

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA – UDESC
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS – CCT
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL – PPGEC

KAMILLA RAVIZZA

CONSUMO DE ÁGUA EM CANTEIROS DE OBRAS NA CIDADE DE JOINVILLE

JOINVILLE/SC

2024

KAMILLA RAVIZZA

CONSUMO DE ÁGUA EM CANTEIROS DE OBRAS NA CIDADE DE JOINVILLE

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

Orientadora: Dra. Andreza Kalbusch
Coorientadora: Dra. Elisa Henning

JOINVILLE/SC

2024

**Ficha catalográfica elaborada pelo programa de geração automática da
Biblioteca Universitária Udesc,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

Ravizza, Kamilla
CONSUMO DE ÁGUA EM CANTEIROS DE OBRAS NA
CIDADE DE JOINVILLE / Kamilla Ravizza. -- 2024.
169 p.

Orientadora: Andreza Kalbusch
Coorientadora: Elisa Henning
Dissertação (mestrado) -- Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Joinville, 2024.

1. Consumo de Água. 2. Canteiro de Obras. 3. Fatores
influenciadores. 4. Modelagem estatística. I. Kalbusch,
Andreza. II. Henning, Elisa. III. Universidade do Estado de
Santa Catarina, Centro de Ciências Tecnológicas, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Civil. IV. Título.

KAMILLA RAVIZZA

CONSUMO DE ÁGUA EM CANTEIROS DE OBRAS NA CIDADE DE JOINVILLE

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, da Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Andreza Kalbusch (orientadora)
Universidade do Estado de Santa Catarina - UDESC

Membros:

Dr. Heber Martins de Paula
Universidade Federal de Catalão - UFCat

Dr. Robison Negri
Universidade Católica de Santa Catarina - CATÓLICA/SC

Joinville, 11 de julho de 2024.

“Eu, a Sabedoria, moro com a prudência;
sei onde encontrar conhecimento e
discernimento.” (Bíblia Sagrada NVT,
[Provérbios 8:12])

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me conduzido até este momento, pela saúde, força, sabedoria e persistência que Ele me concedeu em meio as dificuldades adversas da vida. Inclusive, pela proteção e direcionamento dEle em todas as etapas da minha vida. A presente dissertação de mestrado também não poderia ter chegado ao fim sem o apoio de algumas pessoas.

Aos meus pais, Maria Madalena Carvalho Ana Ravizza e Revelino Ravizza e ao meu irmão e a minha cunhada, Elias Ravizza e Samara Nazario que sempre estiveram ao meu lado me apoiando ao longo de toda a minha trajetória. Sou grata à minha família pelo apoio que sempre me deram durante toda a minha vida.

À minha orientadora e coorientadora, Andreza Kalbusch e Elisa Henning por compartilharem seus conhecimentos, pelo incentivo e pela dedicação do seu tempo ao meu projeto de pesquisa. E também pela paciência ao longo destes 2 anos para a conclusão desta etapa.

Aos meus amigos, Leonardo Nascimento, Júlia Finder, Felipe Nascimento, Lara Diniz, Nayara Ponticelli, Erlaine Regina Branca da Silva, John Lenon Turmena, Robson José Silva Souza e demais amigos e familiares que me acompanharam ao longo dessa trajetória e me deram apoio. Sou grata pela vezes que vibraram ao meu lado pelas conquistas que tive e também pelos momentos de ansiedade e aflição para que tudo saísse como planejado.

A todas as pessoas que colaboraram com esta pesquisa, os colegas e parceiros que me ajudaram a chegar aos respondentes do questionário. As construtoras e incorporadoras que forneceram as informações para esta pesquisa e se propuseram a responder o questionário. Ao Serviço Social da Indústria da Construção de Joinville (SECONCI), ao Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville (CBVJ), à Companhia Águas de Joinville (CAJ) pelo auxílio para o desenvolvimento desta pesquisa.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UDESC (PPGEC) pelas oportunidades de crescimento profissional e pessoal durante o mestrado como participação em congressos. A todos os meus professores do curso de mestrado da UDESC pela excelência da qualidade técnica de cada um. Por fim, agradeço a todos que de forma direta ou indiretamente colaboraram para realização deste estudo.

RESUMO

Na construção civil, a água está presente desde o preparo de insumos até o uso nas atividades construtivas desempenhadas nos canteiros de obras. Por isso, o uso da água está atrelado à sustentabilidade ambiental, econômica e social. O uso da água nos canteiros de obras é necessário para diversas atividades, como mistura para o concreto, limpeza de equipamentos e instalações, bem como para o consumo humano. No entanto, o consumo excessivo e o desperdício desse recurso podem resultar em impactos negativos ao meio ambiente além de aumentar os custos operacionais das obras. Por isso compreender o consumo de água em canteiros de obras e conhecer os fatores que influenciam a demanda desse setor possibilita a criação de estratégias de conservação da água. Essa Dissertação apresenta uma revisão sistemática da literatura acerca dos indicadores de consumo de água em canteiros de obras no mundo e também um estudo de caso realizado em obras na cidade de Joinville/SC para determinação dos indicadores de consumo de água em canteiros de obra da cidade. O objetivo deste estudo é avaliar os fatores que influenciam o consumo de água dos canteiros de obras na cidade de Joinville/SC por meio da análise de características dos canteiros de obras, dos métodos construtivos empregados e variáveis relacionadas à gestão do uso da água e sustentabilidade ambiental. A primeira etapa dessa pesquisa é constituída pelo planejamento amostral, no qual foi definida uma amostra de 50 canteiros de obras do tipo residencial multifamiliar vertical (prédio de apartamentos), por meio da amostragem não probabilística por cotas. As informações a respeito das obras foram obtidas com o auxílio de um questionário respondido pelos representantes das construtoras e os dados de consumo foram obtidos junto à Companhia Águas de Joinville. Foram aplicados testes estatísticos e análises de correlação entre as variáveis quantitativas e qualitativas para a construção de modelos de regressão linear múltipla. Como resultado, estimou-se um indicador de consumo médio de água na cidade de Joinville de $0,257 \text{ m}^3/\text{m}^2$ com uma faixa de variação de $0,110 \text{ m}^3/\text{m}^2$ até $0,453 \text{ m}^3/\text{m}^2$. Para o modelo de regressão final, as variáveis que exerceram influência no consumo de água por área construída foram a área construída, o tempo de atraso das obras e o uso de fontes alternativa de água.

Palavras-chave: Consumo de Água; Canteiro de Obras; Fatores influenciadores; Modelagem estatística.

ABSTRACT

In civil construction, water is needed from the preparation of inputs to its use in construction activities carried out on construction sites. Therefore, the use of water is linked to environmental, economic and social sustainability. The use of water on construction sites is necessary for various activities, such as mixing concrete, cleaning equipment and facilities, as well as for human consumption. However, excessive consumption and waste of this resource can result in negative impacts on the environment in addition to increasing the operational costs. Therefore, understanding water consumption on construction sites and knowing the factors that influence demand in this sector enables the creation of water conservation strategies. This Dissertation presents a systematic review of the literature on water consumption indicators on construction sites around the world and also a case study carried out on construction sites in the city of Joinville/SC. The objective of this study is to evaluate the factors that influence water consumption at construction sites in the city of Joinville/SC through the analysis of characteristics of construction sites, the construction methods used and variables related to water use management and environmental sustainability. The first stage of this research consists of sampling planning, in which a sample of 50 construction sites of the vertical multifamily residential buildings was defined through non-probabilistic sampling by quotas. Information regarding the construction sites was obtained with a questionnaire answered by technical managers of the construction companies and the water consumption data was obtained from Companhia Águas de Joinville. Statistical tests and correlation analyzes between quantitative and qualitative variables were applied to obtain multiple linear regression models. As a result, mean water consumption in the city of Joinville was estimated as $0.257 \text{ m}^3/\text{m}^2$, ranging from $0.110 \text{ m}^3/\text{m}^2$ to $0.453 \text{ m}^3/\text{m}^2$. For the final regression model, the variables that influenced water consumption per built area were the built area, the delay in construction activities and the use of alternative water sources.

Keywords: Water Consumption; Construction site; Influencing factors; Statistical modeling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Síntese dos conceitos	25
Figura 2 - Diagrama metodológico da revisão sistemática da literatura	28
Figura 3 - Distribuição dos Artigos aceitos para revisão sistemática da literatura por ano de publicação	29
Figura 4 - Distribuição dos Artigos aceitos para revisão sistemática da literatura por localidade	30
Figura 5 - Nuvem de Palavras	44
Figura 6 - Localização da cidade de Joinville e divisão dos bairros da cidade	54
Figura 7 - Diagrama metodológico do estudo de caso	55
Figura 8 - Divisão da cidade de Joinville em zonas	61
Figura 9 - Localização dos canteiros de obra por bairro	78
Figura 10 - Tipo de áreas comuns	80
Figura 11 - Histograma área construída	82
Figura 12 - <i>Boxplot</i> área construída	82
Figura 13 - Quantidade de torres	83
Figura 14 - Histograma da quantidade de pavimentos	84
Figura 15 - <i>Boxplot</i> da quantidade de pavimentos	84
Figura 16 - Histograma da quantidade de unidades habitacionais	85
Figura 17 - <i>Boxplot</i> da quantidade de unidades habitacionais	86
Figura 18 - Quantidade de tipos de apartamentos diferentes	86
Figura 19 - Histograma da quantidade de banheiros e lavabos	87
Figura 20 - <i>Boxplot</i> da quantidade de banheiros e lavabos	88
Figura 21 - Histograma da quantidade de dormitórios e suítes	89
Figura 22 - <i>Boxplot</i> da quantidade de dormitórios e suítes	89
Figura 23 - Média mensal de colaboradores	91
Figura 24 - <i>Boxplot</i> da média mensal de colaboradores	91
Figura 25 - Áreas Operacionais dos canteiros de obras	93
Figura 26 - Áreas Impermeabilizadas	96
Figura 27 - Indicador de consumo de água (m^3/m^2) dos canteiros de obra nos bairros	104
Figura 28 - Histograma de consumo total de água (m^3)	106
Figura 29 - Histograma de consumo médio mensal (m^3)	106

Figura 30 - Histograma de consumo de água (m^3/m^2)	107
Figura 31 - Gráfico de dispersão entre área total construída (m^2) e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	110
Figura 32 - Gráfico de dispersão entre quantidade de pavimentos e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	110
Figura 33 - Gráfico de dispersão entre quantidade de apartamentos e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	111
Figura 34 - Gráfico de dispersão entre quantidade de banheiros e lavabos e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	111
Figura 35 - Gráfico de dispersão entre a média mensal de colaboradores na obra e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	112
Figura 36 - Gráfico de dispersão entre o atraso no tempo de construção (mês) e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	112
Figura 37 - Gráfico de <i>boxplot</i> entre o uso de fonte alternativa de água e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras	115
Figura 38 - Gráfico de resíduos do modelo de Regressão Linear Múltipla para indicador de consumo de água (m^3/m^2)	119
Figura 39 - Gráfico de resíduos das variáveis do modelo de Regressão Linear Múltipla para indicador de consumo de água (m^3/m^2)	120
Figura 40 - Gráfico dos indicadores de consumo de água (m^3/m^2) com valores reais e preditos dos 50 canteiros de obras	122

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Lista de artigos relacionados às perguntas da revisão sistemática da literatura	30
Quadro 2 - Questões para levantamento de informações	62

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Indicadores de consumo de água em canteiros de obras encontrados na revisão sistemática da literatura	45
Tabela 2 - Frequência por ano Liberação “Habite-se”	57
Tabela 3 - R ² mínimo que pode ser tido como estatisticamente significativo com um poder de 0,80 para diferentes números de variáveis independentes e tamanhos de amostras	57
Tabela 4 - Escala de Cohen para coeficiente de determinação R ²	58
Tabela 5 - Métricas de Análise	72
Tabela 6 - Principais informações sobre a amostra	75
Tabela 7 - Frequência dos canteiros de obra por bairro	77
Tabela 8 - Padrão construtivo	79
Tabela 9 - Áreas comuns	80
Tabela 10 - Estatísticas Descritivas variáveis quantitativas	81
Tabela 11 - Frequências de atrasos no tempo de obra	90
Tabela 12 - Frequências do Tipo de mão de obra utilizada	92
Tabela 13 - Frequências do Tipo de método construtivo utilizado	93
Tabela 14 - Frequências de Material utilizado para vedação interna	94
Tabela 15 - Frequências de Uso de algum sistema pré-fabricado	95
Tabela 16 - Frequências do tipo de massa para reboco	95
Tabela 17 - Frequências do tipo de massa para contrapiso	96
Tabela 18 - Frequências para as superfícies que foram molhadas antes da aplicação dos revestimentos com argamassa	97
Tabela 19 - Frequências de existência de lava rodas nas obras	97
Tabela 20 - Frequências de uso de equipamentos que utilizam água para evitar a geração de poeira na obra	98
Tabela 21 - Frequências de lavagem de fachadas	98
Tabela 22 - Frequências de relato de situações de desperdícios de água durante a construção	99
Tabela 23 - Ação de uso racional de água	99
Tabela 24 - Frequências de uso de fonte alternativa de água durante a construção	100

