.; TALEBI, S.; SONG WU, S.; MARTEK, I.; POSHDAR, M.; GHODRATI, N. **Blockchain and the 'Internet of Things' for the construction industry: research trends and opportunities.** *Automation in Construction*, 132,103942, 2021.

ELGHAISH,R.; ABRISHAM,S.; HOSSEINI,R. **Integrated project delivery with blockchain: An automated financial system.** *Automation in Construction*,114 ,103182, 2020.

ELMUALIM, A., CZWAKIEL, A.; VALLE, C.R; LUDLOW, G.; SHAH, S. **Barriers for implementing sustainable facilities management.** In: World sustainable building conference, Melbourne, Australia; 21–25 September, 2008.

FAO (UN Food Agric. Organ). **AQUASTAT—FAO's global information system on water and agriculture.** Food and Agricultural Organization of the United Nations. Disponível em: <http://www.fao.org/nr/water/aquastat/main/index.stm>. Acessado em 13/08/2021

FELICIANO, J.F.; ARSÊNIO, A.M.; JOANA CASSIDY, J.; SANTOS, A.R; GANHÃO, A. A. **Knowledge Management and Operational Capacity in Water Utilities, a Balance between Human Resources and Digital Maturity—The Case of AGS.** *Water*, 13, 3159, 2021.

FIELDING, K. S.; SPINKS, A.; RUSSELL, S.; MCCREA, R. *et al.* **An experimental test of voluntary strategies to promote urban water demand management.** *Journal of Environmental Management*, 114, pp. 343-351, 2013.

FLORES, R. A. ENEDIR GHISI, E. **Water Benchmarking in Buildings: A Systematic Review on Methods and Benchmarks for Water Conservation.** *Water*, 2022, 14, pp. 473, 2022.

FREITAS, L. L. G.; HENNING, E.; KALBUSCH, A.; KONRATH, A. C. *et al.* **Analysis of water consumption in toilets employing Shewhart, EWMA, and Shewhart-EWMA combined control charts.** *Journal of Cleaner Production*, 233, pp. 1146-1157, 2019

GAMIL, Y.; ABDULLAH, M.; RAHMAN, I.; ASAD, M. **Internet of things in construction industry revolution 4.0: Recent trends and challenges in the Malaysian context.** *Journal of Engineering, Design and Technology*, January 2020.

GAO, X; PISHDAD-BOZORGI, P. **BIM-enabled facilities operation and maintenance: A review.** *Adv. Eng. Inform*, 39, pp. 227-247, 2019.

GALAMBA, K.R; NIELSEN, S.B. **Developing a research framework for the green maintainability of building**. *Facilities*, 2017, pp. 39-63, 2017.

GENG, Y.; JI, W.; WANG, Z.; LIN, B.; ZHU, Y. **A review of operating performance in green buildings: Energy use, indoor environmental quality and occupant satisfaction**. *Energy and Buildings*, 183, pp. 500-514, 2019.

GEORGIADOU, M. C. **Strategies and techniques to future-proof the energy performance of housing developments**. *International Journal of Energy Sector Management*, 6, n. 2, p. 160-174, 2012.

GHAFFARIANHOSEINI, A.; ZHANG, T.; NAISMITH, N.; NWADIGO, O. **ND BIM-integrated knowledge-based building management: Inspecting postconstruction energy efficiency**. *Automation in Construction*, 97, pp.13-28, 2019.

GLEICK, P.H; PALANIAPPAN, M. **Peak water limits to freshwater withdrawal and use**. *PNAS* 107,11155, 2010.

GLEICK, P.H, COOLEY, H. *Annu. Rev. Environ. Resour.*, 46, pp. 319-348, 2021.

GLEICK, P.H. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 28, pp.275–314, 2003.

GLEICK, P. H. **Transitions to freshwater sustainability**. *PNAS*.115, 36, pp. 8863-8871, 2018.

GONÇALVES, R.F. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES, 2006;

GOURMELON, N.; BAYER, S.; MAYLE, M.; BACH, G.; BEBBER, C.; MUNCK, C.; SOSNA, C.; MAIER, A. **Implications of Experiment Set-Ups for Residential Water End-Use Classification**. *Water*, 13, pp. 236, 2021.

GOODRUM P.M.; MCLAREN M.A; DURFEE, A. **The application of active radio frequency identification technology for tool tracking on construction job sites**. *Autom. Constr.*,15, 3, pp. 292–302, 2006.

GUBBI, J.; BUYYA, R.; MARUSIC, S.; PALANISWAMI, M. **Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions**. *Futur. Gener. Comput. Syst.* 29, 2013, pp.1645–1660

GÜRSEL, I. **CLIP - Computational support for lifecycle integral building performance assessment**. PhD, Faculty of Architecture, Delft University of Technology, 2010.

GRIGOLETTI, G. D. C.; SATTLER, M. A. **Estratégias ambientais para indústrias de cerâmica vermelha do Estado do Rio Grande do Sul**. *Ambiente Construído*, 3, pp.19-32, 2003.

GUNATILAKE, S. **Built environment sustainability: what's new and what's next?**. *Built Environment Project and Asset Management*, 8, n. 5, p. 430-433, 2018.

HA, I.; KIM, H.; PARK, S.; KIM, H. **Image retrieval using BIM and features from**

pretrained VGG network for indoor localization. *Build. Environ.*,140, pp. 23–31, 2018.

HABIBI, S. **The promise of BIM for improving building performance.** *Energy and Buildings*,153, pp. 525-548, 2017.

HAMELINK, C.J. **New information and communication technologies, social development and cultural change.** United Nations Research Institute for Social Development (UNRISD) Discussion Paper No.86, United Nations, Geneva, Switzerland, 1997.

HERING, G.; WAITE, T.D.; LUTHY, R.G.; DREWES, J.; SEDLAK, D.L. **A changing framework for urban water systems.** *Env. Sci. Tec.*,47, pp. 10721-10726, 2013

HEVNER, A.R. **A Three Cycle View of Design Science Research.** *Scand. J. Inf. Syst.*, 19, pp.87–92, 2007.

HILAL, M.; MAQSOOD, T.; ABDEKHODAEI, A. **A scientometric analysis of BIM studies in facilities management.** *International Journal of Building Pathology and Adaptation*, 37, n. 2, pp. 122-139, 2019.

HONG, T.; KOO, C.; KIM, J.; LEE, M.; JEONG, K. **A review on sustainable construction management strategies for monitoring, diagnosing, and retrofitting the building's dynamic energy performance: Focused on the operation and maintenance phase.** *Applied Energy*, 155, p.671-707, 2015.

HÖRISCH, J.; ORTAS, E.; SCHALTEGGER, S.; ÁLVAREZ, I. **Environmental effects of sustainability management tools: A empirical analysis of large companies.** *Ecological Economics*,120, pp. 241-249, 2015.

HU, S.; CORRY, E.; CURRY, E.; WILLIAM; TURNER, J.N; O'Donnell, J. **Building performance optimisation: A hybrid architecture for the integration of contextual information and time-series data.** *Autom. Constr.*, 70, pp. 51–61, 2016.

HUNT, V.D.; PUGLIA, A.; PUGLIA M. **RFID—A Guide to Radio Frequency Identification**, Wiley-Interscience, 2007.

HQE. **Guia prático AQUA-HQE™ Edifícios em operação gestão sustentável Referencial Técnico – Gestão Sustentável**, Brasil. Disponível em: <https://vanzolini.org.br/aqua/certificacao-aqua-hqe/>. Acessado em 24/03/20.

HUNHEVICZ, J.J; MOTIE, M; HALL. D.M, 2022. **Digital building twins and blockchain for performance-based (smart) contracts.** *Automation in Construction*, 133, 103981, 2022

IBEM, O. E.; LARYEA, S. **Survey of digital technologies in procurement of construction projects.** *Automation in Construction*, 46, pp.11–21, 2014.

IFMA-INTERNATIONAL FACILITY MANAGEMENT ASSOCIATION. In. **What is FM.** Disponível em: <https://www.eurofm.org/index.php/what-is-fm>. Acessado em 09/10/2018.

IGLESIAS, C.; SANCHO, J.; PIÑEIRO, J.I.; MARTÍNEZ, J.; PASTOR, J.J.; TABOADA, J. **Shewhart-type control charts and functional data analysis for water quality analysis based on a global indicator**. *Desalination and Water Treatment*, 57, pp. 2669-2684., 2016.

INMAN, D.; JEFFREY, P. **A review of residential water conservation tool performance and influences on implementation effectiveness**. *Urban Water*, 3, pp.127–143, 2006.

ISO 41011. **International Organization for Standardization**. Facility management — Vocabulary, 2017.

ISO 41001. **International Organization for Standardization**. Facility management – Management systems – Requirements with guidance for use, 2018.

JEOUNG, J.; JUNG, S; HONG, T.; CHOI, JUN-KI. **Blockchain-based IoT system for personalized indoor temperature control**. *Automation in Construction*, 140, 104339, 2022.

JIANG, F.; MA, L.; BROYD, T.; KE CHEN, K. **Building digital twins of existing highways using map data based on engineering expertise**. *Automation in Construction*, 134, 104081, 2022.

JIANG, Y; LI, M.; LI, M.; LIU, X.; ZHONG, R.Y.Z; PAN, W.; HUANG, G.Q. **Digital twin-enabled real-time synchronization for planning, scheduling, and execution in precast on-site assembly**. *Automation in Construction*, 141, 104397, 2022.