Tabela 25 - Frequências dos empreendimentos que pleitearam algum tipo de Certificação Ambiental	100
Tabela 26 - Indicadores de consumo de água	102
Tabela 27 - Estatística Descritiva dos indicadores de consumo de água	105
Tabela 28 - Resultados das correlações das variáveis quantitativas	108
Tabela 29 - Resultado da correlação entre área construída (m ²) e demais variáveis numéricas construtivas	109
Tabela 30 - Resultados dos testes t de <i>Student</i> e <i>Wilcoxon Mann Whitney</i> para as variáveis qualitativas com 2 categorias	114
Tabela 31 - Resultados dos testes ANOVA e <i>Kruskal-Wallis</i> para as variáveis qualitativas com 3 ou mais categorias	116
Tabela 32 - Coeficientes das variáveis da regressão	117
Tabela 33 - Coeficientes das variáveis finais da regressão para indicador de consumo (m ³ /m ²)	118
Tabela 34 - Resultado das métricas de análise entre o modelo de regressão linear múltipla e a validação cruzada K-Fold	121

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIQ	Amplitude Interquartil
ANOVA	Análise de Variância (<i>Analysis of Variance</i>)
CAJ	Secretaria do Meio Ambiente de Joinville
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CBM	Corpo de Bombeiros Militar
CBVJ	Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville
CNI	Confederação Nacional da Indústria
CO ₂	Dióxido de Carbono
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITACA	<i>Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale</i>
LEED	<i>Leadership in Energy and Environmental Design</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i> (Erro Médio Absoluto)
MAPE	<i>Mean Absolute Percentual Error</i> (Erro Percentual Absoluto Médio)
NBR	Norma Brasileira
NR	Norma Regulamentadora
PIB	Produto Interno Bruto
R ²	<i>Determination Coefficient</i> (Coeficiente de Determinação)
RMSE	<i>Root Mean Squared Error</i> (Raiz Quadrada do Erro Médio)
SAMA	Secretaria do Meio Ambiente de Joinville
SEPUD	Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável
SIDRA	Sistema IBGE de Recuperação Automática
TRA-EFCT	<i>Targeted research action on environmentally friendly construction technologies</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
VIF	<i>Variance Inflation Factor</i> (Fator de Inflação de Variância)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	18
1.1	JUSTIFICATIVA	19
1.2	OBJETIVOS	21
1.2.1	Objetivo Geral	21
1.2.2	Objetivos Específicos	21
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	21
2	REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	23
2.1	INTRODUÇÃO	23
2.2	MÉTODO	26
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
2.3.1	Quais fatores influenciam o consumo de água nos canteiros de obras?	32
2.3.2	Qual o consumo de água durante a fase de construção?	36
2.3.2.1	<i>Consumo de água por pessoa</i>	36
2.3.2.2	<i>Consumo de água nas atividades construtivas (consumo de água direto no canteiro de obras)</i>	37
2.3.2.3	<i>Consumo de água incorporada (consumo direto e indireto de água) e virtual (consumo indireto de água)</i>	39
2.3.3	Como é tratado pela literatura, o tema conservação da água em canteiros de obras?	41
2.3.4	Síntese dos Resultados e Discussão	44
2.4	CONCLUSÃO	47
	REFERÊNCIAS	48
3	METODOLOGIA	52
3.1	DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: CANTEIRO DE OBRAS	52
3.2	SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	53
3.3	DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO	55
3.3.1	Tamanho da Amostra	56
3.3.2	Tipo de Amostragem	59
3.3.3	Levantamento de Informações para o estudo de caso	61
3.3.4	Coleta de Dados	63
3.4	CÁLCULO DE INDICADORES DE CONSUMO	64

3.5	MODELAGEM ESTATÍSTICA	65
3.5.1	Cálculo Numérico de Interpolação Polinomial	65
3.5.2	Variáveis Dependentes e Independentes da Amostra	66
3.5.3	Análise Exploratória	66
3.5.4	Correlação entre as variáveis	67
3.5.5	Modelo de Regressão Linear Múltipla	68
3.5.6	Seleção das variáveis	69
3.5.7	Análise dos resíduos e da multicolinearidade	70
3.5.8	Modelo final e validação	71
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4.1	AMOSTRA (50 CANTEIROS DE OBRAS)	74
4.1.1	Distribuição nos bairros	77
4.1.2	Padrão Construtivo	79
4.1.3	Áreas Comuns	79
4.1.4	Variáveis Quantitativas	80
4.1.4.1	<i>Área Total Construída (m²)</i>	<i>81</i>
4.1.4.2	<i>Quantidade de Torres</i>	<i>83</i>
4.1.4.3	<i>Quantidade de Pavimentos</i>	<i>83</i>
4.1.4.4	<i>Quantidade de Unidades Habitacionais (apartamentos)</i>	<i>85</i>
4.1.4.5	<i>Quantidade de tipos de apartamentos diferentes</i>	<i>86</i>
4.1.4.6	<i>Quantidade de banheiros e lavabos</i>	<i>87</i>
4.1.4.7	<i>Quantidade de dormitórios de suítes</i>	<i>88</i>
4.1.4.8	<i>Atraso no tempo de obra</i>	<i>90</i>
4.1.4.9	<i>Média mensal de colaboradores na obra</i>	<i>90</i>
4.1.5	Tipo de mão de obra	92
4.1.6	Áreas operacionais dos canteiros de obras	92
4.1.7	Tipo de Método Construtivo utilizado	93
4.1.8	Tipo de Material utilizado para vedação interna	94
4.1.9	Sistema Pré-fabricado	94
4.1.10	Tipo de massa para reboco	95
4.1.11	Tipo de massa para contrapiso	95
4.1.12	Impermeabilização	96
4.1.13	Cerâmica: superfícies que foram molhadas antes da aplicação de revestimentos com argamassa	97

4.1.14	Existência de Lava Rodas nas obras	97
4.1.15	Uso de algum equipamento que utilizou água para evitar geração de poeira	98
4.1.16	Lavagem de Fachada	98
4.1.17	Relato de situações de desperdícios de água durante a construção	99
4.1.18	Ação de Uso Racional de Água durante a construção	99
4.1.19	Uso de Fonte Alternativa de Água durante a construção	100
4.1.20	O empreendimento em questão pleiteou algum tipo de Certificação Ambiental?	100
4.1.21	Relato dos respondentes de informações sobre algo que possa impactar o consumo de água nos canteiros de obras	101
4.1.22	Indicadores de Consumo de Água	102
4.1.23	Correlação entre os indicadores de consumo de água (m ³ /m ²) e as variáveis quantitativas	107
4.1.24	Relação entre os indicadores de consumo de água (m ³ /m ²) e as variáveis qualitativas	113
4.1.24.1	<i>Variáveis qualitativas com 2 categorias (sim e não)</i>	113
4.1.24.2	<i>Variáveis qualitativas com 3 ou mais categorias</i>	115
4.1.25	Regressão Linear Múltipla para indicador de consumo de água (m ³ /m ²)	116
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	125
5.1	LIMITAÇÕES DA PESQUISA	126
5.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	127
	REFERÊNCIAS	128
	APÊNDICE A	135
	APÊNDICE B	137
	APÊNDICE C	146
	APÊNDICE D	147
	APÊNDICE E	148
	APÊNDICE F	149
	APÊNDICE G	150
	APÊNDICE H	151
	APÊNDICE I	152

APÊNDICE J	154
APÊNDICE K	159
APÊNDICE L	162
ANEXO A	164

1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural que está associado à história do homem e ao nascimento, desenvolvimento e evolução das cidades (Viero, 2015) e também é um elemento que está associado ao quadro econômico das cidades (Viero, 2015). A água é essencial para a vida nas cidades, impactando o ambiente construído, desde edifícios, ruas, praças, parques, além da paisagem como um todo (Ponte, 2019). Tucci (2008) expõe que o desenvolvimento sustentável urbano tem o objetivo de melhorar a qualidade da vida da população e a conservação ambiental e que os sistemas urbanos se referem a áreas de consumo e moradia. A gestão das águas urbanas (abastecimento de água e saneamento) é determinante para o planejamento, implementação e manutenção da infraestrutura da cidade (Tucci, 2008). Costa *et al.* (2009) afirmam que as diversas atividades nas cidades utilizam água, e muitas delas necessitam de grandes volumes, ocasionando impactos na quantidade e qualidade.

Neste cenário, a indústria tem apresentado soluções para otimizar o uso da água e apesar da gestão dos recursos hídricos ser uma questão de relevância no Brasil, esse é um desafio global afirma a Confederação Nacional da Indústria (CNI, 2023). Um dos usos da água pouco discutido apontado por Costa *et al.* (2009) é a gestão de recursos hídricos para a execução de obras civis. Mateus (2009) menciona que, de acordo com o ritmo de crescimento da população e à medida que as atividades humanas aumentam, as atividades da construção seguem o mesmo fluxo. O autor ainda afirma que, desde sempre, o homem sentiu necessidade de satisfazer suas necessidades elementares e, por isso, por meio da imaginação foi desenvolvendo algumas construções e recriando um novo mundo. A Comissão Europeia *Targeted research action on environmentally friendly construction technologies* (TRA-EFCT, 2001) define como construção todas as atividades econômicas que envolvem montagem ou atividades de produção de estruturas fixas e movimentação de terra no local de interferência. Isso inclui a construção de edifícios, estradas, ferroviárias, portos, hidrovias, pontes, torres, barragens, túneis, abastecimento e drenagem de águas, escavação subterrânea, construções industriais, plataformas marítimas, aterros, escavações e paisagismo (TRA-EFCT, 2001).

A construção civil integra uma série de atividades com diferentes graus de complexidades ligadas entre si pela diversificação de produtos, processos e diferentes

demandas (Mello; Amorim, 2009). Mello e Amorim (2009) afirmam que o setor da construção civil ocupa um papel importante na economia brasileira, impactando na geração de empregos, financiamento do setor imobiliário e influência no PIB (Produto Interno Bruto). De acordo com a Câmara Brasileira da Indústria da Construção (CBIC, 2022) no biênio 2021-2022 a economia brasileira apresentou expansão de 8,2%. A construção de edifícios é destaque na geração de novas vagas no setor, uma vez que de 288.517 novos empregos criados pela construção entre janeiro e outubro de 2022, a construção de edifícios respondeu por 41,8% do total (CBIC, 2022).

Logo, a indústria da construção, principalmente o setor de edifícios está ligada a três dimensões do desenvolvimento sustentável que são: ambiente, sociedade e economia (Mateus, 2009). O volume de água usado nas atividades construtivas é influenciado pela escolha dos insumos, ferramentas e técnicas implantadas nos canteiros de obras, além do número de atividades que são executadas simultaneamente (Câmara *et al.*, 2020). O uso da água na construção é assunto pouco estudado e que carece de evidências empíricas, por isso a preocupação com a sustentabilidade e uso racional da água na construção civil é fundamental (Waidyasekara; Silva; Rameezdeen, 2017; Cisneiros; Vazquez, 2018). Há necessidade de averiguação das quantidades e formas do uso da água nos canteiros de obras (Câmara *et al.*, 2020).

1.1 JUSTIFICATIVA

A construção de edifícios é uma atividade de grande importância, não só por seus números em comparação a outras atividades de construção, mas também pela forma como os edifícios influenciam a qualidade de vida e saúde das populações, considerando fatores associados a conforto e salubridade que são aspectos cada vez mais importantes para os habitantes dos edifícios (Mateus, 2009). Pessarello (2008) discorre sobre a importância da água na construção civil, sendo ela um elemento essencial e indispensável para alguns serviços, bem como para o consumo humano. Com a modernidade, a água passou a ser vista como um recurso hídrico, e não mais como um bem natural disponível apenas para a existência de seres vivos, passando a ser aplicada em outros usos (Bacci; Patuca, 2008). Com a exploração excessiva e descontrolada dos recursos naturais, dentre eles a água, gerou-se um dos problemas

mais graves deste século, uma crise socioambiental apontada por Bacci e Pataca (2008). Essa crise engloba aspectos multidisciplinares nos setores sociais, econômicos, culturais, tecnológicos e, principalmente, ambientais que influenciam de forma direta as atividades globais com aumento da pobreza, falta de saneamento básico, derrubada de matas, expansão agropecuária, tendo impactos diretos na urbanização e industrialização (Bacci; Pataca, 2008).

A construção civil tem inegável relevância quando se discute a gestão de recursos hídricos, e por isso deve-se ter responsabilidade sobre o uso deste recurso natural em todo o seu processo, desde a concepção dos produtos até a compra de materiais e processos de construção, bem como em todas as atividades que envolvem o uso da água de forma direta ou indireta (CBIC, 2020). De forma habitual, a água não é considerada como um material na construção civil, possivelmente pelo baixo custo e sentimento de que se trata de um bem ilimitado (Câmara *et al.*, 2020). Em vista disso, alguns pesquisadores avaliaram o uso da água nas obras e ações para conservação desse recurso na indústria da construção civil. Erdenekhuu, Kocsi e Máté (2022) expõem que o consumo de água é um dos indicadores cruciais nos projetos de construção sustentável. No estudo realizado por Achari, Rane e Gangar (2023) concluiu-se que a água é um dos recursos naturais mais utilizados na construção civil e, por isso, necessita-se de monitoramento e implantação de estratégias para economia de água. Câmara *et al.* (2020) pesquisaram sobre o consumo de água em canteiros de obras e afirmam que, para entender a demanda é necessário verificar as formas de abastecimento nesses locais, estabelecendo ainda que o consumo pode ser dividido entre o uso humano, atividades construtivas e desperdícios.