JOBLOT, L.; PAVIOT, T.; DENEUX, D.; LAMOURI, S. **Building Information Maturity Model specific to the renovation sector**. *Automation in Construction*, 101, pp.140-159, 2019.

KAEWUNRUEN, S., LIAN Q. **Digital twin aided sustainability-based lifecycle management for railway turnout systems**. *Journal of Cleaner Production*, 228, pp.1537-1551, 2019.

KANAN, R.; ELHASSAN, O.; BENSALAM, R. **An IoT-based autonomous system for workers' safety in construction sites with real-time alarming, monitoring, and positioning strategies**. *Automation in Construction*, v. 88, p. 73-86, 2018.

KANTERS, J.; HORVAT, M.; DUBOIS, M.-C. **Tools and methods used by architects for solar design**. *Energy and Buildings*, 68, Part C, pp. 721-731, 2014.

KAPOGIANNISA, G.; GATERELLB, M.; OULASOGLUC. **Identifying uncertainties toward sustainable projects**. *Procedia Engineering* 118, pp.1077 – 1085, 2016.

KASSEM, M.; AMORIM, S. R. L. *Dialogos Setoriais para BIM Building Information Modelling no Brasil e na União Europeia*. *BIM Building Information Modelling No Brasil e na União Europeia: cooperação MDIC/UE*: 162 p. 2015.

KELLY, G.; SERGINSON, M., LOCKLEY, S., DAWOOD, N. *et al.* **BIM for facility management: A review and a case study investigating the value and challenges**. In: *Proceedings of the 13th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality*, London, 2013.

KIBERT, C. **Establishing principles and a model for sustainable construction**. CIB TG 16, Sustainable Construction, Tampa, Florida, USA, November, 1994.

KIM, S.A.; SHIN, D.; CHOE, Y.; SEIBERT, T.; P. WALZ, S.P. **Integrated energy monitoring and visualization system for Smart Green City development: Designing a spatial information integrated energy monitoring model in the context of massive data management on a webbased platform**. Automation in Construction, 22, pp. 51-59, 2012.

KOCHOVSKI, P.; STANKOVSKI, V. **Supporting smart construction with dependable edge computing infrastructures and applications**. Autom Constr., 85, pp. 182–192, 2018.

KÖKSAL, G.; BATMAZ, I.; TESTIK, M. C. **A review of data mining applications for quality improvement in manufacturing industry**. Expert Systems with Applications, 38, 2011, pp.13448-13467.

KWIATEK, C.; SHARIFA, M.; LIB, S; HAASA, C.; WALBRIDGEA, S. **Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction**. Automation in Construction ,108, 102935, 2019.

LAWRENCE, T. M.; WATSON, R. T.; BOUDREAU, M.-C.; JOHNSEN, K. et al. **A new paradigm for the design and management of building systems**. Energy and Buildings, 51, pp. 56-63, 2012.

LI, Y.; KUBICKI, S.; GUERRIERO, A.; REZGUI, Y. **Review of building energy performance certification schemes towards future improvement**. Renewa.Sust. Ener.Rev., 113, 109244, 2019.

LIU, A.; GIURCO, D.; MUKHEIBIR, P. **Urban water conservation through customised water and end-use information**. Journal of Cleaner Production, 112, pp. 3164-3175, 2016.

LIU, S.; MENG, X.; TAM, C. **Building information modeling based building design optimization for sustainability**. Energy and Buildings, 105, pp. 139-153, 2015.

LIU, A.; MUKHEIBIR, P. **Digital metering feedback and changes in water consumption – A review**. Resources, Conservation and Recycling, 134, pp. 136-148, 2018.

LU, Q.; XIE, X.; HEATON, J; PARLIKAD, A.K.; SCHOOLING, J. **BIM towards digital twin: Strategy and future development for smart asset management**. in: Service Oriented, Holonic and Multi-Agent Manufacturing Systems for Industry of the Future vol. 853, Springer International Publishing, Cham, 2020, pp. 392–404, 2020.

MA, Z. *et al.* **Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art**. Energy and Buildings, 55, pp. 889-902, 2012.

MACCARTHY, B.L. **A review of non-standard applications of statistical process control (SPC) charts**. International Journal of Quality & Reliability Management, 19, pp. 295-320, 2002.

MACITİLAL, S.; GÜNAYDIN, H. M. **Computer representation of building codes for automated compliance checking**. Automation in Construction, 82, pp. 43-58, 2017.

MALSAM, W. **Proof of Concept: Definition & Best Practices**, 2019. Disponível em: <https://www.projectmanager.com/blog/proof-of-concept-definition>. Acessado em: 04/02/2021.

MAROCCO, MARCO; GAROFOLO, ILARIA. **Integrating disruptive technologies with facilities management: A literature review and future research directions**. Automation in Construction, 131, 103917, 2021.

MATALOTO, B.; CALÉ, D.; CARIMO, K.; FERREIRA, J.C.; RESENDE, R. **3D IoT System for Environmental and Energy Consumption Monitoring System**. Sustainability, 13, 1495, 2021.

MATTAR, F. N. **Pesquisa em marketing**. Ed Atlas, 347, São Paulo, 2008

MAYER, P.W., DEOREO, W.B. **Residential End Uses of Water**. AWWA Res. Found., Denver, Colo, 1999.

MAYER-SCHÖNBERGER, V; CUKIER, K. **Big Data: A Revolution that Will Transform How We Live, Work, and Think**. Eamon Dolan/Houghton Mifflin Harcourt, 2013.

MINERVA, R; A. BIRU, D. R. TOWARDS. **Definition of the Internet of Things (IoT)**, IEEE Internet Initiative, 1, pp. 1-86, 2015

MONKS, I.; STEWART, R.A; SAHIN, O; KELLER, R. J. **Taxonomy and model for valuing the contribution of digital water meters to sustainability objectives**. Journal of Environmental Management, 293, 112846, 2021.

MONTGOMERY, D. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**, translated by Ana Maria de Farias, Vera Regina de Farias e Flores. Original title Introduction to statistical quality control. 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012, p. 513.

MORAVEJ, M.A; RENOUF, K.L.; LAM, K.L. *et al.* **Site-scale Urban Water Mass Balance Assessment (SUWMB) to quantify water performance of urban design-technology-**

MORGENTHAL, G.; et al. Framework for automated UAS-based structural condition assessment of bridges. Automation in Construction, 97, pp.77–95, 2019.
environment configurations. Water Research 188, 116477, 2021.

MARZOLA, I.; ALVISI, S.; FRANCHINI, M. **Analysis of MNF and FAVAD Model for Leakage Characterization by Exploiting Smart-Metered Data: The Case of the Gorino Ferrarese (FE-Italy) District**. Water, 13, 643,2021.

MOTTA, S. R. F. **Sustentabilidade na construção civil: crítica, síntese, modelo de política e gestão de empreendimentos**. 122 f. Mestrado (Programa de Pós-graduação em Construção Civil) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2009.

MOUNCE, S.R.; BOXALL, J.B. **Implementation of an on-line artificial intelligence district meter area flow meter data analysis system for abnormality detection: A case study**. Water Sci. Technol. Water Supply, 10, pp.437–444, 2010.

MSAMADYA, S.; JOO, J.C.; LEE, J.M.; CHOI, J.S.; *et al.* **Role of Water Policies in the Adoption of Smart Water Metering and the Future Market.** *Water*, 14, 826, 2022

MUENCHEN, R.A. **What is R?** Disponível em: <https://www.r-project.org/about.html>. Acessado em 20/06/2020.

NAGY, A. **What the Heck Is Forge?** Disponível em: <https://www.autodesk.com/autodesk-university/class/What-Heck-Forge-2017>. Acesso em: 09/12/2019.

NASCIMENTO, E. P. D. **Trajectoria da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico.** *Estudos Avançados*, 26, pp. 51-64, 2012.

NICAŁ, A. K.; WODYŃSKIB, W. **Enhancing Facility Management through BIM 6D.**In Creative Construction Conference 2016, Budapest, Hungary. pp. 199-206, 2016

NIELSEN, S. B; SARASOJA. A; GALAMBA, K.R. **Sustainability in facilities management: An overview of current research.** *Facilities*, 34, pp. 535-563, 2016.

NIKA, C; VASILAKIA, V.; EXPÓSITO, A; KATSOU, E. **Water Cycle and Circular Economy: Developing a Circularity Assessment Framework for Complex Water Systems.** *Water Research*, 2020,187,116423, 2020.

NOVOTNY, V. **Sustainable urban water management.** In: J. Feyen, K. Shannon, and M. Neville, eds. *Water & urban development paradigms. Towards and integration of engineering, design and management approaches.* Leiden: CRC Press, pp.19–31, 2008.

NUTT, B. **Linking FM practice and research.** *Facilities*, 17 Nos 1-2, pp. 11-17, 1999.

NUTT, B. **Infrastructure and Facilities: Forging Alignments Between Supply and Demand.** *Conferences Proceeding of Future in Property and Facility Management II, A two-day International Conference*, London: University College London, 2004.

OLIFF, Harley; LIU, Ying. **Towards industry 4.0 utilizing data-mining techniques: a case study on quality improvement.** *Procedia Cirp*, v. 63, pp.167-172, 2017.

OLIVEIRA, Lúcia. **Metodologia para a implementação de programa de uso racional da água em edifícios.** Tese de doutorado USP, São Paulo, 360p, 1999.

ONU, Organizações das Nações Unidas Brasil. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Água potável e saneamento.** Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs/6>. Acessado em 10/10/2021.