Segundo o *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2021) a disponibilidade de dados que descrevem o estoque global de edifícios é limitada e são necessárias informações para apresentar uma imagem clara das tendências e mudanças nesse setor. Além disso, há escassez de literatura na temática do uso racional de água nas construções (Câmara *et al.*, 2020). Sendo esse um tema pouco explorado até o momento e em vista da importância do setor da construção civil no que concerne à geração de impactos ambientais, a presente pesquisa busca investigar as variáveis que influenciam o consumo de água em canteiros de obras do tipo verticais multifamiliares. Além disso, pretende-se estabelecer modelos de

previsão do consumo de água utilizando as variáveis encontradas, visto que este é um tema pouco investigado na literatura até o momento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é identificar as variáveis que influenciam o consumo de água nos canteiros de obras residenciais multifamiliares verticais na cidade de Joinville/SC.

1.2.2 Objetivos Específicos

Para ordenar o desenvolvimento do objetivo geral, estabeleceram-se os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar as variáveis que implicam na variação do consumo de água em canteiros de obras do tipo residencial multifamiliar vertical na cidade de Joinville/SC;
- b) analisar a influência dessas variáveis no consumo de água para construção de edifícios residenciais verticais multifamiliares;
- c) determinar o indicador de consumo de água (m^3) por área construída (m^2) para os canteiros de obras analisados na cidade de Joinville;
- d) desenvolver um modelo estatístico de previsão de consumo de água em canteiros de obras.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura deste trabalho foi desenvolvida em cinco capítulos principais que englobam as questões desta pesquisa, sendo: introdução, revisão sistemática da literatura, metodologia da pesquisa, resultados e discussões, e por último, considerações finais. O intuito do primeiro capítulo é introduzir o tema escolhido, apresentar a justificativa da pesquisa, o objetivo geral e os objetivos específicos do presente trabalho.

No segundo capítulo é apresentada a revisão sistemática da literatura, com o tema consumo de água em canteiros de obras, que é objeto de estudo deste trabalho. Nesta revisão, são apresentados conceitos e informações acerca do tema em questão, com informações nacionais e internacionais, indicadores de consumo e questões ligadas ao consumo de água em atividades da construção civil em canteiros de obras. O capítulo foi escrito em formato de artigo científico e, como base para essa revisão, utilizaram-se artigos científicos encontrados por meio de uma *string* (conjunto de palavras) de busca nas bases *Scopus* e *Web of Science*.

O terceiro capítulo apresenta o método utilizado nesta pesquisa. Com o objeto de estudo identificado, por meio de um questionário foi realizada a coleta de dados acerca dos edifícios em fase de construção. As informações acerca da tipologia construtiva e demais informações do empreendimento foram fornecidas pelas construtoras dos respectivos empreendimentos selecionados para o estudo e as informações de consumo de água nessas obras foram fornecidas pela Companhia Águas de Joinville, com o consentimento das construtoras. No terceiro capítulo é apresentada a determinação do tamanho da amostra, os procedimentos metodológicos para a análise exploratória dos dados, o modelo de regressão linear múltipla, o método definido para a seleção das variáveis e o software estatístico escolhido para análise e desenvolvimento deste trabalho.

No quarto capítulo, expõem-se os resultados encontrados por meio do método de pesquisa proposto. São apresentados os indicadores de consumo de água em canteiros de obras obtidos para a amostra de pesquisa, além da relação entre o consumo de água e as variáveis analisadas. Os modelos obtidos para a previsão de consumo de água em canteiros de obras são apresentados neste capítulo, discutidos e validados de acordo com os requisitos propostos nos procedimentos metodológicos.

O quinto capítulo deste trabalho trata das considerações finais acerca do tema em estudo, com as principais conclusões a respeito do estudo, além das limitações encontradas no presente trabalho e sugestões para a continuidade desta pesquisa. Em seguida, são apresentadas as referências bibliográficas que embasaram esta pesquisa e os apêndices, incluindo o questionário para a coleta dos dados dos empreendimentos que compõem a amostra da pesquisa utilizada neste trabalho.

2 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Autoras: Ravizza, Kamilla¹; Mergener, Barbara Christina²; Kalbusch, Andreza³; Henning, Elisa⁴.

¹ Civil Engineering Department, Santa Catarina State University (UDESC); 89219-710, Joinville, SC, Brazil; kamilla.ravizza@edu.udesc.br

² Civil Engineering Department, Santa Catarina State University (UDESC); 89219-710, Joinville, SC, Brazil; barbara.mergener25@edu.udesc.br

³ Civil Engineering Department, Santa Catarina State University (UDESC); 89219-710, Joinville, SC, Brazil; andreza.kalbusch@udesc.br

⁴ Civil Engineering Department, Santa Catarina State University (UDESC); 89219-710, Joinville, SC, Brazil; elisa.henning@udesc.br

RESUMO

A água, apesar de não ser considerada de maneira direta um material de construção, tem papel essencial nos canteiros de obra. A construção civil é um setor que utiliza de forma intensa recursos naturais em seus processos e materiais. O uso da água para a construção de edifícios pode variar de acordo com o tipo de construção. Por isso, alguns estudos discutem a eficiência hídrica desde a produção de insumos até a demanda de consumo de água nas diversas fases da obra. A gestão do uso da água na execução de edifícios ainda é pouco documentada na literatura, por isso é importante sistematizar o que já foi estudado acerca dos indicadores de consumo, bem como dos fatores que determinam o consumo de água em canteiros de obras em diferentes partes do mundo. A análise dos artigos permitiu encontrar indicadores de consumo direto de água no canteiro de obras, que variaram entre 0,29 m³/m² e 2 m³/m². Com relação aos fatores diretamente ligados ao consumo de água, são mencionados na literatura a área construída, a quantidade de funcionários no canteiro de obras, além de técnicas construtivas e materiais empregados.

Palavras-chaves: Construção civil; canteiro de obras; revisão de literatura; consumo de água.

2.1 INTRODUÇÃO

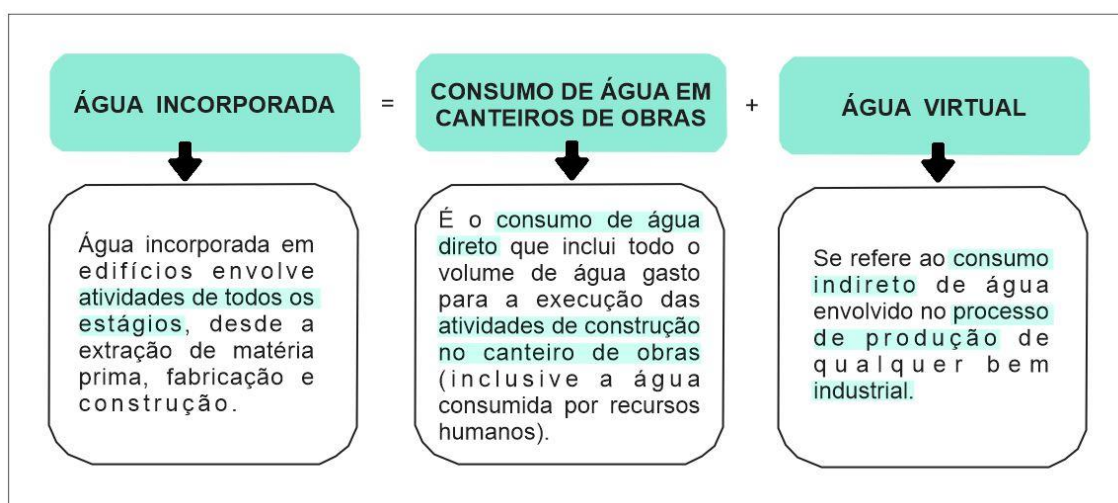
Os processos construtivos e seus produtos, como as edificações, são um dos principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais, entretanto, o consumo de água na indústria da construção é um dos assuntos menos pesquisados (Hariharan *et al.*, 2022). Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) mencionam que a sustentabilidade no uso da água na construção é uma área de pesquisa pouco estudada e que carece de evidências empíricas. Hasan *et al.* (2021) afirmam que o meio ambiente não é influenciado apenas pela operação dos edifícios, mas também pela construção, e que a escolha de materiais pode influenciar de forma direta ou indireta os impactos ambientais.

Embora a construção de edifícios tenha influência positiva nos setores da economia e importante papel social, esse setor apresenta impactos ambientais que vão desde a extração de recursos brutos, mineração até a fabricação, processamento, uso e demolição (Taha; Ibrahim; Ali, 2016). Em virtude disso, a preocupação com a sustentabilidade e uso racional da água na construção civil é fundamental (Cisneiros; Vazquez, 2018). A demanda de água em canteiros de obras se dá em quase todas as atividades, como no consumo de água pelos trabalhadores, na aplicação, mistura ou produção de materiais, atividades e serviços (Cisneiros; Vazquez, 2018). Um estudo realizado por Khasreen, Banfill e Menzies (2009) aponta os impactos ambientais gerados pela construção civil, indicando o consumo de água como segundo fator de maior efeito, ficando atrás apenas dos índices de emissões de CO₂. Cisneiros e Vazquez (2018) afirmam que o consumo de água nos canteiros de obras está diretamente relacionado aos métodos construtivos adotados. Câmara *et al.* (2020) mencionam que há necessidade de averiguação das quantidades e formas do uso da água nos canteiros de obras, e que as características de cada edifício contribuem para a variação no indicador de consumo de água. Apesar da importância do tema, a maioria dos estudos sobre o desempenho ambiental dos edifícios centra-se no uso de energia e nas emissões, negligenciando muitas vezes o consumo de outros recursos, como a água (El-Hameed *et al.*, 2017).

Para definição dos termos utilizados neste trabalho, a Figura 1 apresenta conceitos importantes na área de construção de edifícios e consumo de água, como água incorporada, consumo de água em canteiros de obras (ou consumo direto de

água em canteiros de obras) e água virtual. Heravi e Abdolvand (2019) expõem que a avaliação do consumo virtual de água destaca a importância de processos voltados à conservação de água na produção de materiais e construção de empreendimentos. A água incorporada, conforme discutido por Dixit e Kumar (2022), pode ser definida como todo consumo direto e indireto de água na construção, como na extração de matérias primas para os produtos que são utilizados na construção de edifícios.

Figura 1 - Síntese dos conceitos



Fonte: Elaborado com base em Bardhan (2011), Heravi e Abdolvand (2019), Dixit e Kumar (2022) e Nakamura *et al.* (2023).

Utsev *et al.* (2022) abordam os métodos construtivos com relação à sustentabilidade, apontando os efeitos nocivos que algumas práticas têm gerados ao meio ambiente como o aquecimento global, a degradação ambiental e o esgotamento dos recursos naturais. Energia, água e materiais são os principais insumos para a construção, sendo a proteção desses, um dos princípios da arquitetura sustentável (Yilmaz; Bakis, 2015). Esta revisão sistemática busca avaliar como o tema consumo de água em canteiros de obras é tratado na literatura científica. Acredita-se que essa é a primeira revisão sistemática da literatura acerca do tema consumo de água em canteiros de obras. Para melhor compreensão deste trabalho, o termo canteiro de obras será empregado para descrever o local onde se desenvolvem as atividades relacionadas à construção e execução de edifícios.

O objetivo desta pesquisa é identificar os indicadores de consumo de água em canteiros de obras em diferentes partes do mundo. Esse estudo analisa ainda os

fatores que influenciam o consumo de água em canteiros de obras e os tipos de empreendimentos analisados em estudos anteriores, fornecendo uma visão integral da pesquisa e avanço atual na área. A principal contribuição científica desta revisão de literatura está na compreensão da demanda de consumo de água nos canteiros de obras, além do conhecimento dos fatores que influenciam a demanda desse setor.

2.2 MÉTODO

O intuito da revisão sistemática da literatura é compreender o estado da arte, identificar lacunas e desafios na área da pesquisa (Rivera *et al.*, 2022). De acordo com Rivera *et al.* (2022) a revisão sistemática da literatura é um procedimento metodológico de pesquisa para coletar, identificar e analisar estudos disponíveis acerca do tema de pesquisa. Ainda segundo Rivera *et al.* (2022) as estratégias para a revisão sistemática da literatura devem estar claramente definidas porque o objetivo final do protocolo é garantir a replicabilidade da revisão. A partir de então, deve-se garantir uma consulta adequada e um banco de artigos confiável. Por isso, as bases de artigos definidas para esta revisão sistemática da literatura foram a *Scopus* e *Web of Science*. *Web of Science* e *Scopus* destacam-se como líderes mundiais entre os bancos de dados de citações e pesquisadores de cada vez mais lugares do mundo e áreas de conhecimento estão envolvidos no uso de ambas as bases (Zhu; Liu, 2020).

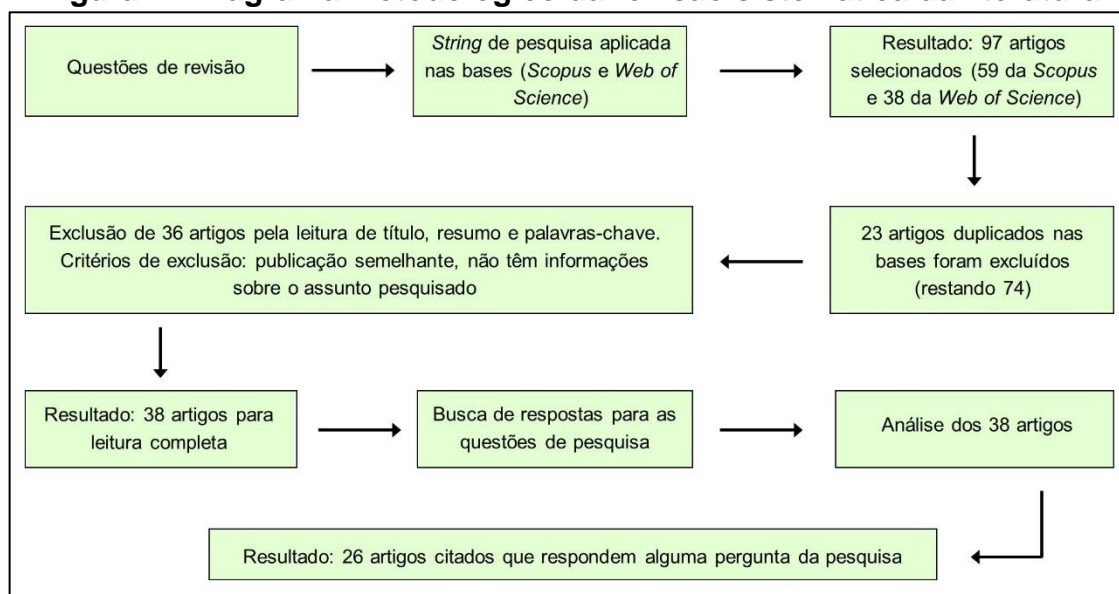
As questões que esta revisão sistemática de literatura pretende responder são: (i) quais fatores influenciam o consumo de água nos canteiros de obras? (ii) qual o consumo de água durante a fase de construção? (iii) como é tratado pela literatura o tema conservação da água em canteiros obras? Como o intuito da pesquisa é responder as questões elencadas e tendo conhecimento de que os diversos lugares do mundo possuem diferentes abordagens relacionadas ao tema consumo de água em canteiro de obras, definiu-se uma *string* de busca que foi empregada para garantir a maior cobertura possível a respeito do tema de pesquisa. A *string* de pesquisa definida foi "*water demand*" OR "*water consumption*" OR "*water use*" AND "*construction phase*" OR "*construction site*" OR "*building construction*" para alcançar trabalhos relacionados ao consumo de água em canteiros de obras. A definição da *string* tem o intuito de abranger o maior número possível de pesquisas acerca do tema, por isso utilizaram-se operadores booleanos para expandir os parâmetros de busca.

A pesquisa abrangeu artigos incluídos nas duas plataformas do dia 01 de janeiro de 2001 até dia 25 de maio de 2024.

Os critérios de busca realizados no *Scopus* e *Web of Science* foram os mesmos, uma vez que se limitou a busca para artigos científicos, que deveriam estar em inglês e estabeleceu-se a busca nos seguintes itens: título, resumo e palavras chaves. Como resultado da pesquisa nas duas bases de artigos científicos, foram obtidos ao todo 97 artigos para seleção, sendo 59 artigos da *Scopus* e 38 artigos da *Web of Science*. Para validar os estudos encontrados aplicaram-se as técnicas de *skimming* e *scanning* por meio da ferramenta Parsifal. O Parsifal é uma ferramenta *on-line* projetada para realizar revisões sistemáticas da literatura, fornece mecanismos para documentar todo o processo, além de auxiliar no planejamento das questões de pesquisa, bem como critérios para inclusão ou exclusão dos trabalhos na revisão (Parsifal, 2021).

Durante a fase de realização da análise na ferramenta Parsifal, os artigos encontrados nas bases de pesquisa foram importados por meio de arquivo *bibtex* para o Parsifal e a partir disso foi feita a avaliação dos artigos que foram selecionados por meio da *string* de pesquisa. Foram encontrados 23 artigos duplicados nas duas bases de pesquisa (*Scopus* e *Web of Science*). Após a avaliação dos 74 artigos restantes foram excluídos 36 artigos porque não continham informações sobre o assunto pesquisado. Assim, permaneceram 38 artigos para a etapa de leitura completa. Destes 38 estudos, 26 responderam alguma das três principais questões dessa pesquisa conforme a Figura 2.

Figura 2 - Diagrama metodológico da revisão sistemática da literatura



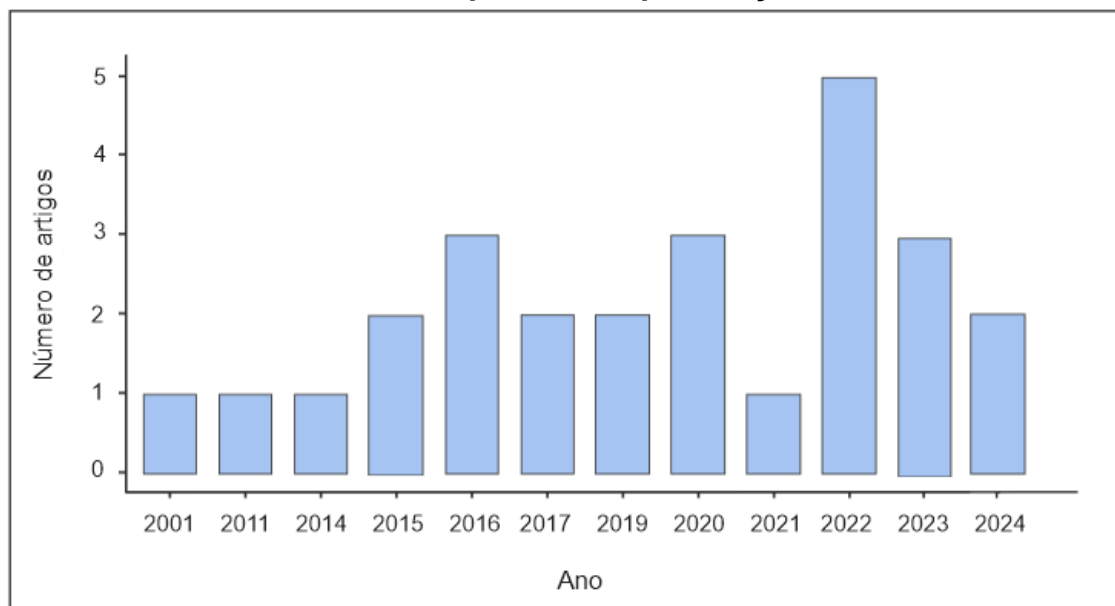
Fonte: A autora (2024)

A partir do conjunto de artigos foi realizada a análise exploratória, utilizando medidas descritivas e gráficas. Foram analisados os conteúdos dos textos de forma individual, os textos foram categorizados em seções com objetivo de responder as três questões de pesquisa, e os principais resultados foram sintetizados e discutidos. Para auxiliar e organizar os principais termos que envolvem esta revisão acerca do consumo de água em canteiros de obras, foi elaborada uma nuvem de palavras que exhibe as expressões mais encontradas no título, resumo e palavras chaves dos 26 artigos dessa revisão sistemática da literatura. As nuvens de palavras são utilizadas como um método de visualização para fornecer uma visão geral, simples e visual dos textos, visto que extraem dos textos palavras que aparecem com maior frequência (Heimerl *et al.*, 2014). Os termos foram listados e enumerados por ordem de repetição, com base nos 26 artigos científicos aceitos para esta revisão sistemática da literatura acerca do consumo de água em canteiros de obras. Como protocolo para a criação da nuvem de palavras, adotou-se como critério a inclusão das 50 palavras mais recorrentes no título, resumo e palavras chaves dos 26 artigos científicos. Essas palavras precisariam ter no mínimo 4 letras e foram agrupadas em palavras similares.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

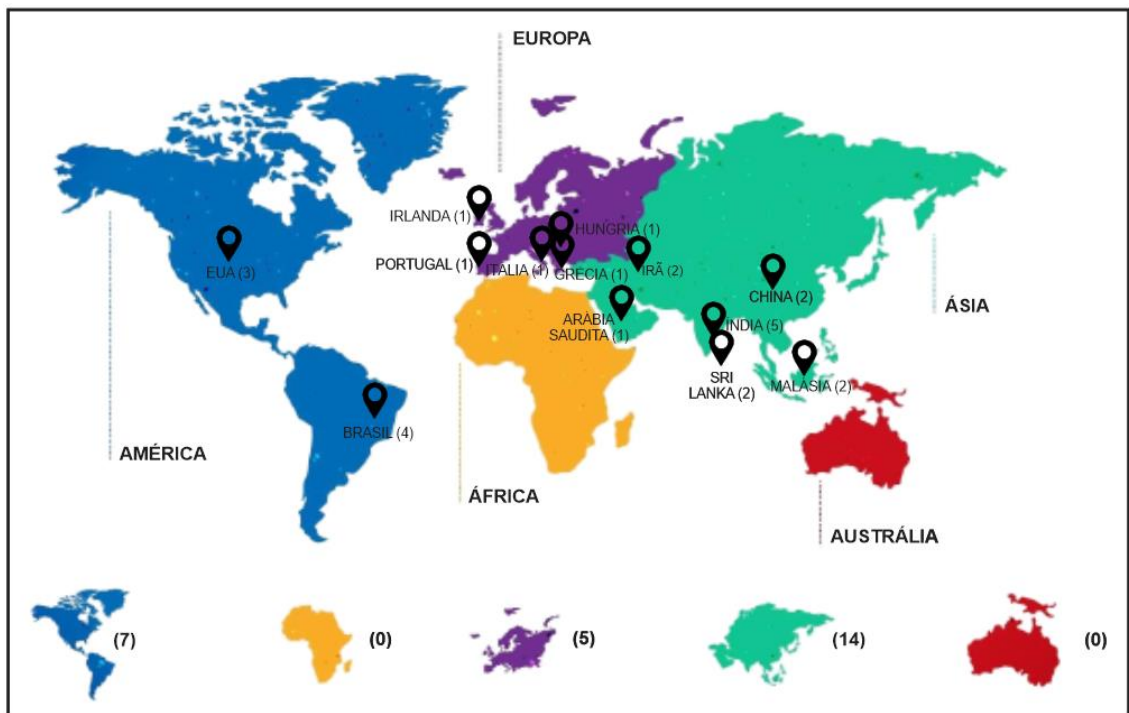
A partir da seleção realizada com base nos procedimentos metodológicos descritos, esta seção apresenta os principais resultados e discussões acerca do tema consumo de água em canteiro de obras. A Figura 3 mostra a distribuição dos estudos ao longo do tempo, indicando que o número de publicações aumentou ao longo dos últimos anos. Os artigos considerados para essa revisão referentes ao ano de 2024 englobam apenas os artigos publicados até 25 de maio de 2024. A Figura 4 ilustra a quantidade de publicações incluídas nesta revisão sistemática da literatura conforme a localização da área de estudo, indicando que o maior número de estudos realizados foi no continente asiático, seguido pelo continente americano e por último, o europeu. O Quadro 1 sintetiza quais estudos atenderam as perguntas da pesquisa acerca do consumo de água em canteiros de obras. Se consideradas as publicações realizadas por países, o país com maior número de publicações a respeito desse tema (Quadro 1) foi a Índia com 5 publicações, seguido do Brasil, com 4 publicações e dos Estados Unidos, com 3 publicações.

Figura 3 - Distribuição dos Artigos aceitos para revisão sistemática da literatura por ano de publicação



Fonte: A autora (2024)

Figura 4 - Distribuição dos Artigos aceitos para revisão sistemática da literatura por localidade



Fonte: A autora (2024)

Quadro 1- Lista de artigos relacionados às perguntas da revisão sistemática da literatura

(continua)

INFORMAÇÕES DOS ESTUDOS (26)			PERGUNTAS DA PESQUISA		
AUTOR	ANO	LOCAL	(i) Quais fatores influenciam o consumo de água nos canteiros de obras?	(ii) Qual o consumo de água durante a fase de construção?	(iii) Como é tratado pela literatura, o tema conservação da água em canteiros de obras?
Sharma e Chani	2024	Índia		x	
Jing <i>et al.</i>	2024	Malásia	x		
Hosseinian, Sabouri e Garmichael	2023	Irã	x		
Achari, Rane e Gangar	2023	Índia		x	x

Fonte: A autora (2024)

**Quadro 1- Lista de artigos relacionados às perguntas da revisão
sistemática da literatura**

(continuação)

INFORMAÇÕES DOS ESTUDOS (26)			PERGUNTAS DA PESQUISA		
AUTOR	ANO	LOCAL	(i) Quais fatores influenciam o consumo de água nos canteiros de obras?	(ii) Qual o consumo de água durante a fase de construção?	(iii) Como é tratado pela literatura, o tema conservação da água em canteiros de obras?
Garg <i>et al.</i>	2023	Índia		x	
Sharma e Chani	2022	Índia		x	
Dixit, Kumar e Haghghi	2022	EUA		x	
Erdenekhuu, Kocsi e Máté	2022	Hungria			x
Hariharan <i>et al.</i>	2022	EUA		x	
Kakanis e Gaidajis	2022	Grécia	x		
Albertini <i>et al.</i>	2021	Brasil	x		
Zeule, Serra, e Teixeira	2020	Brasil	x	x	
Souza e Ghisi	2020	Brasil		x	x
Gottsche e Kelly	2020	Irlanda	x		
Tirth <i>et al.</i>	2019	Índia		x	
Heravi e Abdolvand	2019	Irã		x	
Waidyasekara, Silva e Rameezdeen	2017	Sri Lanka			x
Xu e Pei	2017	China	x		
Han <i>et al.</i>	2016	China		x	
Macieira e Mendonça	2016	Portugal	x		
Waidyasekara, Silva e Rameezdeen	2016	Sri Lanka	x		
Santos, Silva e Cerqueira	2015	Brasil	x	x	

Fonte: A autora (2024)

Quadro 1- Lista de artigos relacionados às perguntas da revisão sistemática da literatura

(conclusão)

Asdrubali <i>et al.</i>	2015	Itália			x
Esmaelifar, Samari e Shafiei	2014	Malásia	x		
Bardhan	2011	Índia		x	
Gambatese e James	2001	EUA	x		

Fonte: A autora (2024)

As respostas encontradas para as 3 questões de revisão foram categorizadas e são apresentadas nas subseções a seguir.