OPOKU, A.; LEE, J.Y. **The Future of Facilities Management: Managing Facilities for Sustainable Development.** *Sustainability*. 14, pp.1705, 2022.

PENTTILÄ, H. **Describing the changes in architectural information technology to understand design complexity and free-form architectural expression.** *ITcon, The Effects of CAD on Building Form and Design Quality*, 11, pp. 395-408, 2006.

PALOMAR, I. J.; GARCÍA VALLDECABRES, J. L.; TZORTZOPOULOS, P.; PELLICER, E. **An on-line platform to unify and synchronise heritage architecture information.** Automation in Construction, 110, 103008, 2020.

PAROISSIN, C.; PENALVA, L.; PÉTRAU, A.; VERDIER, G. **New control chart for monitoring and classification of environmental data.** Environmetrics, 27, pp. 182-193, 2016.

PÄRN, E.A.; EDWARDS, D.J.; SING, M.C.P. **The building information modelling trajectory in facilities management: A review.** Autom. Constr., 75, pp. 45-55, 2017.

PROVOST, F.; FAWCETT, T. **Data Science for Business: What you Need to Know about Data Mining and Data-Analytic Thinking.** O'Reilly Media, Inc., 2013.

QIU, P. **Introduction to statistical process control.** Texts in statistical science series, New York: Chapman and Hall/CRC, pp. 520, 2013.

R FOUNDATION. **What is R?** Disponível em: <https://www.r-project.org/about.html>. Acessado em 20/06/2020.

RANDALL T, KOECH R. **Smart water metering technology for water management in urban areas.** AWA Water e-Journal, 2019.

RANZATO, MARCO. **Landscape elements as a basis for integrated water management.** Urban Water Journal, 14,7, pp. 694-70, 2017.

RASYS, E.; DAWOOD, N; SCOTT, D.; KASSEM, M. **Dynamic Web3D visualisation of oil & gas facility assets.** Proceedings of the 14th International Conference on Construction Applications of Virtual Reality, pp. 278–288, 2014

RIBEIRO, R., LOUREIRO, D., BARATEIRO, J., SMITH, J., REBELO, M., *et al.* **Framework for technical evaluation of decision support systems based on water smart metering: the iWIDGET case.** Procedia Engineering 119, pp.1348–1355, 2015.

RIZZOLI, A.E., CASTELLETTI, A., FRATERNALI, P. *et al.* **Demo Abstract: Smarth2O, demonstrating the impact of gamification technologies for saving water.** Comput Sci Res Dev 33, pp.275–276, 2018.

RODRIGUES, C. A. P. **Um Modelo para a Avaliação da Eficiência Hídrica em Edifícios.** Tese de doutorado 430 p, Universidade de Aveiro. Aveiro, 2015

RODRIGUES, F; SILVA-AFONSO, A; PINTO, A; MACEDO, J; SANTOS AS, PIMENTEL-RODRIGUES, C. **Increasing water and energy efficiency in university buildings: a case study.** Environ Sci Pollut Res Int, 27, 5, pp.4571-4581, 2020.

RODRIGUES, L.; DELGADO, J.M.P.Q.; MENDES, A.; LIMA, A.G.B.; GUIMARÃES, A.S. **Sustainability Assessment of Buildings Indicators.** Sustainability 2023, 15, 3403.

ROPER, K. O. **Justifying sustainable buildings – championing green operations.** Journal of Corporate Real Estate, 8, pp. 91-103, 2006.

ROMANO, M.R.; WOODWARD, K.; KAPELAN, Z. **Statistical process control based system for approximate location of pipe bursts and leaks in water distribution system.** *Procedia Engineering*, 186, pp. 236-243, 2017.

RUEPPEL, U.; STUEBBE, K. M. **BIM-Based Indoor-Emergency-Navigation-System for Complex Buildings.** *Tsinghua Science & Technology*, v. 13, n. Supplement 1, p. 362-367, 2008.

SABESP, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Hidrômetros.** Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=324>. Acessado em 08/11/ 23.

SANTOS, R., COSTAB, A.A.; SILVESTREB, J.D.; PYLA, L. **Informetric analysis and review of literature on the role of BIM in sustainable construction.** *Autom. Constr.*, 103, pp. 221–234, 2019.

SAVIC', D. **Digital Water Developments and Lessons Learned from Automation in the Car and Aircraft Industries.** *Engineering*, 9, pp.35–41, 2022.

SCRUCCA, L. **qcc: An R package for quality control charting and statistical process control.** *R News*, 1, pp. 11-17, 2004.

SILTANEN, S. **Diminished reality for augmented reality interior design.** *Vis. Comput.*, pp. 1–16, 2015.

SILVA-AFONSO, A. **Building rainwater harvesting systems. Doubts and certainties.** In CIB W062 Water supply and drainage for buildings Düsseldorf, Germany, pp.239-247, 2009.

SILVA-AFONSO, A.; PIMENTEL-RODRIGUES, C. **The importance of water efficiency in buildings in Mediterranean countries. The portuguese experience.** *International Journal of System Applications, Engineering & Development*, vol. 5, nº 2, pp. 17-24, 2011.

SILVA-AFONSO, A. **Certificação da eficiência hídrica de produtos.** In congresso lidera, 2011. Disponível em: <http://www.lidera.info/resources/silvaafonso.pdf?phpMyAdmin=77d31a787ce126bb305b5b4b9dcec31c>. Acessado 25/09/2021.

SILVA, R. T.; CONEJO, J. G. L.; GONÇALVES, O. M. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água- DTA-A1.** Secretária de Política Urbana, Brasília, pp.1- 48, 1998.

SINGH, A. **Quality control analysis of downtime and time to repair for water supply pipes.** *Built Environment Project and Asset Management*, 1, n. 1, p. 75-90, 2011.

SLOCK, N.; CHOMBERS, S.; HORLOND, C.; HARRISON, A. *et al.* **Controle Estatístico de Processo.** In: Administração da produção. Rio de Janeiro: Atlas, 2006. cap. Planejamento e controle de qualidade.

SOIBELMAN, L. A M., KI, H. **Data Preparation Process for Construction Knowledge Generation through Knowledge Discovery in Databases.** *J. Comput. Civ. Eng.*, 16,1, pp. 39-48, 2002.

STEWART, R. A.; NGUYEN, K.; BEAL, C.; ZHANG, H.; OZ SAHIN, O.; BERTONE, E.; *et al.* **Integrated intelligent water-energy metering systems and informatics: Visioning a digital multi-utility service provider.** *Envir. Model. Softw.*, 105, pp. 94 -117, 2018.

SU, Y.; GAO, W.; GUAN, D.; ZUO, T. **Achieving Urban Water Security: a Review of Water Management Approach from Technology Perspective.** *Water Resources Management* 34, pp. 4163–4179, 2020.

SUCCAR, B. **Building information modeling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders.** *Automation in Construction*, 18, 3, pp.357-375, 2008.

SUCCAR, B; KASSEM, M. **Macro-BIM adoption: Conceptual structures.** *Automation in Construction*, 57, p.64–79, 2015.

ŠULYOVÁ, D.; VODÁK, J; KUBINA, M. **Effective Management of Scarce Water Resources: From Antiquity to Today and into the future.** *Water*, 13, 2734, 2021.

SQLITE org. **About SQLite.** Disponível em: <https://www.sqlite.org/about.html>. Acessado 18/06/2020.

TABASSUM, R.; ARSALAN, M.; IMAM, N. **Estimation of water demand for commercial units in Karachi City.** *FRJ*, 2, pp. 21-26, 2016.

TAGLIABUE, L.C.; CECCONI, F.R.C.; MALTESE, S.; RINALDI, S.; CIRIBINI, A.L.C.; FLAMMINI, A. **Leveraging Digital Twin for Sustainability Assessment of an Educational Building.** *Sustainability*, 13, 480, 2021.

TAMAKI, H. O. **A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais - Estudo de caso: Programa de uso racional da água da universidade de São Paulo.** 2003. 151 f. Mestrado (Departamento de Engenharia de Construção Civil) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TANG, S; SHELDEN, D. S; EASTMAN, C.M; PISHDAD-BOZORGI, P; GAO, X. **Review of building information modeling (BIM) and the internet of things (IoT) devices integration: Present status and future trends.** *Autom. Constr.*, 101, pp. 127–139, 2019.

TAVARES, P.; COSTA, C.M.; ROCHA, L.; MALACA, P.; *et al.* **Collaborative Welding System using BIM for Robotic Reprogramming and Spatial Augmented Reality.** *Automation in Construction*, 106, 2019, 102825, 2019.

TURNER, A.; WILLETTS, J.; FANE, S.; GIURCO, D.; CHONG, J.; KAZAGLIS, A.; WHITE, S. **Guide to Demand Management and Integrated Resource Planning (Update on Original 2008 Guide).** Association of Australia (WSAA): Sydney, Australia, 2010; pp. 1–174, 2010.

UNESCO-The United Nations world water development report 2021: valuing water. Disponível em <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>. Acessado em 28/04/22

USGS, Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **United States Geological Survey. Public Supply Water Use 2019.** Disponível em:

<https://www.usgs.gov/mission-areas/water-resources/science/public-supply-water-use>.
Acessado em 30/04/22.

UZ, D.; BUC, S. **Comparing Water Use Forecasting Model Selection Criteria: The Case of Commercial, Institutional, and Industrial Sector in Southern California**. *Sustainability*, 12, 3995, 2020.