2.3.1 Quais fatores influenciam o consumo de água nos canteiros de obras?

Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2016) desenvolveram um estudo com o objetivo de explorar maneiras de aumentar a eficiência do uso de água em canteiros de obras, por meio da aplicação de um questionário no qual os entrevistados deveriam selecionar as três principais atividades que consumiam mais água dentro do canteiro de obras em uma lista que identificava 15 processos baseados na revisão de literatura realizada pelos autores. Os respondentes consideraram que as atividades que utilizam mais água estão relacionadas a instalações provisórias e sanitárias, cura do concreto, concretagem, alvenaria, limpeza da obra, comissionamento e testes, reboco e terraplanagem. Além disso, solicitou-se também aos entrevistados que identificassem atividades com maior desperdício de água, tendo sido citados instalações provisórias e sanitárias, limpeza da obra, lavagem de veículos e controle de poeira como os processos com excessivo uso e desperdício de água (Waidyasekara; Silva; Rameezdeen, 2016).

Esmaelifar, Samari e Shafiei (2014) estudaram as fontes de emissões de CO₂ relacionadas ao uso da água durante o período de construção por meio da distribuição de 385 questionários para construtoras na Malásia. Os autores obtiveram retorno de apenas 31 desses questionários. Inicialmente os entrevistados responderam 10 perguntas com o objetivo de identificar o principal uso de água relacionado às

atividades dos canteiros de obras e, de acordo com os respondentes, a localização do canteiro de obras é o fator com maior influência para o consumo de água e para a construção com baixa emissão de carbono. A irrigação de estradas para controle de poeira é a segundo fator com maior influência segundo os entrevistados, e a projeção de concreto ou água utilizada para o concreto é a terceiro. A limpeza do local, alojamento, uso de equipamentos, vazamentos e adição de água ao aterro foram as atividades indicadas como de menor influência para o consumo de água e para a construção com baixa emissão de CO₂ (Esmaelifar; Samari; Shafiei, 2014). Gambatese e James (2001) afirmam que o controle de poeira está ligado às atividades construtivas e envolve a pulverização de água nas estradas, bem como no próprio canteiro de obras, com o uso de mangueiras que são direcionadas manualmente ou por caminhões pipa. Os autores propõem uma alternativa para minimizar o efeito da poeira por meio de um sistema de pulverização de água acoplado em um caminhão, com objetivo de diminuir o consumo de água utilizada para solucionar a poeira produzida em atividades ligadas à construção (Gambatese; James, 2001).

O estudo de caso realizado por Gottsche e Kelly (2020) no oeste da Irlanda contou com a colaboração de um empreiteiro para a amostra com 4 obras cujas atividades foram executadas dentro do prazo de 2 anos. As áreas variaram de 199,5 m² a 401,3 m², e durante a etapa de construção foram realizadas 85 visitas *in loco*. O estudo proposto pelos autores objetivava a investigação de intervenções voltadas à eficiência no uso de recursos durante a fase de construção de modo a identificar iniciativas que, quando implementadas, reduziriam o impacto ambiental nas atividades locais e gerariam ganhos significativos. Um total de 74 iniciativas foram implementadas, sendo 14 iniciativas de gerenciamento de água como a identificação das causas do desperdício de água ao longo do projeto, auditorias incorporando gestão de água no local, instalação de um sistema de torneira para minimizar o desperdício de água e uso de um sistema de caixa de lavagem de ferramentas (Gottsche; Kelly, 2020).

Zeule, Serra e Teixeira (2020) analisaram seis canteiros de obras brasileiros para estudar o uso racional de água e concluíram que no canteiro localizado em Limeira (São Paulo) foram identificadas ações como captação, armazenamento, tratamento e reúso da água. Neste canteiro de obra, o consumo de água previsto era de 17.395,00 m³, porém o consumo real foi de 14.130,00 m³, resultando em uma

economia de 18%. Segundo Zeule, Serra e Teixeira (2020), essa economia foi reflexo das medidas implementadas nos vestiários dos trabalhadores, com sistema de recirculação de água quente, além de instalação de limitadores de fluxo nas torneiras e reúso de água.

Xu e Pei (2017) realizaram um estudo que analisa a aplicabilidade de métodos que possam conter a emissão excessiva de poeira em canteiros de obras e afirmam que as redes antipoeira têm um efeito fraco de supressão de poeira e um alto custo. Tendo como base um canteiro de obras em Pequim (China) com mais de 5.000 m² de área exposta que requer o controle de poeira, os autores argumentam que para a aplicabilidade do método de pulverização de água para controle da emissão de poeira, se consumiria 2 L de água para 1 m² de área três vezes ao dia, ou seja, o canteiro de obras precisaria de 6.000 toneladas de água durante o período de construção, que se considera equivalente a 200 dias. Os autores afirmam que em determinados casos e com a aplicação do método de pulverizar o supressor de poeira pode-se chegar a uma economia de água de até 92,62% (Xu; Pei, 2017).

Um estudo realizado na Malásia por Jing *et al.* (2024), selecionou 5 empreiteiros com o objetivo de explorar os impactos das práticas de gestão de áreas verdes na eficiência do consumo de energia e água no canteiro de obras. A gestão verde está relacionada a práticas adotadas com foco na sustentabilidade ambiental (Jing *et al.*, 2024). Os autores adotaram o método de pesquisa exploratório para o estudo que entrevistou supervisores de obras, gerentes de construção e gerentes de projetos para obter informações detalhadas sobre as práticas de gestão implementadas em seus canteiros de obras visando alcançar eficiência no consumo de energia e água. Dos 5 entrevistados, 3 deles afirmaram que na saída das obras, os veículos saem com pneus sujos de lama e que para limpeza desses pneus, para evitar que a lama se espalhe nas ruas, existe um alto consumo de água e por isso apontaram a construção de baias na saída das obras como uma solução para lavar os pneus (Jing *et al.*, 2024).

Em uma pesquisa feita em Porto Alegre, Brasil, Albertini *et al.* (2021) avaliaram o desempenho ambiental da construção civil nos canteiros de obras, com foco na geração de resíduos, consumo de água e energia. O estudo de caso foi realizado com amostra de canteiros de obras que variam desde 5.000 m² de área construída com uma torre até projetos com mais de 50.000 m² de até quatro torres. Como resultados,

os autores apontaram que o padrão construtivo e a complexidade do projeto implicam em uma maior demanda de materiais e consumo de recursos e que, com relação ao desempenho ambiental, as obras que utilizam materiais industrializados como argamassas, painéis, elementos e equipamentos secos apresentam maior eficiência (Albertini *et al.*, 2021). Além disso, a certificação, fiscalização e layout do canteiro de obras também implicam de maneira positiva o desempenho ambiental (Albertini *et al.*, 2021). Os resultados mostraram que apenas cinco canteiros de obras (30% da amostra) se mostraram eficientes na análise de desempenho ambiental e que as variáveis área construída e consumo de água apresentam um coeficiente de correlação de 0,867, ou seja, há uma relação forte entre as variáveis (Albertini *et al.*, 2021).

Hosseinian, Sabouri e Garmichael (2023) realizaram um estudo em oito edifícios que foram escolhidos de forma aleatória em uma lista da Organização de Engenharia Civil de Teerã. Foi avaliada a pegada hídrica referente à produção de materiais de construção, categorizada nos tipos verde, azul e cinza (Hosseinia; Sabouri; Garmichael, 2023). A água azul refere-se à água doce consumida durante todo o processo de produção e a água cinzenta refere-se à água contaminada gerada na produção (Hosseinia; Sabouri; Garmichael, 2023). No estudo, as estruturas de aço apresentam uma pegada hídrica azul de 1,86 m³/m² e uma pegada hídrica cinza de 207,77 m³/m² enquanto as estruturas de concreto apresentam uma pegada hídrica azul de 1,60 m³/m² e uma pegada hídrica cinza é de 136,88 m³/m² (Hosseinia; Sabouri; Garmichael, 2023).

Kakanis e Gaidajis (2022) buscaram determinar o impacto ambiental proveniente da construção de 1 m² de três tipos de alvenaria utilizando tijolos de argila (com buracos horizontais e verticais) e blocos de concreto aerado autoclavado. Para a execução de um m² de alvenaria externa construída com as mesmas propriedades térmicas, tem-se para os tijolos de argila com buracos verticais o consumo de 5,90 kg de água, 12,45 kg de consumo para os com buracos horizontais e 8,61 kg de consumo de água para os blocos de concreto aerado autoclavado (Kakanis; Gaidajis, 2022).

Macieira e Mendonça (2016) argumentam que existem poucos estudos sobre o consumo de água em edificações e discutem a aplicação de sistemas que consomem menos água nas obras. Macieira e Mendonça (2016) ainda afirmam que, para um sistema construtivo eficiente é necessário o uso de elementos pré-fabricados

e que os sistemas de construção a seco apresentam vantagens, como curto tempo de construção, economia, leveza, flexibilidade além de menor consumo de água para fabricação se comparado a sistemas convencionais (Macieira; Mendonça, 2016).

No estudo de caso realizado por Santos, Silva e Cerqueira (2015) na cidade de Recife, Brasil, em um edifício residencial de 17 andares e com 7.467,66 m², as atividades construtivas somam 16,91% do consumo total da obra. Os testes de impermeabilização representam 7,79%, seguidos pela etapa de estrutura, com 6,77%, revestimento, com 2%, alvenaria, com 0,24% e fundação, com 0,11%. Os autores mencionam que o volume de água utilizado na etapa de estruturas refere-se apenas à atividade de cura do concreto, sem considerar a quantidade de água para preparação do concreto, pois foi usinado fora do canteiro de obras.

2.3.2 Qual o consumo de água durante a fase de construção?

Para o consumo durante as fases construtivas dos empreendimentos, com base na literatura, foram listados indicadores encontrados nos artigos aceitos para essa revisão sistemática da literatura. Assim, apresentam-se os indicadores de consumo de água por pessoa, de consumo direto, que é o consumo de água no canteiro de obras, de consumo virtual, que é consumo de água indireto vinculado ao processo de fabricação de insumo e materiais, além do consumo de água incorporada, que se refere à soma dos consumos direto e indireto (Bardhan, 2011; Heravi e Abdolvand, 2019; Nakamura et al., 2023).

2.3.2.1 Consumo de água por pessoa

Hariharan *et al.* (2022) realizaram um estudo com os trabalhadores de um canteiro de obras de um edifício educacional de quatro andares localizado em Fort Myers/Flórida, no qual os dados referentes ao consumo de água potável foram coletados por meio de entrevistas realizadas entre 4 de julho de 2020 e 26 de abril de 2021. Com esse estudo foi possível estimar a média diária de consumo como sendo de 3,23 litros/ trabalhador/dia, além de um valor mínimo de 2,3 litros/trabalhador/dia e um máximo de 4,51 litros/trabalhador/dia (Hariharan, *et al.* 2022).

Souza e Ghisi (2020) realizaram um estudo na cidade brasileira de Criciúma e em relação à demanda do uso de água potável nas obras, os autores apontaram o indicador de consumo de 51,25 litros/trabalhador/dia. Esse indicador foi determinado com base nas áreas que foram destinadas ao uso dos trabalhadores e inclui o consumo em dispositivos como bacias sanitárias, mictórios, lavatórios, pia, chuveiros e bebedouros.

Um estudo realizado por Santos, Silva e Cerqueira (2015) na cidade brasileira de Recife apontou consumo médio de água de 9,84 litros/funcionário/hora, 86,64 litros/funcionário/dia e 1,91 m³/funcionário/mês. Nesta obra foi instalado um hidrômetro no vestiário para medir o uso de água no ambiente e, como resultado, os autores constataram, que o número de atividades realizadas e o número de funcionários influenciam o volume de água utilizado. Após a estimativa do consumo mensal de água destinada ao uso humano, constatou-se que, dos 6.175 m³ gastos com água potável na obra, 3.575,60 m³ de água foram destinados ao uso pessoal dos funcionários, o que equivale a 57,90% do volume total de água de toda a obra (Santos; Silva; Cerqueira, 2015).

Os estudos mencionados localizados em Fort Myers/Flórida (Hariharan *et al.*, 2022), Criciúma/Brasil (Souza; Ghisi, 2020) e Recife/Brasil (Santos; Silva; Cerqueira, 2015) apresentam indicadores de consumo de água por pessoa distintos, possivelmente porque tratam-se de obras localizadas em cidades e países diferentes, com climas distintos e usuários com diferentes hábitos de consumo de água.

2.3.2.2 *Consumo de água nas atividades construtivas (consumo de água direto no canteiro de obras)*

O consumo direto de água é a que realmente é usada no local do canteiro de obras por meio das atividades construtivas (Garg *et al.*, 2023). O consumo direto de água inclui todo o volume necessário para a execução das atividades de construção no canteiro de obras, inclusive a água consumida por recursos humanos (Heravi; Abdolvand, 2019). Heravi e Abdolvand (2019) e Sharma e Chani (2022) afirmam que o consumo direto de água está relacionado à fase de construção no local. Zeule, Serra e Teixeira (2020) estudaram o uso racional de água em seis canteiros de obras e no canteiro localizado em Limeira (Brasil) o indicador de consumo de água por área

construída foi de 0,29 m³ por m². Neste canteiro de obra, o consumo de água apresentou economia de 18% por meio de medidas adotadas para redução no consumo de água, como a recirculação de água no sistema de aquecimento de água do vestiário dos trabalhadores.

O estudo realizado por Garg *et al.* (2023) aponta a eficiência da água na construção civil como uma questão de preocupação. Os autores objetivam determinar a água consumida durante as atividades de construção de um edifício na Índia. Os autores afirmam que a quantidade de água utilizada durante o processo de construção é em grande parte não contabilizada e não documentada e que, devido à gama de técnicas de construção e trabalhadores com diferentes níveis de habilidades, o uso de água em canteiros de obras pode variar. Para alcançar o objetivo do estudo, os autores levaram em conta as atividades de construção e seus respectivos usos previstos de água considerando a absorção de água por materiais de construção, água para mistura de materiais, para preparação e limpeza de superfícies, para cura de materiais e para limpeza de ferramentas e equipamentos. Como resultado se obteve o consumo direto de água entre 0,5 m³/m² e 0,6 m³/m² (Garg *et al.*, 2023).

Santos, Silva e Cerqueira (2015) investigaram o consumo de água em canteiros de obras na cidade de Recife no Brasil, a obra em questão levou 42 meses para ficar pronta e foi visitada pelos autores mensalmente para coleta de dados referentes ao consumo de água, número de funcionários, custo de mão de obra e água e cronograma de atividades. O consumo de água no canteiro de obras para esse empreendimento foi de 0,83 m³/m² (Santos; Silva; Cerqueira, 2015). As atividades construtivas realizadas neste canteiro de obras demandaram 16,91% do consumo total de água (1.044,06 m³), enquanto 57,90% (3.575,60 m³) foi destinado ao uso pessoal dos funcionários e 25,19% (1.555,34 m³) da água utilizada durante todo o período de construção refere-se a “outros”, que incluem desperdício de água, consumo humano no refeitório e cozinha, usos indiretos como limpeza, testes para verificação de tubulações hidráulicas, sanitárias e pluviais, pulverização de água para redução de poeira (Santos; Silva; Cerqueira, 2015).

Bardhan (2011) estudou o consumo de água em obras da cidade de Calcutá, na Índia. O autor dividiu o estudo em duas partes: a primeira analisa a água virtual e a segunda etapa, o consumo de água direto na etapa de construção. É importante destacar que o objeto de estudo se trata de uma construção de mais de 3 milhões de

metros quadrados com duração de 81 meses para as atividades construtivas. Outra questão é de que o abastecimento de água para a construção se deu por meio de seis poços e que a metodologia aplicada para determinação dos resultados foi baseada na coleta de dados de consumo fornecidos pela empresa responsável pelo processo de construção. Bardhan (2011) determinou como indicador de consumo de água no processo de construção, 2 m³ para cada m² de área construída.

Tirth *et al.* (2019) monitoraram a construção de três edifícios residenciais em Moradabad (Índia) durante um período de dois anos até que a construção fosse finalizada. O consumo de água foi analisado e teve seu maior valor no 13º mês de construção para as três construções estudadas, possuindo valores de 2640 litros (construção de 204 m²), 1980 litros (construção de 150 m²) e 1584 litros (construção de 120 m²) (Tirth *et al.*, 2019). Com base nos dados dos apresentados por Tirth *et al.* (2019), foi calculado o indicador para as obras, sendo que para a obra A o valor foi de 0,1067 m³/m², para a obra B, de 0,1086 m³/m² e para a obra C, de 0,1075 m³/m².

2.3.2.3 *Consumo de água incorporada (consumo direto e indireto de água) e virtual (consumo indireto de água)*

O consumo de água está presente em praticamente todo o ciclo de vida de um material de construção, desde a extração da matéria-prima até a fase de demolição no final do ciclo de vida da edificação (Macieira; Mendonça, 2016). De acordo com Heravi e Abdolvand (2019) o consumo direto de água é todo o volume de água utilizado para a execução das atividades construtivas nos canteiros de obras, enquanto o consumo indireto de água inclui todo o volume de água consumido para a produção de materiais, insumos e componentes de construção.

O estudo realizado por Bardhan (2011) em obras da cidade de Calcutá, na Índia, analisou a água virtual que envolve todo o processo de construção e a metodologia aplicada está baseada na coleta de dados de registros de compra de materiais e avaliação dos valores e informações coletadas por fornecedores. Bardhan (2011) aponta como indicador de água incorporada nos insumos o valor de 25,604 m³/m² sendo que para esse resultado o autor considerou os principais materiais utilizados (cimento, tijolo, aço e alumínio). Como indicativo final, se tem 27,604 m³/m² de água incorporada em uma construção urbana típica da área de estudo e a partir

deste resultado, concluiu-se que o consumo de água durante o processo de construção no canteiro de obras representa 8% do total de água incorporada em todo o conjunto considerado, obra e insumos principais (Bardhan, 2011).

Dixit, Kumar e Haghghi (2022) desenvolveram um modelo híbrido para calcular três componentes de uso de água para materiais de construção, sistemas e serviços de cinco edifícios no Texas, nos Estados Unidos. Com o objetivo de comparar e calcular a água incorporada direta, água incorporada indireta e uso de água incorporada relacionada à energia desses edifícios. Os autores mencionam que a água incorporada indireta, relacionada aos materiais, sistemas e serviços, é responsável pela maior parte da água incorporada (cerca de 66% a 78%), enquanto a água incorporada direta está ligada aos processos de construção, instalação e administração, e representa uma parcela menor, de 22% a 34% do total de água incorporada ao nível do edifício (Dixit; Kumar; Haghghi, 2022).

Um estudo realizado por Sharma e Chani (2022) avalia a água incorporada em quatro casas de alvenaria em Jammu, na Índia. Para o consumo indireto de água incorporada ao processo de produção de materiais os autores utilizam literatura científica como base e o consumo de água para o transporte de materiais e trabalhadores envolvidos, contabilizando o número de viagens e combustível gasto. Como resultado desse estudo, chegou-se ao índice de consumo de água incorporada de 43,7 m³/m² sendo que 51,26% representam a água incorporada em materiais. O estudo menciona o alto consumo de água no setor de construção indiano e considera possíveis melhorias com o tempo, e afirma que a escolha de insumos e acabamentos pode acarretar em aumento do consumo de água para a execução dos serviços relacionados à construção, além de que a supressão de poeira, processos de limpeza de equipamentos e consumo por trabalhadores também são atividades que consomem água (Sharma; Chani, 2022).

Outro estudo realizado por Sharma e Chani (2024) com o objetivo de avaliar o nexos entre a água e energia incorporadas na construção, aponta 16,7 m³/m² de consumo de água incorporada na construção. O estudo tem como base três casas indianas convencionais em Jammu, norte da Índia. As casas dessa região são predominantemente de alvenaria e têm no máximo 2 andares e as decisões acerca do sistema construtivo geralmente dependem da família proprietária e de pedreiros experientes. Os autores mencionam a falta de supervisão técnica durante a fase de

construção, além da característica da região, com a fabricação local de tijolos realizada de maneira informal (Sharma; Chani, 2024).

Heravi e Abdolvand (2019) realizaram um estudo de caso que avaliou o consumo de água virtual em seis edifícios residências em Teerã, capital do Irã. Esses seis edifícios possuem estrutura de concreto armado e aço e o indicador de consumo de água virtual calculado foi de 20,80 m³/m². Heravi e Abdolvand (2019) concluíram que 85% deste valor se refere ao consumo indireto de água, ou seja, a água que está incorporada nos processos de fabricação dos insumos e que desses 85%, cerca de 58% são destinados para a produção do aço (Heravi; Abdolvand, 2019).

Han *et al.* (2016) estudaram o consumo de água virtual de um edifício e seus nove subprojetos em Pequim, na China. O subprojeto "Engenharia de estrutura e decoração externa" foi caracterizado como o subprojeto com maior valor de consumo de água, sendo mais da metade do consumo proveniente de materiais de construção (Han *et al.*, 2016). O consumo total de água virtual deste subprojeto foi estimado em 1.250.000 m³, valor este 24 vezes maior do que o consumo direto de água (Han *et al.*, 2016).

2.3.3 Como é tratado pela literatura, o tema conservação da água em canteiros de obras?

O tema conservação da água é abordado em um estudo realizado por Erdenekhuu, Kocsi e Máté (2022), que propuseram um processo de análise de riscos de projetos de construção sustentável, a fim de auxiliar a equipe de projeto na tomada de decisões. O estudo constatou que os indicadores mais cruciais para um projeto de construção sustentável, são a poluição do ar, da água e da terra, bem como o consumo de água e os resíduos sólidos (Erdenekhuu; Kocsi; Máté, 2022).

Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) realizaram um estudo de caso em quatro obras em Colombo (capital do Sri Lanka). Os projetos em questão são edifícios de vários andares e de grande escala, e, para a realização do estudo, um questionário foi elaborado com base em fatores identificados por meio da revisão de literatura desenvolvida pelos autores com o objetivo de conhecer a visão da indústria sobre a adequação das estratégias de conservação da água nos canteiros de obras (Waidyasekara; Silva; Rameezdeen, 2017). Como resultado, Waidyasekara, Silva e

Rameezdeen (2017) tiveram 105 questionários respondidos dos 160 distribuídos. O estudo utilizou o Teste t de *Student* para amostras independentes e Análise da Variância (ANOVA) para testar as diferenças estatísticas em valores médios dos diferentes grupos de entrevistados. Como resposta para a perspectiva da conservação da água nas obras, os profissionais (engenheiros, arquitetos e empreiteiros) que responderam ao questionário indicaram que reduzir, eliminar o uso da água (quando possível) e substituir (fontes alternativas) são estratégias mais adequadas quando o assunto é consumo de água em canteiros de obras. Por meio do questionário aplicado, as respostas obtidas mostram que as opções de reutilização, reciclagem e manejo do excesso de água (para que não haja inundações, poluição e problemas de saúde) são as opções menos preferidas pelos profissionais. Outro aspecto relevante é que, dentre os aspectos facilitadores para iniciar uma mudança no que concerne à conservação de água, a responsabilidade foi considerada a opção mais adequada pelos respondentes, seguida de regulamentos e recompensas (Waidyasekara; Silva; Rameezdeen, 2017). Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) sugerem em seu estudo que os incentivos e recompensas são eficientes para iniciativas em relação ao desempenho ambiental e que o reconhecimento poderia estar vinculado a critérios nacionais de premiação por excelência em construção, considerando critérios de registro e classificação de empreiteiros.

Por meio de um questionário aplicado na cidade Mumbai, na Índia, obtiveram-se indicadores para avaliação das fontes, uso, desperdício e medidas estratégicas para o uso eficiente da água durante as fases de projeto, construção e operação de edifícios (Achari; Rane; Gangar, 2023). O questionário aplicado por Achari, Rane e Gangar (2023), englobava 29 perguntas a respeito da gestão de uso e desperdício de água durante a construção de edifícios que foram respondidas por profissionais da área. Como resultado, os autores obtiveram um maior índice de respostas nas questões sobre o uso da água como um dos recursos naturais mais importantes utilizados na construção civil e, também, a importância e necessidade do monitoramento do uso desse recurso, bem como a necessidade de implantação de estratégias para economia da água na construção civil. Por meio das respostas obtidas, os processos que envolvem mistura, preparação e cura de argamassas e concreto evidenciam um fator de alta demanda de consumo de água nas obras.