VALINEJADSHOUBI, M.; MOSELHI, O; BAGCHI, A. **Integrating BIM into sensor-based facilities management operations**. *Journal of Facilities Management*, ISSN: 1472-5967, 2021.

VANHAM, D. **A holistic water balance of Austria—How does the quantitative proportion of urban water requirements relate to other users?** *Water Sci. Technol.*, 66, pp.549–555, 2012.

WAGNER, A.; BONDUEL, M.; PAUWELS, P.; RÜPPEL, U. **Representing construction-related geometry in a semantic web context: A Review of approaches**. *Automation in Construction*, 115, 103130, 2020.

WALPOLE, R. E.; MYERS, R. H.; MYERS, S. L.; YE, K. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. Original title: *Probability & statistics for engineers & scientists*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009.

WANG, Q. *et al.* **Automated quality assessment of precast concrete elements with geometry irregularities using terrestrial laser scanning**. *Automation in Construction*, 68, pp. 170-182, 2016.

WANG, F. *et al.* **A Survey from the Perspective of Evolutionary Process in the Internet of Things**. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, v. 11, p. 1-9, 2015.

WIERINGA, R. J. **Design Science as Nested Problem Solving**. In *Proceedings of the 4th International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology*, New York, pp. 1-12, 2009.

WILLIS, R.M; STEWART, R.A, GIURCO D.P.; TALEBPOUR, M.R.; MOUSAVINEJAD, A. **End use water consumption in households: impact of socio-demographic factors and efficient devices**. *Journal of Cleaner Production*, 60, pp. 107-115, 2013.

WILLUWEIT, L.; O’SULLIVAN, J.J. **A decision support tool for sustainable planning of urban water systems: Presenting the dynamic urban water simulation model**, *Water Research*, 47, pp. 7206-7220, 2013.

WINDAPO, A.O.; MOGHAYEDI, A. **Adoption of smart technologies and circular economy performance of buildings**, *Built Environ. Proj. Asset Manag*, 10, pp. 585-601, 2020.

WONG, J. K.W.; GE, J.; HE, S.X. **Digitisation in facilities management: A literature review and future research directions**. *Automation in Construction*, 92, pp. 312-326, 2018.

- WORTHINGTON, A. **Commercial and industrial water demand estimation: Theoretical and methodological guidelines for applied economics research**. Estudios de Economía Aplicada, 28, pp. 237-258, 2010.
- YAN, H., YANG, N.; YI, P.; REN, Y. **Data mining in the construction industry: Present status, opportunities, and future trends**. Automation in Construction, 119, 103331, 2020.
- ZABALLOS, A.; BRIONES, A.; MASSA, A.; CENTELLES, P.; CABALLERO, V. **A Smart Campus' Digital Twin for Sustainable Comfort Monitoring**. Sustainability, 12, 9196, 2020.
- ZAHID, H.; ELMANSOURY, O. YAAGOUBI, R. **Dynamic Predicted Mean Vote: An IoT-BIM integrated approach for indoor thermal comfort optimization**. Automation in Construction 129, 103805, 2021.
- ZHAN, J.; GE, X.J.; HUANG, S.; ZHAO, L. *et al.* **Improvement of the inspection-repair process with building information modelling and image classification**, Facilities, 37, pp. 395-414, 2019.
- ZHANG, M.; SHUC, L.; LUO, X.; YUAN, M.; ZHENG, X. **Virtual reality technology in construction safety training: Extended technology acceptance model**. Automation in Construction, 135, 104113, 2020.
- ZHANG, F.; *et al.* **Integrated applications of building information modeling and artificial intelligence techniques in the AEC/FM industry**. Automation in Construction, 139 104289, 2022.
- ZHIGUO YUAN, Z.; OLSSON, G.; CARDELL-OLIVER, R.; SCHAGEN, K. *et al.* The role of instrumentation, control and automation in urban water systems. Water Research, 155, pp. 381-402, 2019.
- ZHONGMING, LU; BROESICKE, O.A.; CHANG, M.E; YAN, J.; *et al.* **Seven Approaches to Manage Complex Coupled Human and Natural Systems: A Sustainability Toolbox**. Environ. Sci. Technol., 53, pp. 9341-9351, 2019.
- ZHU, J.; WU, P. **BIM/GIS data integration from the perspective of information flow**. Automation in Construction, 136, 104166, 2022.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO GOOGLE FORMS

05/06/22, 11:58

Avaliação do software

Avaliação do software

Este questionário faz parte de uma pesquisa sobre "Avaliação da plataforma AquaBIM".
Sistema desenvolvido para o gerenciamento automatizado da água predial"

Este questionário oferece a oportunidade de VOCÊ manifestar a sua SATISFAÇÃO com a
USABILIDADE da PLATAFORMA.

Suas respostas nos ajudarão a entender quais os aspectos do sistema que você está
particularmente preocupado e os aspectos que está satisfeito.

Para maior qualidade da resposta, antes de responder, pense em todas as tarefas que
você tem feito com o sistema.

Instruções:

Por favor, leia cada sentença e indique o quão você concorda ou discorda com a
afirmação. Se você discorda totalmente assinale um e se você concorda totalmente
marque 5

*Obrigatório

1. 1. A plataforma AquaBIM fornece informações técnicas inéditas para realizar o gerenciamento da água da edificação. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

2. 2. A interface da plataforma AquaBIM é intuitiva. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

05/06/22, 11:58

Avaliação do software

3. 3. As informações técnicas fornecidas pela plataforma tornam as tarefas de gestão do consumo de água mais rápidas e eficientes. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

4. 4. O detalhamento do consumo de água, gerado pelas funções da plataforma, proporcionam maior precisão nas informações fornecidas. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

5. 5. O tutorial e as ajudas disponibilizadas (tooltips) facilitam o treinamento e compreensão das funções da plataforma. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

6. 6. A plataforma exibe mensagens de erro claras e eficientes para corrigir/solucionar os problemas encontrados. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

05/06/22, 11:58

Avaliação do software

7. 7. Sempre que eu executo uma tarefa inesperada usando a plataforma eu consigo voltar a utilizar o sistema com facilidade e rapidez. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

8. 8. O tempo de resposta da plataforma é satisfatória. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

9. 9. É fácil encontrar as informações que eu preciso. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

10. 10. Os recursos visuais (gráficos, planilhas, padrão de cores) fornecidas pela plataforma facilitam a compreensão das informações técnicas. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

05/06/22, 11:58

Avaliação do software

11. 11.O uso do modelo 3d da edificação facilita a visualização das informações e a interações com o usuário. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

12. 12. Durante sua utilização a plataforma manteve-se estável. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

13. 13. A plataforma possui o design gráfico agradável. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

14. 14. Esta plataforma tem as funções e recursos para auxiliar o gerenciamento do consumo da água *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

05/08/22, 11:58

Avaliação do software

15. 15. Os recursos da função Gestão Loja tem funcionalidades variadas e bastante úteis para o gerenciamento individual do consumo de lojas. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

16. 16. Os recursos da função Gestão Prédio tem as funcionalidades, que permitem conhecer o consumo da edificação por categorias de atividades. Possibilitam avaliar o impacto de cada setor no consumo global. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

17. 17. A função Relatórios emite informações, que permitem análises variadas e recursos para a tomada de decisões e planejamento futuro. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

18. 18. No cômputo geral, a plataforma cumpre seus objetivos iniciais para o gerenciamento do consumo de água em edificações. *

Marcar apenas uma oval.

	1	2	3	4	5	
Discordo totalmente	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Concordo totalmente

05/06/22, 11:58

Avaliação do software

Críticas e
sugestões

Esta seção você acrescentar suas impressões , críticas e
sugestões

19. Quais suas impressões da plataforma AquaBIM? *

20. Quais suas críticas? *

21. Quais suas sugestões? *

Este conteúdo não foi criado nem aprovado pelo Google.

Google Formulários

APÊNDICE B – TRANSCRIÇÃO DE ENTREVISTA *ON-LINE*

P1 - O objetivo é aprofundar aquele questionário que a gente já tinha mandado. Pergunta um é, você acredita que a plataforma BIM, passando por adequações, poderia ser utilizado para gerenciar outros tipos de edificações?

E1- Eu Acredito que ela que ela assim ... Eu vou dizer, é, é uma opinião, tá? É que eu posso tanto enganado. Sem dúvida o BIM é uma ferramenta espetacular. Você viu o que vocês fizeram no mercado central. Eu, por exemplo, tenho 10 anos que faço questão de lá quando tem vazamento, eu não consigo localizar. Então, o que acontece? Você sempre depende de uma pessoa que conheça o mercado central para ir lá resolver o problema. Então, assim, isso se esse trabalho que você fez na casa central realmente, porque é uma clareza de trabalho que qualquer pessoa pode ver. Por exemplo, o Esdras saiu por qualquer motivo, férias ou qualquer razão, qualquer coisa, deu lá um vazamento, uma pessoa que entrou no mercado amanhã, uma secretária pode ir lá e ia falar a localização. Você mudou o entendimento do Mercado, qualquer pessoa que você mostrar a localização e for da cidade vai lá resolve. Então assim, pro mercado central, o que vocês fizeram é espetacular. Eu fico na dúvida é que vai condicionar no nosso público maior que é os condomínios porque você teria que ter esse trabalho de desenhar. Porque assim a maior parte dos condomínios até onde eu saiba, não tão não foram construídos dentro de um projeto. Agregar essa funcionalidade é um prédio que já foi construir dentro do BIM eu entendo que vai ser fantástico. Mas os prédios antigos, que não tem um projeto de referência. Não sei, eu posso estar errado, mas eu acho que dificulta muito esse processo. Você é muito trabalhoso, eu imagino que deve ser um trabalho danado para modelar aquele processo. Mas tendo a modelação pronta, você conseguindo implementar? Isso é fantástico, entendeu? Esta é minha opinião.