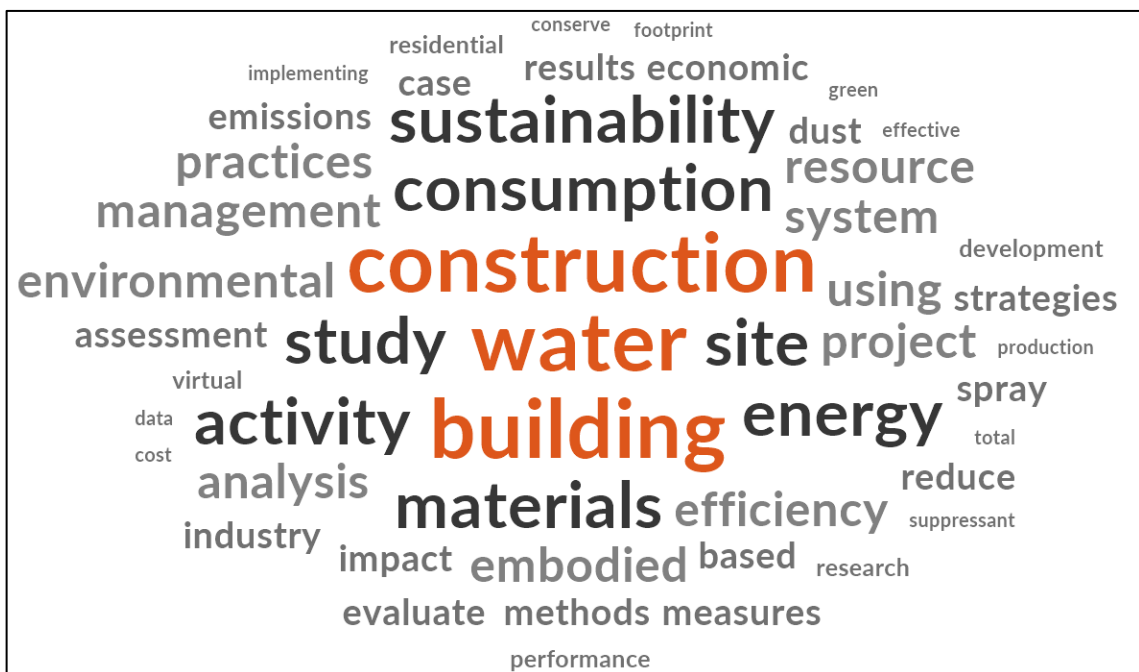
Um estudo de caso realizado na Úmbria (centro da Itália) que contempla a fase construtiva de dois edifícios, compara duas ferramentas de avaliação de sustentabilidade de edifícios, o método *ITACA* (*Istituto per l'innovazione e Trasparenza degli Appalti e la Compatibilità Ambientale*) e *LEED* (*Leadership in Energy and Environmental Design*) (Asdrubali *et al.*, 2015). De acordo com os autores, o uso e a gestão da água são importantes para ambos os métodos, e a certificação *ITACA* apresenta um peso maior de pontuação nesse item em comparação à certificação *LEED*. Segundo Asdrubali *et al.* (2015), o *ITACA* potencializa sua atenção na reutilização de água enquanto o *LEED* analisa a porcentagem de água economizada em geral.

Em decorrência da atual preocupação em relação ao consumo de água nas obras, Souza e Ghisi (2020) realizaram um estudo na cidade brasileira de Criciúma a respeito da captação de água da chuva nos canteiros de obras por meio de bandejas de proteção exigidas na legislação brasileira (NR 18) em um edifício com 5.350 m² e oito andares. Os resultados obtidos apontam que a substituição da água potável pela água da chuva poderia ser feita em dispositivos como bacias sanitárias e mictórios que estavam nas áreas destinadas ao uso dos funcionários. Segundo os autores, para as atividades ligadas ao canteiro de obras, como cura de concreto, lavagem de equipamentos e ferramentas também não há restrições de uso. Com relação à demanda do uso de água potável nas obras, os autores apontaram que as áreas destinadas aos trabalhadores foram equipadas com bacias sanitárias, mictórios, lavatórios, pias, chuveiros e bebedouros, já as áreas destinadas à execução dos serviços foram equipadas somente com torneiras para o uso nas atividades em geral, como preparação dos materiais de construção, cura da estrutura de concreto e limpeza geral. Os autores observaram também que as bacias sanitárias exercem forte influência no consumo de água e que em alguns canteiros de obras, chegam a ultrapassar 40% do consumo dos usos finais da água. Em cerca de 50% dos dispositivos mencionados que utilizam água potável nas obras, a água poderia ser substituída por água pluvial (Souza; Ghisi, 2020).

2.3.4 Síntese dos Resultados e Discussão

A Figura 5 exibe uma nuvem de palavras, com os 50 termos mais recorrentes na literatura com o objetivo de apresentar visualmente a importância das palavras no contexto deste estudo. A nuvem de palavras foi criada conforme os procedimentos metodológicos explicitados na seção de Método. Dessa forma, as 5 palavras mais encontradas foram *water*, *construction*, *building*, *site* e *consumption* com respectivamente 222, 202, 108, 67 e 63 repetições. Os demais termos estão relacionados à sustentabilidade, energia, materiais e atividades do canteiro de obras, além de práticas de gestão e eficiência no uso da água, entre outros. As demais 45 palavras variaram entre 46 e 12 repetições, como pode ser visto no apêndice A.

Figura 5 - Nuvem de Palavras



Fonte: A autora (2024)

Com relação aos fatores que influenciam o consumo de água nos canteiros de obras, encontraram-se estudos que mencionaram questões como o controle de poeira dentro do canteiro de obras ou a irrigação de estradas para controle de poeira, bem como a lavagem dos pneus dos veículos que saem das obras com o objetivo de evitar que a lama se espalhe nas ruas. Além disso, foram citadas as instalações sanitárias

provisórias, e a limpeza da obra como processos que podem contribuir para o aumento do consumo de água. Também foram mencionados como fatores que influenciam o consumo de água, o emprego de diferentes métodos construtivos e materiais. Além disso, a área construída (m²) e a quantidade de colaboradores são elementos que influenciam diretamente o consumo total de água nos canteiros de obras. Questões relacionadas ao comportamento de consumo e desperdício também foram destacadas na literatura. Algumas soluções mencionadas para redução do consumo de água potável foram a instalação de equipamentos economizadores de água, uso de sistema de caixa de lavagem de ferramentas e a utilização de sistemas alternativos de abastecimento de água nos canteiros de obras.

Com relação à conservação da água em canteiros obras, a revisão da literatura apontou como o tema está intimamente ligado à sustentabilidade no ambiente construído, apontando a necessidade de monitoramento, bem como o emprego de estratégias que reduzam o consumo e promovam a substituição da água potável por água proveniente de fontes alternativas quando possível. A questão que trata sobre o consumo de água durante a fase de construção compilou indicadores de consumo de água por pessoa, consumo de água nas atividades construtivas (consumo direto), consumo de água incorporada (consumo direto e indireto) e consumo de água virtual (consumo indireto). A Tabela 1 sintetiza os principais resultados quantitativos apresentados e discutidos nessa revisão sistemática da literatura acerca do consumo de água por área construída em canteiros de obras com base nos artigos científicos selecionados para essa revisão agrupados por tipo de consumo.

Tabela 1 - Indicadores de consumo de água em canteiros de obras encontrados na revisão sistemática da literatura (continua)

TIPO DE CONSUMO	AUTOR (ANO)	LOCAL DOS ESTUDOS	MÉTODO CONSTRUTIVO	CÁLCULO DO INDICADOR	INDICADOR
Consumo direto no canteiro de obras	Garg et al. (2023)	Índia	Concreto armado	considera um protótipo e calcula-se a quantidade de material necessário (considerando o consumo de água por atividade).	0,5 a 0,6 m ³ /m ²

Fonte: A autora (2024)

Tabela 1 - Indicadores de consumo de água em canteiros de obras encontrados na revisão sistemática da literatura (conclusão)

TIPO DE CONSUMO	AUTOR (ANO)	LOCAL DOS ESTUDOS	MÉTODO CONSTRUTIVO	CÁLCULO DO INDICADOR	INDICADOR
Consumo direto no canteiro de obras	Santos, Silva e Cerqueira (2015)	Recife / Brasil	Concreto armado e alvenaria	volume de água consumido (6.175 m ³) ÷ área construída (7.467,66 m ²).	0,83 m ³ /m ²
	Bardhan (2011)	Calcutá / Índia	Concreto armado	considera documentos, estudos e pesquisas para cálculos.	2 m ³ /m ²
	Zeule, Serra e Teixeira (2020)	Limeira / Brasil	Concreto armado	volume de água consumido (14.300 m ³) ÷ área construída (49.152,01 m ²).	0,29 m ³ /m ²
Consumo de água virtual (consumo indireto)	Heravi e Abdolvand (2019)	Teerã / Irã	Concreto armado e aço	análise de ciclo de vida.	20,80 m ³ /m ²
	Bardhan (2011)	Calcutá / Índia	Concreto armado	a água incorporada dos materiais foi avaliada com base no registro de compras de materiais.	27,604 m ³ /m ²
Consumo de água incorporada (consumo direto e indireto)	Dixit, Kumar e Haghghi (2022)	Texas / Estados Unidos	Concreto armado	modelo híbrido baseado em insumo-produto	Indireto 66% a 78% e direto 22% a 34%
	Sharma e Chani (2022)	Índia	Casas convencionais de alvenaria	inventário de materiais, investigações no local e coeficientes híbridos	43,7 m ³ /m ²
	Sharma e Chani (2024)	Índia	Casas convencionais de alvenaria	consultoria em bancos de dados de materiais indianos e globais	16,7 m ³ /m ²

Fonte: A autora (2024)

A água incorporada se refere a toda cadeia de produção, e no caso da construção civil o consumo direto de água se relaciona às atividades construtivas no canteiro de obras, enquanto o consumo indireto de água está relacionado à produção dos materiais, insumos e componentes desse setor (Bardhan, 2011; Heravi e

Abdolvand, 2019; Nakamura *et al.*, 2023). Garg *et al.* (2023) apresentam como indicador de consumo direto de água o valor de 0,5 a 0,6 m³/m² para obras localizadas na Índia. Enquanto Bardhan (2011) obteve o indicador na Índia de 2 m³/m² para o consumo de água por área construída. No Brasil Zeule, Serra e Teixeira (2020) apresentam um indicador de consumo de água por área construída com o valor de 0,29 m³/m² na cidade de Limeira, estado de São Paulo. Ainda no Brasil, Santos, Silva e Cerqueira (2015) encontraram um indicador de consumo de 0,83 m³/m² na cidade de Recife.

Em relação ao consumo de água incorporada, Sharma e Chani (2022, 2024) encontraram em sua pesquisa o valor de 43,7 m³/m² e 16,7 m³/m² na Índia, enquanto Bardhan (2011) encontrou o valor de 27,604 m³/m² em Calcutá, também na Índia. No Irã, para o consumo de água virtual na construção civil tem-se o indicador de consumo de 20,80 m³/m² de área construída, sendo que o consumo indireto da água incorporada total é de cerca de 85% (Heravi; Abdolvand, 2019). No Texas/Estados Unidos, Dixit, Kumar e Haghighi (2022), afirmam que o consumo indireto de água pode chegar de 66% a 78% do total da água virtual, enquanto o consumo direto da água pode alcançar as proporções de 22% a 34% da água incorporada em todo o processo de construção.

2.4 CONCLUSÃO

Os artigos selecionados para a elaboração da presente revisão sistemática apresentam dados referentes ao consumo de água em canteiros de obra de diferentes partes do mundo. Por meio da análise desses artigos, foi possível encontrar indicadores de consumo referentes ao consumo direto de água, consumo de água incorporada, água para consumo humano, entre outros. Com base nos artigos estudados, foram encontrados diferentes indicadores de consumo de água nos canteiros de obras, em função dos diferentes locais de estudo, sistemas e técnicas construtivas adotados, além de fatores ambientais e de hábitos de consumo.

A presente revisão sistemática da literatura busca identificar e promover o entendimento dos fatores que afetam e influenciam o consumo de água nos canteiros de obras como, por exemplo, o controle de poeira, a lavagem dos pneus dos veículos,

a limpeza dos canteiros de obras, os modelos construtivos adotados, a área construída (m²), a quantidade de colaboradores e também os desperdícios de água afim de que possam ser buscadas medidas visando a economia e a gestão do uso da água na construção civil. Destaca-se também a importância e a necessidade da elaboração de estudos mais aprofundados sobre indicadores de consumo de água considerando os diferentes contextos regionais, além da análise de outros fatores que podem influenciar o consumo de água em canteiros de obras.

REFERÊNCIAS

ACHARI, A.; RANE, N.; GANGAR, B. Framework Towards Achieving Sustainable Strategies for Water Usage and Wastage in Building Construction. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v.71, 2023. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V71I3P241.

ALBERTINI, F.; GOMES, L. P.; GRANDONA, A. E. B.; CAETANO, M. O. Assessment of environmental performance in building construction sites: Data envelopment analysis and Tobit model approach. **Journal of Building Engineering**, v.44, 2021. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102994.

ASDRUBALI, F.; BALDINELLI, G.; BIANCHI, F.; SAMBUCO, S. A comparison between environmental sustainability rating systems LEED and ITACA for residential buildings. **Building and Environment**, v.86, 2015. DOI: 10.1016/j.buildenv.2015.01.001.

BARDHAN, Suchandra. Assessment of water resource consumption in building construction in India. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, v.144, 2011. DOI: 10.2495/ECO110081.

CÂMARA, C. P. S.; JUNIOR, M. A. B. S.; SILVA, S. R.; SANTOS, S. M. **Consumo de Água em Canteiros de Obras: Uma Revisão**. XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2020.

CISNEIROS, A. P. B.; VAZQUEZ, E. G. Simulação de Análise Preliminar de Riscos em Métodos de Minimização do Consumo de Água em Canteiros de Obra. **Revista Boletim do Gerenciamento**, n. 2, 2018.

DIXIT, M. K.; KUMAR, P. P.; HAGHIGHI, O. Water analysis of higher education buildings using an input-output-based hybrid method. **Journal of Cleaner Production**, v. 365, 2022. DOI: 10.1016/j.jclepro.2022.132866.

ERDENEKHUU, N.; KOCSI, B.; MÁTÉ, D. A Risk-Based Analysis Approach to Sustainable Construction by Environmental Impacts. **Energies**, v. 15, n. 18, 15 set. 2022. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15186736>.