P2 - Queria só complementar a sua observação, que é absolutamente válida, não é? É uma de uma edificação, como um mercado central. Ela foi feita a anos luz atrás, não é? E realmente a gente teve trabalho. A gente tinha muita pouca informação em termos de modelagem de projetos. Então, a Luciana teve que ir lá. Mas a maioria das edificações, vamos dizer dos 30 anos para cá tem a modelagem Cad, não é? O que facilita muito a modelagens BIM. Então assim, eu acho que se a gente, puder desenvolver. esse projeto além do da edificação comercial e incluir a edificação residencial daria uma alteração muito grande.

P1 - A pergunta é mais no sentido, não é lógico que a modelagem é um processo importante, se você acredita que essa plataforma de informações dos medidores junto com a modelagem do BIM poderia ser aplicado não é tanto para outras edificações que não sejam comerciais ou como outros mercados centrais, por exemplo, o mercado central de São Paulo. Ou outras edificações? Não é que tenham essa mesma função.

E1 - Com certeza, isso aí não tem dúvida nenhuma. Isso aí O BIM deu uma clareza de processo, que é um que é legal demais. É, então assim, vamos lá, partindo do ponto que já está modelado, você tem, tem mercado. Agora é a minha dúvida, porque aí talvez por até por desconhecimento mesmo, eu não sei o nível de dificuldade que você deve modelar. Eu fico pensando que eu já tenho, sei lá, 200 prédios, 300 prédios modelar isso, não, eu imagino que deve ser difícil, mas não vai que não é também, eu também não tenho, eu não tenho essa noção real da coisa, entendeu?

P1 - É a modelagem de um prédio residencial. Com certeza seria muito mais fácil, até pela dificuldade de ter informação do mercado, que é uma edificação antiga.

P2- Eu queria fazer uma pergunta em cima da sua colocação. Que é a seguinte. Eu gostaria de saber de sua plataforma de informações poderia ser utilizada no shopping Oi ou na galeria Ouvidor?

P2- Edificações comerciais que tenham esse perfil de lojas. Você teria como fazer essa aplicar o sistema do seu consumo nessas edificações seria possível? Já faz alguma leitura de dados da do shopping?

E1- Eu tenho algumas edificações comerciais, sabe? A gente tem feito alguma coisa agora na área de condomínio de galpões que aí pega esses galpões de grandes empresas.

E1 - Ter seria teria condições plenas. A questão é o seguinte, é sempre pode imaginar a dificuldade que foi para o mercado central fazer isso na época que eles refizeram a rede, a rede do mercado central é todo subterrânea em toda de galvanizada então vazava muito. Então eles colocaram a rede toda é toda e isso é uma trabalhadeira danada pra fazer. O problema é o custo de uma implantação. Agora a gestão dá pra fazer eu tava falando quando o áudio falhou é que a gente faz esse serviço para condomínio de galpão de grandes empresas, não é? Tem o galpão delas de distribuição e tudo mais. Então a gente faz é bem legal, né? Então dá pra fazer. Comercialmente falando, até viabiliza melhor em shoppings do que na casa das pessoas. Mas o público que mais deseja é isso é o público residencial hoje em dia, sabe? No comercial eles não sei se é porque eles não conseguem repassar o custo e a pessoa ali está ganhando dinheiro em cima daquele daquele aluguel que podem pagar. Eu não sei qualquer mentalidade que está por trás, sabe agora, cara condomínio de galpão tem muita grana. As empresas que alugam um condomínio após, por exemplo, é, sei lá, é Droga Raia é um galpão que a gente vai ter um condomínio de galpões, que a Droga Raia tem um galpão lá que a gente faz a gestão. A Droga Raia é só aluga aquele galpão. Aliás, falou como com os donos do empreendimento. Para nós só vamos continuar alugando o seu galpão se você se adequar a aos aos preceitos de de sustentabilidade. Um monte de coisas que eu não sei exatamente quais são, mas uma das coisas é fazer a medição individualizada, por isso precisam ter esse controle, então o se o condomínio lá se adaptou, contratou a gente. A gente adaptou lá o condomínio para fazer a gestão. Só que não é toda hora que a gente consegue essa venda, não é nosso maior cliente. hoje, a nossa maior quantidade de clientes hoje são os residenciais.

P2 - Eu pensei até o seguinte: De repente a gente em parceria seja mais fácil vender os 2 produtos juntos, né? A plataforma com a medição *on-line*. A gente mostrando vai para sua conta e o potencial.

E1- O problema desse tipo de cliente é o acesso. Eu vou dar um exemplo, por exemplo, shopping pátio Savassi, por exemplo, eles têm esse problema, eles têm esse problema, eles, precisam controlar até para redução de despesa e tudo mais. Só que o problema é o seguinte, que esse pessoal detesta fazer investimento. Eles querem tudo Apex como a gente costuma falar. E os investimentos não costumam ser muito baratos. Essa de essa, conta, ela é difícil de fechar, entendeu? E aí você começa a ser, você tem que fazer virar um capex virar. opex, tudo bem, você investe. Vamos supor que a gente tenha o dinheiro, só que aí o custo mensal começa a ficar alta e os caras começam a fazer comparação a gestão manual que está totalmente errado. Essa comparação não faz o menor sentido, mas eu eles acabam fazendo. Eu tenho em um zelador que o salário dele custa R\$ 2000 BRL e o cara vai lá e faz a leitura pra mim. Eu falei mas a comparação não faz nenhum sentido. a não ser feita. Quer dizer, é difícil vender, sabe? Mas assim, com certeza se agregar uma ferramenta como as suas desse

processo, isso gera um valor danado, às vezes torna até a venda mais fácil por gerar mais valor. Mas não é uma venda simples. O cliente é um cliente muito que faz muita conta de dinheiro. Nem sempre, né? Mas e a maior parte faz muita conta de dinheiro, então não é fácil, não tô falando que não dá pra fazer, dá pra fazer.

P2- É isso, tem que encontrar a pessoa certa, com a visão do alcance desse conceito.

E1- Vou colocar o mercado central na conversa de novo. Era a pessoa certa na hora certa, porque eles já estavam refazendo a rede hidráulica. Eu até na época, dei o orçamento para eu também fazer a obra da rede. Mas aí eles fizeram com outra pessoa porque minha obra mais cara provavelmente. Mas é assim. Eu tenho certeza que eles gostam do serviço. Só que eles eram pessoas certa porque eles já iam trocar. Então o pensamento é já que vamos trocar e vamos colocar uma coisa melhor. No caso dos shoppings, o shopping Oi por exemplo. Eles não estão na hora de trocar, entendeu? Aí fica difícil entender.

P2- É, mas a gente tem em desenvolvimento dessa plataforma, dessa pesquisa. Ela precisa fazer a mesma coisa para a edificação residencial. É, eu acho que é o nicho. Você tem muito mais prédio residencial do que comercial.

E1- É mais. 20 para um.

P2- Isso até um incentivo para a gente já começar outra pesquisa. O que a gente vai deixando para depois, né? Mas talvez esteja na hora de a gente começa a sustentabilidade da gente estudar as edificações residenciais.

P1- Vou colocar mais uma coisa aqui. Eu acho o seguinte, que aí vale para levar para todo mundo, aí não é? Eu acho que assim meu ponto é só percebe valor mesmo quem vive esse mundo da sustentabilidade, com mais com mais vigor. Por exemplo, um edifício desses difícil que eles chamam de tripleway, não é? Esses edifícios que tem um Monte de certificação que é que recebem empresas de grande porte ou condomínio de galpões. Esse pessoal percebe mais valor. Um valor além da simples cobrança individual do valor mensal ali. Do faturamento, do Billing. Eles vão além do Billing. Eles entendem o valor da gestão. Os clientes que estão muito presos no valor do billing, simplesmente o valor do Billy. Esse pessoal é você pode falar uma plataforma infinita para eles, cheio de funcionalidade, eles só vão usar o Billy, quer dizer, não vão perceber o valor. O cliente chave que vai dar valor para isso. São clientes que se importam com a sustentabilidade. No final das contas. É isso, entendeu? Resumidamente.

P2 - Vai além da da economia de água e de dinheiro. A questão da sustentabilidade ainda é uma questão ainda embrionária.

E1- Exatamente embrionário.

P2 - O que tem muito potencial de desenvolvimento. Aí eu acho que a metodologia que a gente usou para desenvolver ela ser a ela se adapta a qualquer tipo de edificação. Eu acho que a de edificação residencial deve ser uma próxima meta nossa. E a gente pode continuar nossa parceria. A próxima questão é, você acredita que o gerenciamento das informações fornecidas pelos medidores inteligentes é um instrumento útil para que as edificações aprimorem o uso da água?

E1- Eu acho assim que a plataforma desenvolvida ela em si não vai mudar nada na cabeça das pessoas, tem que ter uma mudança de mentalidade. Está, eu vou ficar o posso estar enganado, mas a minha percepção que eu vejo. Eu acho assim, se você pegar um síndico

ativo, o cara te manda, quer melhorar o que quer fazer de fato melhorias do condomínio? E da a ele uma plataforma como essa. Esse cara fica maravilhado. O problema é que síndicos ativos e dinâmicos são 5%. A gente trabalha mais ou menos esses dados aqui é mais ou menos 5% dos síndicos, entendeu? Só cinco realmente se preocupam com a individualização. O resto, quando fez só para atender uma demanda da da assembleia ou porque a conta de água ficou alta demais e o cara precisa dividir de forma mais justa. Cara é realmente ele não se importa, sabe? Mas agora já volto. Diz que a plataforma ela, para aquele que se importa fará diferença. Eu vejo que na minha empresa, ela fala muito em oferecer informação pra quem se importa. É uma falha que a gente tem aqui. Então assim, essa plataforma, ela seria legal para agregar isso. Só que felizmente ou não, felizmente não. Infelizmente, no caso que ainda bem que eu não tenho maior dos clientes não querem essa informação, não tem que oferecer, mas infelizmente porque é o certo é que todo mundo que quisesse, não ele, fizesse uso das informações. Mas é. É eu eu percebo que simplesmente a plataforma não muda muito essa mentalidade, mas havia uma mudança realmente de base.

P1- Eu concordo que para essa pessoa não tem isso como um valor ela realmente não vai usar. Por outro lado, mas eu não acho que a ferramenta seja pode ajudar a convencer. Exemplo, a gente fez uma projeção e pelo o gerenciamento das informações você tem um dado mais palpável para você poder convencer esse tipo de pessoa que acha não tem importância.

E1- Concordo com você em parte. Nós estamos fazendo a campanha agora de marketing. Aqui é todo mundo que começa a fazer a conversar comigo sobre o marketing fala assim, você tem que explorar os lados da sustentabilidade, da noção de da noção que a pessoa não sabe o consumo. Isso é um dos primeiros que minha cabeça das pessoas. O problema, sabe Luciana, é que é as pessoas. Olá, vou te dar um outro exemplo que eu acho que vai entender bem. É, é. Pediram sempre pedem para mim porque eu tenho um aplicativo que eu fui desenvolver um aplicativo de para o morador no computador ou para o usuário, né? Para o condomínio, tem acesso à informação no aplicativo? Aí eu desenvolvi, um aplica uma versão beta, o que eu tenho aqui foi até bonzinho, mas eu desenvolvi uma versão usuário. Vou falar que você não tem uso. As pessoas não usam. Aí que a gente pensou, então vou fazer, então entregar a integração com Alexa. Não é nosso foco agora não, mas a gente está trabalhando nas horas vagas, para ver se usar algum desses, algum tipo de algum efeito. Mas as pessoas elas são realmente desligadas, só se importam quando aparece com meus amigos. e aí aquela coisa não é? Pensar numa plataforma que vai prever isso, que vai fazer uma coisa de preditiva e eventualmente pode. Gerar algum sucesso. Mas como eu não tenho isso em mãos, nem para nem para oferecer, eu não consigo te dar sendo resposta exata. Pode ser que sim, pode, mas o que eu percebo é que as pessoas são muito reativas, elas não pensam. pró ativamente, elas estão sua reagindo uma informação, reagindo a informação. Não, isso é um pouco de um pouco cheio, um pouco desanimador, não é? Se você for parar pra pensar, por desenvolver uma plataforma que ter, é incrível como a sua que vocês estão desenvolvendo para a pessoa nem usar, entendeu? É isso que eu penso é que é meu medo. Agora que que se você pegar a pessoa certa, ela vai gostar. Eu tenho certeza absoluta. Eu tenho certeza que eu era se gostam disto, gosto está gostando do que está vindo? Com certeza, porque a minha cara central valoriza isso agora.

P1- É que na verdade, então antes da implantação da plataforma deveria haver uma campanha de conscientização isso que você tá falando?

E1- É, na verdade, assim é isso que eu tô falando assim, mas é uma campanha misturado também com uma facilidade da pessoa ter acesso a informação. Porque o meu cliente não é

o fim. Se você for parar pra pensar o seguinte o meu cliente, são os condomínios, seja comercial ou seja residencial, são condomínios. Só quem que usa a informação, quem em tese da valor, a informação são os moradores. Mas eu não tenho acesso aos moradores, eu não, eu não sei se o morador tá morando aí naquele prédio, se ele mudou., e ele mudar. Não vai mudar, entendeu? Então o fato de eu não ter contato com os moradores, isso de uma minha, a minha efetividade, a minha não chamasse a minha penetrabilidade, né? Eu a informação chega no final das contas, informação do Billy, né? Da conta que o cara, porque vai pagar e se ele acha que está errado, aí ele vem, liga pra gente, falou, tem alguma coisa errada aí a gente mostra ele que não tem e tal mostra a nossa plataforma. Ele acha legal, mas fica mais 2 anos sem ligar para a gente ou mais um. É o ponto é minha, só como não é só, consciência. É, eu entendi da pergunta da Luciana. Ela falou muito sobre a plataforma do seu consumo, né? E você está manifestando sua experiência com o usuário final, que é o condômino, não é? Mas assim a sua passou-se experiência com o AquaBIM. Ela quer dizer na realidade que o personagem importante é o síndico Ele vai poder fazer a verificação através do consumo você está produzindo. e dos relatórios que o AquaBIM vai produzir. É, não, ele vai detectar, por exemplo, você está tendo algum excesso de consumo? Aí ele, com essas ferramentas, ele poderá é chamar o com mais convicção o morador para conversar.

P1- Você acha necessário continuar o desenvolvimento da plataforma com a implementação de novas funcionalidades?

E1- De uma certa forma, respondi sua pergunta anterior, né? Mas assim, eu acho vocês tiverem condição de fazer, eu acho que tem muita coisa para a gente evoluir e tem mercado. Só que não é um mercado de todos os condomínios do Brasil. É um mercado restrito à clientes que valorizam isso e que quer, que, que pagariam por isso, sabe aí o que eu estou falando, não é? Você vai falar assim, então meu mercado são todos os condomínios do Brasil, definitivamente, não é? Mas ainda não é o mercado pequeno. Você tem é até indústrias, por exemplo. A gente faz um trabalho dentro da Belgo. A gente mede lá 32 pontos de medição da Belgo. A gente usa lá 5 concentradores que ficam andando leitura é de meio e meia hora. Os medidores estão instalados, vai em lugares que você não acredita, você vai fazer o que? Isso, o que que é isso? É o subsolo enquanto camada de concreto, de mais de 60 centímetros de concreto, tem um negócio brutal lá, certo? E lá antes os caras sempre fazendo leitura manual. Estou tentando fazer integração desde sempre. Eu propunha vamos fazer uma coisa maior, com mais funcionalidades nas informações. Não consigo fazer a integração, certo? Pode ser uma falha minha de venda pode ser, né? Tem uma parcela grande disso aí também, mas eu vejo que os caras não têm interesse. Eu não consigo evoluir, mas, por exemplo, a Belgo fez um investimento de mais de R\$ 100.000 lá nesses hidrômetros. Então você vê, tem gente para valorizar. Não está em toda esquina, entendeu? Então respondendo objetivamente a sua pergunta. Eu acho que se estiver de condições de melhorar de evoluir, eu evoluiria.

P1 - E você tem alguma sugestão de funcionalidade para acrescentar?

E1- Então, uma função que eu acho legal e que estou tentando trabalhar isso aqui, mas não estou tendo tempo. É, por exemplo, você pegou um vazamento no mercado central, não é? A gente informa aí, como você sabe as regras do vazamento? Com 24 horas, o medidor começa a mandar alarme 24 horas, que o medidor rodou sem parar, ele envia um alarme. É uma informação legal para isso. Para convencer o cliente a comprar o concentrador. Você já peguei para 24 horas o vazamento de poder exemplo, sei lá, 100 litros por minuto, ou seja, todo de 24 horas daria, x litros. Se fosse no meio da metodologia sem concentrador de leitura de hora em hora. Então você seria, você só ia descobrir se casamento ao final de 30 dias é teria

perdido x litros de água nesse período. Olha, tá vendo? Então você faz uma previsão em cima do que você pegou de vazamento naquele naquele momento período de 24 horas. E então 24 horas passou x litros além do normal. Por exemplo, onde é que o normal da pessoa era lá? 200 l num dia, vamos chutar, aí passou naquele mês em função de um vazamento 5000 l, ou seja, ele estava num há +4020 naquele dia por causa do vazamento. Você pode então justificar o serviço pela informação.

P1- No AquaBIM foi desenvolvido essa função. No relatório de vazamento, a gente fez uma média do consumo de cada loja anual, aí a gente os alertas de vazamentos no mês, e aí a gente colocou que ultrapassou a gente deu uma margem lá de 20%, o que é passasse dessa margem. A gente computa e falar, olha, nesse mês você gastou tantos litros a mais. Isso representaria um custo a mais.

E1- É, eu não, eu não cheguei a ver isso lá na sua plataforma pode ser às vezes não aprofundi devidamente

P1- E a nossa última pergunta seria, sua empresa teria interesse em manter a parceria com UFMG para o desenvolvimento de uma pesquisa aplicada?

E1- Interesse total. A questão é viabilizar isso. Eu não lembro dos detalhes mais da conversa, mas assim eu saí daquela conversa com a sensação de que como vou conseguir aplicar a pesquisa na prática. Como é que eu vou conseguir vender isso para alguém? Tendo em vista que meu público 90% ou mais é de condomínios residenciais. O que eu percebo é que a gente está fazendo uma ferramenta que ainda está muito acima do que o mercado está comprando, sabe? Eu ainda sou ainda subprecificado, eu estou aqui, eu tenho certeza que o meu trabalho aqui tem um valor de um valor muito grande.

E1- E aí eu tinha meu ponto é o seguinte, mais importante do que realmente até a ferramenta é talvez por comercial. Por isso que agora eu estou investindo mais no comercial. Eu estou tentando é vou contratar agora a empresa de marketing para tentar é fazer eventos, fazer alguma historinha, criar alguma coisa. Para mostrar o tanto que isso, é importante, que as vezes só com palavras eu não estou conseguindo demonstrar isso. As informações não estão chegando no seu cliente. Então assim, tem interesse que a parceria? Sim. Agora, como viabilizar essa parceria comercialmente falando, entendeu? Nem estou falando tecnicamente, a gente se acerta por meio de ateísmo, meio de funcionalidade. Agora como vender essa parceria do mercado? É isso é que eu tenho dificuldade, entendeu?

P1- Na verdade é igual o Franco falou porque a questão da sustentabilidade no Brasil ainda é muito incipiente. Teria que ter uma cultura maior desses valores para as pessoas perceberem o quão importante é uma ferramenta de gestão, né? É. Fazer a informação a pessoa pagar pela informação. Eu sempre fico na dúvida, porque que a pessoa não valoriza? É porque é um país pobre, então qualquer pouquinho você cobrar vai fazer diferença na renda das pessoas? Será que é isso? Não sei. Será que é porque realmente as pessoas são desligadas com isso? Porque a água não é tão cara ainda, entendeu? Tipo assim, então, em suma, o insumo ao qual nós estamos fazendo a gestão não tem preço de ouro ainda não é, não. Um litro de água custa sei lá R10. Eu vou te dar um exemplo. A gente faz a gestão do prédio do dono da MRV. Ele mora na cobertura de um prédio. A gente detectou um vazamento grande no apartamento a gente avisou para um gestor da casa. Ficou assim lá 6 meses para conseguir consertar. E era uma conta de R\$ 10000 por mês. Outro exemplo que eu tenho também, e no Mart Minas a gente faz a gestão da água lá e lá tem vazamento 250 l/h para você ter uma ordem de grandeza. E eles não consertam e tem mais de um ano. Será que é porque a água é barata e os caras não dão valor para isso será? Eu não sei. Será que é do que é essa população é pobre e ela não consegue pagar, será que é porque realmente não deu o click da sustentabilidade ainda na

população, na média, na maioria da população? Realmente não sei. Eu brigando por esse mercado, tô tentando gerar valor. E meu maior serviço é realmente gera valor para as pessoas pagarem e em paralelo desenvolver a plataforma. No dia que as pessoas começaram a entender isso. Ou tentar achar pessoas que já entendem isso. Já entendem o valor disso e tentar agregar mais, né? Fazer as pessoas entenderem o valor do meu serviço, mas por enquanto é uma, é uma guerra cruel. Vou falar no outro número aqui para você entender. Hoje meu cliente médio, hoje em um prédio de 50 e 48 departamentos, se não me engano é cliente médio, entendeu? Tem prédios, 600 apartamentos em um prédio de 6 apartamentos, um média. Meu ticket médio é R\$200. Meu sonho é aumentar esse ticket médio, mas não consegue justificar. É um trabalho de formiguinha mesmo, que eu tô fazendo que eu vou, eu tenho certeza que pesa. Mas antes de 10 anos eu não vou conseguir nada. Tenho certeza disso, mas tá uma brigando. A gente está tentando. É isso, é isso, vamos formar.

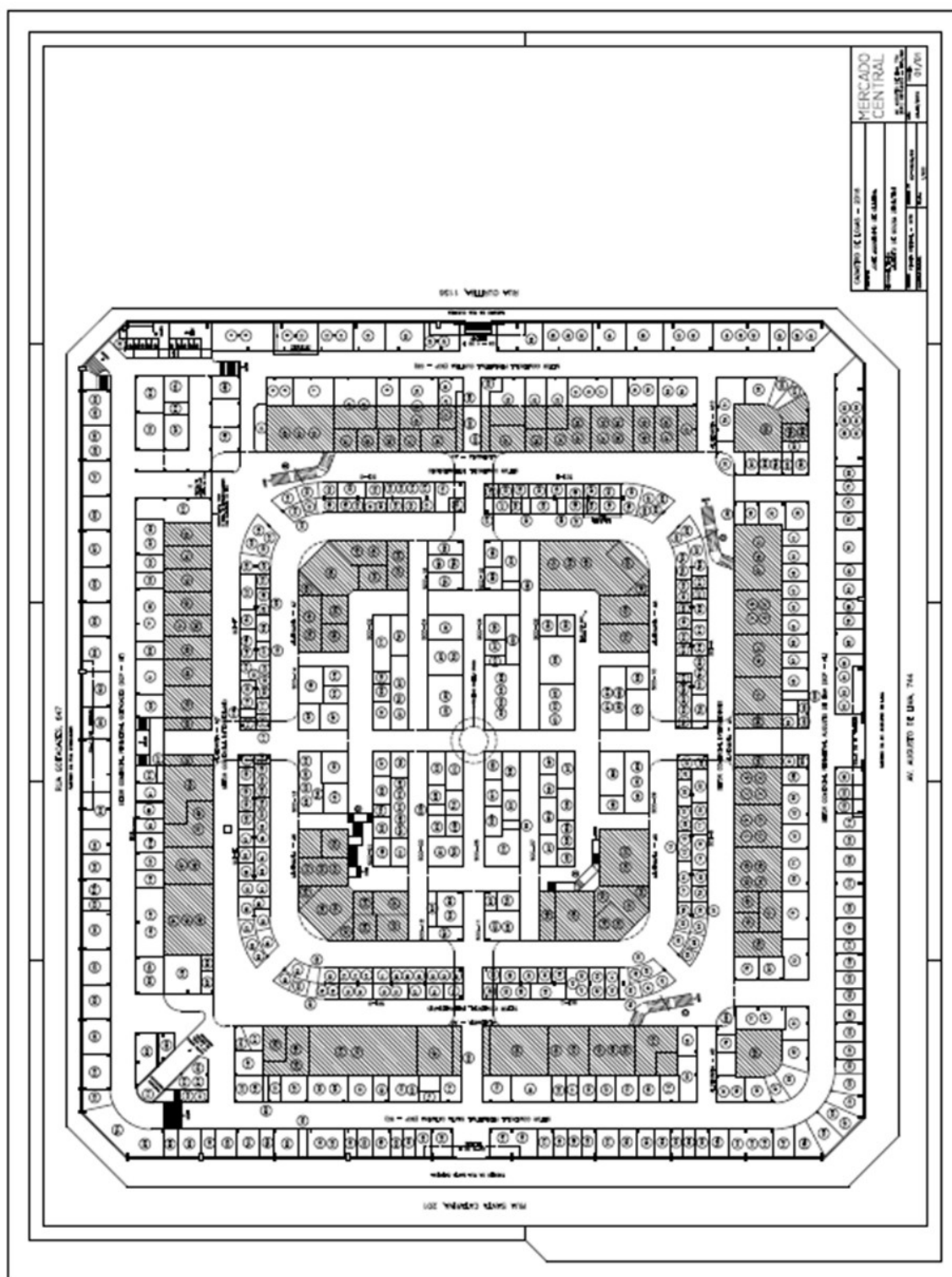
P1 - Eu acho que mais que o preço da água, eu acho que na hora que começar a faltar água de verdade as pessoas vão a importância.

E1 - Tem uma outra questão interessante que você falou isso aí quando faltar água. Toda vez que dá a racionamento, ele é em Belo Horizonte, Minas Gerais. Tem uma época aí, uns 4 anos atrás que teve essa essa confusão muito de né? Aumentava minha demanda pessoal começa ligar muito mais pra gente. Mas acabou aquela confusão, aquela gritaria na televisão. A quantidade de demanda diminui muito, entendeu? É, infelizmente, não é isso que o pessoal pensa, é muito no bolso ainda. Entendeu? Mas eu acho que a tendência que dar, então, se vocês puder continua desenvolvendo. E eu puder ajudar de qualquer forma. Vão bora, eu só acho difícil viabilizar comercialmente. isso.

P2 - Vou complementar algumas informações da sua fala. Que é o seguinte a parceria com a universidade tem várias maneiras de formar. Tenho 35 anos de experiência e assim, que é questão de cultural, não é? As pessoas entenderem a importância de mudar a maneira. E então, assim. Nós estamos sempre procurando fazer coisas com as empresas. Mas empresas que tem a visão de que a parceria como a universidade. Vamos dizer assim. Ela é positiva, né? Tanto para a empresa quanto a universidade, existem várias maneiras de fazer a parceria. Pode ser, por exemplo, a parceria com a empresa para ela dá o suporte, como é o caso aí da da Luciana. Né? Pode ter uma parceria mais com medo que aí fica. O problema, é isso que você inventa no dia a dia? De poder vender o produto? Ou então convencer a empresa de desenvolver um produto? Mas assim, isso aí é uma coisa que enquanto o Brasil for Brasil, não vai, não vai mudar, você vai ter que te encontro assim que não enxerga aquilo que vocês já está enxergando. Mas a parceria como essa cidade universidade tem essa cultura. Quem descobre essa parceria geralmente não, volta atrás. Então é isso que a gente tem que trabalhar para você entender melhor e a gente também entender qual é o potencial de você de ajudar na parceria. Mas eu acho que isso aí que a gente tem que chegar com as ideias e trabalhar dos 2 lados e ver a maneira de efetivar isso. É isso. Luciana sempre que você precisar, sim, muito, estou pensando, estou pensando, aquilo é, sei lá, se tiver alguma coisa aí que vocês acham que pode, que pode ser aqui que né que tem efetividade, eu vi, eu estou disposto a ajudar, eu ajudei dessa vez não gosto de estar ajudando ele mandando informação que NPI. Pensando aqui, tudo começar, é só que assim, eu acho que o ponto que falta de prática, mesmo custo de falta de experiência e também eu não, eu não consigo vislumbrar isso comercialmente, não consegui. Mas pra gente que chegava uma é eu não vi nada seguinte, precisa conversar, vamos conversar, nós vamos conversar, vamos ver os problemas, entendendo o problema meu e seus, é, eu entendo os 1000, é isso aí, vocês entendem os meus e aí a gente acaba chegando numa

hora que a gente precisa, isso aqui dá pra gente brincar, brincar juntos e a gente briga. Sim. É isso aí, é.

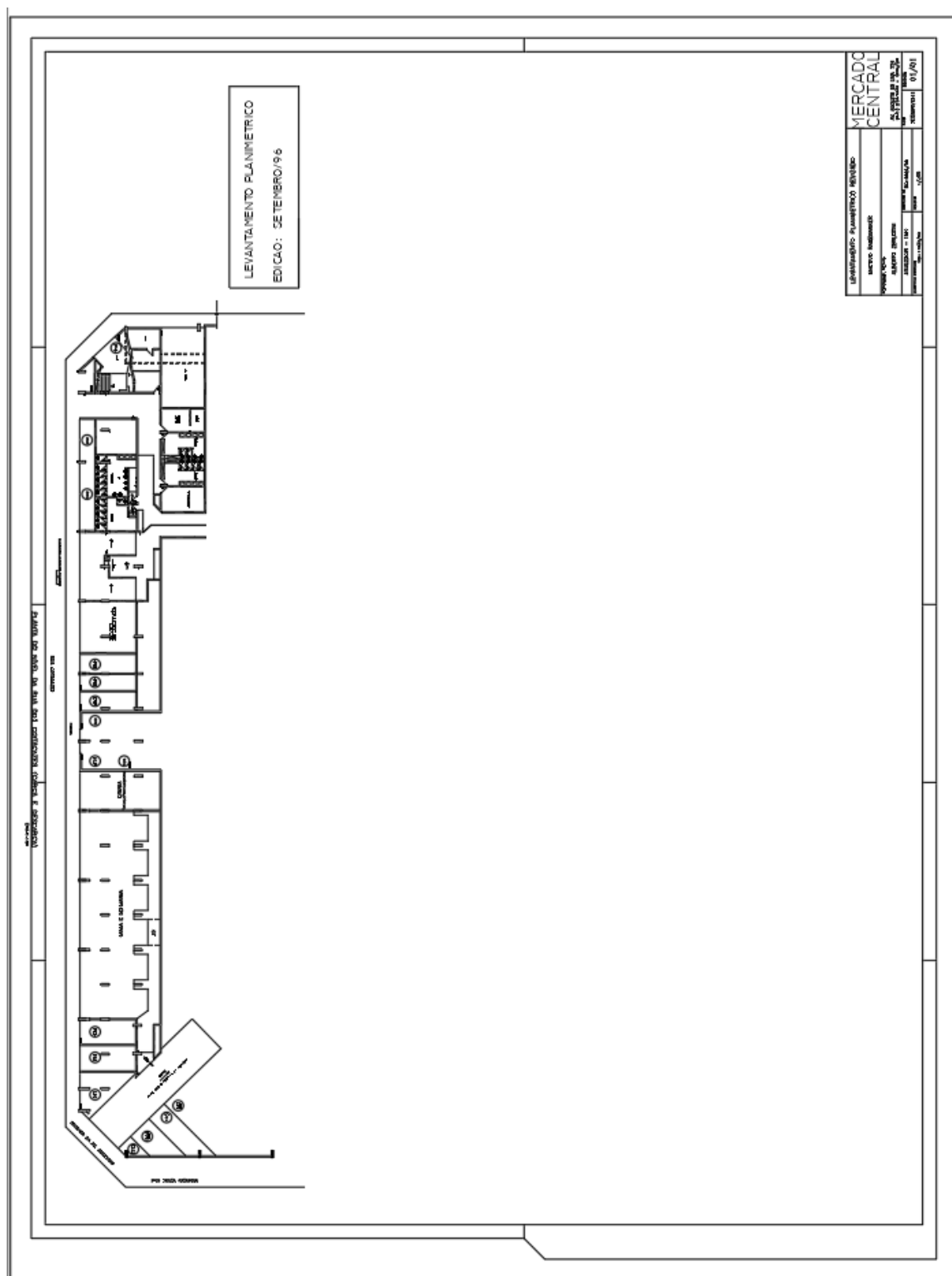
**ANEXO A – PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DOS SMART METERS DO MERCADO
CENTRAL, NÍVEL AUGUSTO DE LIMA**



Fonte: Arquivos Mercado Central

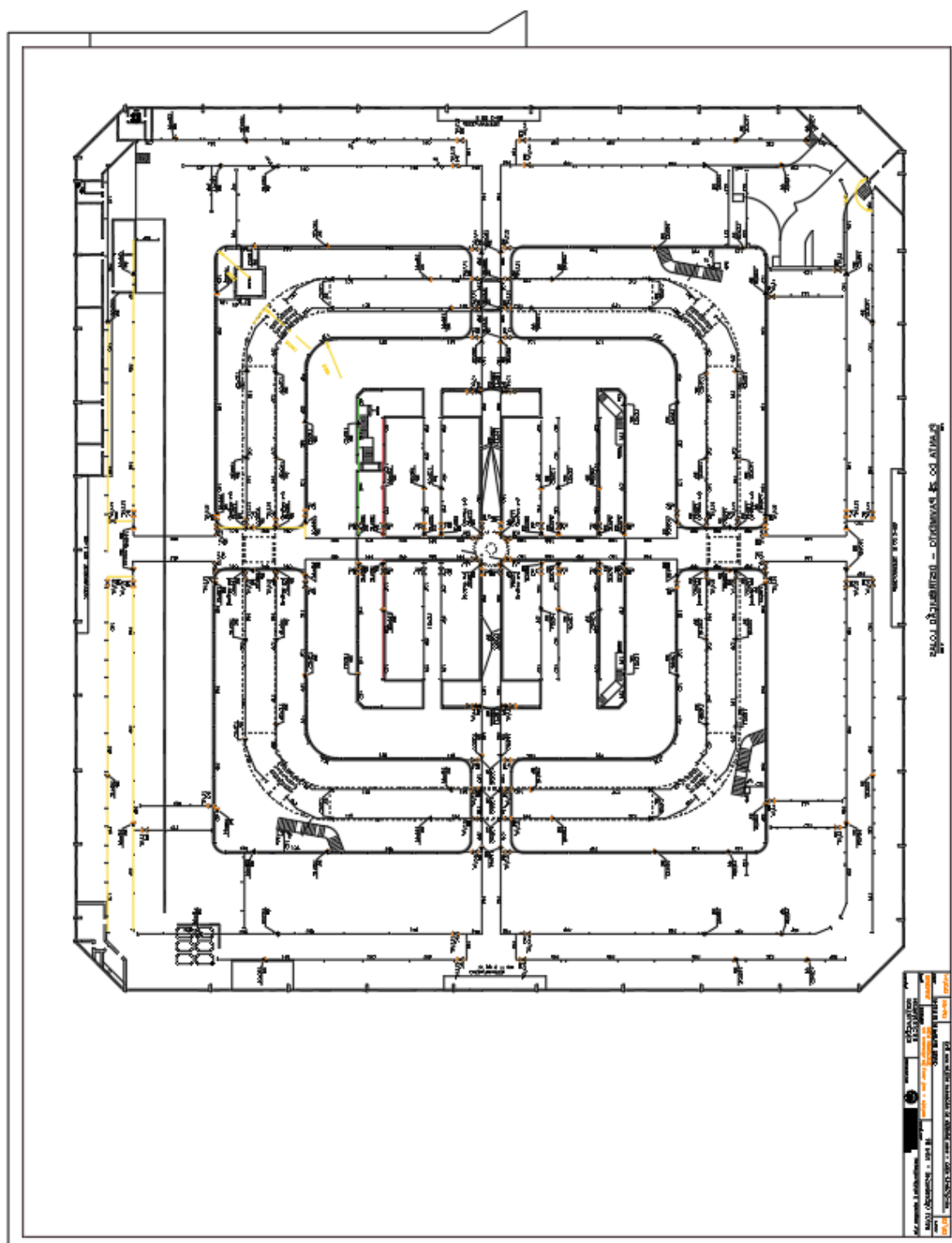
ANEXO B - PLANTA DE LOCALIZAÇÃO DAS LOJAS DO MERCADO CENTRAL

2 PAVIMENTO, NÍVEL GOITACAZES



Fonte: Arquivos Mercado central

ANEXO C - PLANTA DE INSTALAÇÃO HIDRÁULICA DO MERCADO

CENTRAL, NÍVEL ESTACIONAMENTO

Fonte: Arquivos Mercado central