EL-HAMEED, A. K. A.; MANSOUR, Y. M.; FAGGAL, A. A. Benchmarking water efficiency of architectural finishing materials based on a “cradle-to-gate” approach. **Journal of Building Engineering**, v.14, 2017. DOI: 10.1016/j.jobbe.2017.10.001.

ESMAEILIFAR, R.; SAMARI, M.; SHAFIEI, M. W. M. Implementation of low carbon construction activities in order to optimize water consumption on the construction site. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v.7, 2014. DOI: 10.19026/rjaset.7.931.

GAMBATESE, J. A.; JAMES, D. E. Dust suppression using truck-mounted water spray system. **Journal of Construction Engineering and Management**, v.127, 2001. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9364(2001)127:1(53).

GARG, R.; KUMAR, A.; PANKAJ, M.; KAMAL, A. Determining Water Footprint of Buildings During Construction Phase: An Activity-based Approach. **Civil Engineering and Architecture**, v.11, 2023. DOI: 10.13189/cea.2023.110218.

GOTTSCHE, J.; KELLY, M. Assessing the impact of resource efficiency on selected case studies in Ireland. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - **Waste and Resource management**, v.173, 2020. DOI: 10.1680/jwarm.20.00006.

HAN, M. Y.; CHEN, G.Q.; MENG, J.; WU, X.D.; ALSAEDI, A.; AHMAD, B. Virtual water accounting for a building construction engineering project with nine sub-projects: a case in E-town, Beijing. **Journal Of Cleaner Production**, v.112, p. 4691-4700, jan. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.07.048>.

HARIHARAN, J.; MOUD, H. I.; SANDS, K.; CAPANO, C.; STOCKINGER, K.; VOWELS, J. **Benchmarking Drinking Water Consumption during Construction Phase**. Construction Research Congress 2022. American Society of Civil Engineers. Flórida, EUA. 2022. DOI:10.1061/9780784483954.058.

HASAN, S.; KHAN, S.; AKHTAR, I.; KIRMANI, S. Study of natural insulation materials and compared it with no insulation building. **Materials Today Proceedings**, v.46, 2021. DOI: 10.1016/j.matpr.2021.01.452.

HEIMERL, F.; LOHMANN, S.; LANGE, S.; ERTL, T. Word Cloud Explorer: Text Analytics Based on Word Clouds. **Institute of Electrical and Electronics Engineers**. 2014. DOI: 10.1109/HICSS.2014.231

HERAVI, G.; ABDOLVAND, M. M. Assessment of water consumption during production of material and construction phases of residential building projects. **Sustainable Cities and Society**, v.51, 2019. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101785.

HOSSEINIAN, S. M.; SABOURI, A. G. A.; GARMICHAEL, D. G. Sustainable production of buildings based on Iranian vernacular patterns: A water footprint analysis. **Building and Environment**. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2023.110605>.

JING, K. T.; YEE, H. C.; SHAFIEI, M. W. M.; ISMAIL, R. Impacts of green site management practices on energy and water consumption efficiency in the Malaysian construction industry. **International Journal of Management Studies**, v.31, n.1, p. 61-88, 2024. <https://doi.org/10.32890/ijms2024.31.1.3>.

KAKANIS, I.; GAIDAJIS, G. Comparative Life Cycle Assessment of Masonry Systems with Different Chemically Cured Construction Blocks. **Fresenius Environmental Bulletin**, Greece, v. 31, p. 9856-9866, set. 2022.

KHASREEN, M. M.; BANFILL, P. F.G.; MENZIES, G. F. Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review. **Sustainability**. 2009. DOI: 10.3390/su1030674.

MACIEIRA, M.; MENDONÇA, P. **Building Rehabilitation with Dry and Wet Systems - Embodied Water Comparison**. MATEC Web of Conferences 68, 13009 (2016). International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA), 2016. DOI: 10.1051/matecconf/20166813009.

NAKAMURA, R.; MUNIZ, M. S. A.; PEREIRA, P. G. E. M. Água Virtual: Conceitos e Implicações. **Revista Saúde em Foco**. 2023.

PARSIFAL. **Sobre a Parsifal: saiba mais sobre o projeto e nossos objetivos**. 2021. Disponível em: <Sobre - Parsifal> Acesso em: 08/06/2023.

RIVERA, A. C.; OCHOA, W.; LARRINAGA, F.; LASA, G. How-to conduct a systematic literature review: A quick guide for computer science research. **MethodsX**, v.9, 2022. DOI: 10.1016/j.mex.2022.101895.

SANTOS, C. P.; SILVA, S. R.; CERQUEIRA, C. A. Water Consumption in Construction Sites in the City of Recife/PE. **Electronic Journal of Government and Economics (EJGE)**. 2015.

SHARMA, A. K.; CHANI, P. S. Decisive design and building construction technologies vis-a-vis embodied water consumption assessment in conventional masonry houses: Case of Jammu, India. **Energy and Buildings**, v.277, 2022. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112588.

SHARMA, A. K.; CHANI, P.S. Embodied water-energy nexus towards sustainable building construction: Case of conventional Indian houses. **Journal of Building Engineering**. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.jobee.2024.108453>.

SOUZA, T. D.; GHISI, E. Harvesting rainwater from scaffolding platforms and walls to reduce potable water consumption at buildings construction sites. **Journal of Cleaner Production**, v.258, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120909.

TAHA, S. H.; IBRAHIM, M. G.; ALI, A. A. M. M. Steel as a sustainable choice towards the green building concept. **WIT Transactions on Ecology and The Environment**, v.210, 2016. DOI: 10.2495/SDP160111.

TIRTH, V.; ALGARNI, S.; AGARWAL, N.; SAXENA, A. Greenhouse gas emissions due to the construction of residential buildings in Moradabad, India. **Applied Ecology and Environmental Research**, v.17, n.5, p.12111-12126, jul. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705_1211112126.

UTSEV, T.; TIZA, M.; SANI, H. A.; SESUGH, T. Sustainability in the civil engineering and construction industry: A review. **Journal of Sustainable Construction Materials and Technologies**, v.7, 2022. DOI: [10.14744/jscmt.2022.11](https://doi.org/10.14744/jscmt.2022.11).

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; SILVA, L.; RAMEEZDENN, R. Application of “R” principles to enhance the efficiency of water usage in construction sites. **Built Environment Project and Asset Management**, v.7, 2017. DOI: [10.1108/BEPAM-01-2017-0006](https://doi.org/10.1108/BEPAM-01-2017-0006).

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; SILVA, L.; RAMEEZDENN, R. Water use efficiency and conservation during construction: drivers, barriers and practices. **Built Environment Project and Asset Management**, v.6, 2016. DOI: [10.1108/BEPAM-09-2015-0052](https://doi.org/10.1108/BEPAM-09-2015-0052).

XU, L.; PEI, Z. Preparation and optimization of a novel dust suppressant for construction sites. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.29, 2017. DOI: [10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0001902](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0001902).

YILMAZ, M.; BAKIS, A. Sustainability in Construction Sector. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, v.195, p.2253-2262, 2015. DOI: [10.1016/j.sbspro.2015.06.312](https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.312).

ZEULE, L. O.; SERRA, S. M. B.; TEIXEIRA, J. M. C. Best practices for the rational use of water in construction sites in Brazil. **Environmental Quality Management**, v.29, n. 4, p. 73-85, jun. 2020. DOI: <https://doi.org/10.1002/tqem.21693>.

ZHU, J.; LIU, W. A tale of two databases: the use of web of science and scopus in academic papers. **Scientometrics**, v.123, n.1, p.321-335, 22 fev. 2020. <http://dx.doi.org/10.1007/s11192-020-03387-8>.

3 METODOLOGIA

Este capítulo apresenta a metodologia de pesquisa empregada para um estudo de caso na cidade de Joinville/SC. A metodologia pode ser classificada segundo o tipo de abordagem, natureza, procedimento e objetivos (Cesário; Flauzino; Mejia, 2020). Nesta pesquisa a abordagem é do tipo quantitativa. A natureza é do tipo aplicada, porque tem como intuito a elaboração de um diagnóstico (consumo de água) em torno de questões que envolvem atividades de grupos (canteiros de obras) (Fleury; Werlang, 2017). O procedimento adotado é o estudo de caso que envolve 50 canteiros de obras. A pesquisa é classificada, com relação ao seu objetivo, como do tipo explicativa/causal, descritiva e correlacional.

De acordo com Gil (1991) as pesquisas explicativas têm como objetivo central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos, é o tipo de pesquisa que aprofunda e explica a razão, o porquê das coisas. Já a pesquisa descritiva tem o propósito de descrever as características de determinada população ou fenômeno e ainda, o estabelecimento de relações entre variáveis (Gil, 1991). A pesquisa correlacional é do tipo que verifica se há alguma relação entre duas variáveis, e neste caso o pesquisador apenas mede as variações que ele considera como possíveis efeitos da ocorrência (Bandeira, 2013). A seguir são apresentados uma breve descrição acerca do objeto de estudo, a área de estudo e os procedimentos metodológicos adotados para desenvolvimento desta pesquisa.

3.1 DESCRIÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO: CANTEIRO DE OBRAS

O objeto de pesquisa deste estudo é o canteiro de obras, que tem como objetivo, disponibilizar a infraestrutura através de recursos disponíveis para a produção de edifícios (Ferreira; Franco, 1998). De acordo com a Norma Regulamentadora 18 (NR 18, 1995), canteiro de obras é a "área de trabalho fixa e temporária, onde se desenvolvem operações de apoio e execução de uma obra." A Norma Brasileira (NBR) 12284 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1991), expõe que os canteiros de obras são áreas destinadas à execução de serviços da indústria da construção e que neles há áreas do tipo operacionais e de vivência. Eles podem também ser definidos como uma estrutura dinâmica e flexível, que possui

diferentes características ao longo do processo construtivo em função dos trabalhadores, empresas, materiais e equipamentos (Araújo; Souza e Silva, 2019).

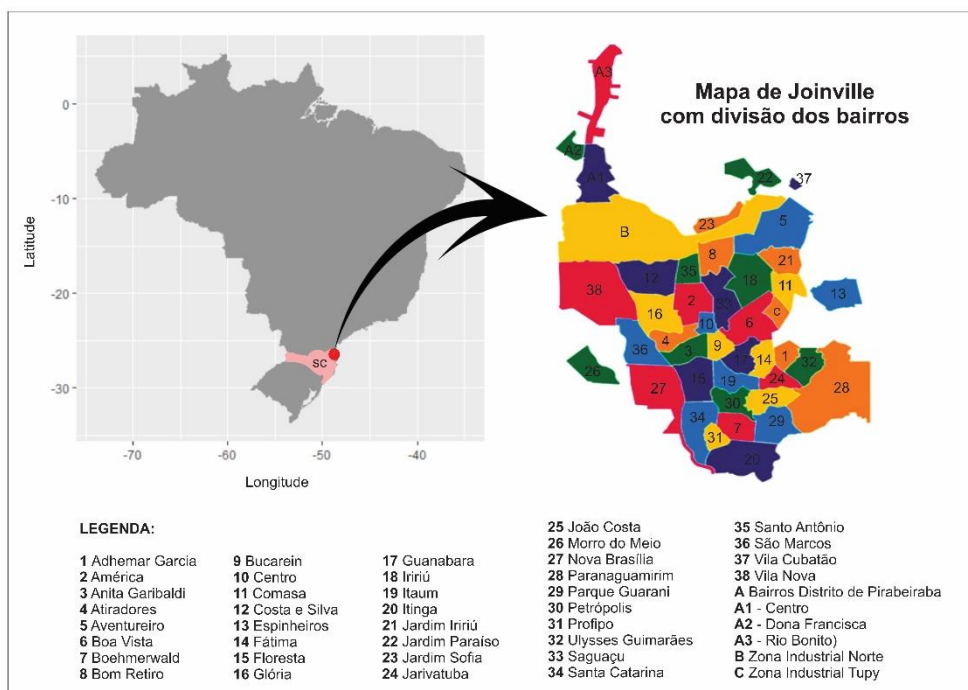
O canteiro de obras é, portanto, o local em que ocorre a execução das atividades previstas nos projetos, para que então a obra possa ser finalizada. Logo, dentro de cada canteiro de obras existem diferentes áreas operacionais, áreas de vivências, espaços planejados de acordo com os métodos e soluções construtivas adotadas, bem como diferentes materiais e equipamentos. Por isso, as obras possuem características individuais que precisam ser analisadas.

3.2 SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Joinville, que fica no Estado de Santa Catarina (Brasil) foi escolhida como área de estudo para este trabalho, porque é a cidade mais populosa do estado e é a 37ª mais populosa do país (Prefeitura Municipal de Joinville, 2021). De acordo com os dados do Censo de 2022 divulgados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2023) a área territorial da cidade de Joinville é de 1.127,947 km², a população é de 616.323 pessoas e a densidade demográfica é de 546,41 habitantes/km². Outro fator que contribuiu para a escolha deste local como objeto de estudo, foi a disponibilidade e apoio de algumas instituições e empresas da cidade no fornecimento de dados necessários para a realização desta pesquisa.

De acordo com a Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável (SEPUD, 2018), Joinville é uma cidade localizada na região Sul do país, município polo da microrregião nordeste do Estado de Santa Catarina (Figura 6). A cidade concentra grande parte da atividade econômica na indústria com destaque para os setores metalmeccânico, têxtil, plástico, metalúrgico, químico e farmacêutico (SEPUD, 2018). O Produto Interno Bruto de Joinville também é um dos maiores do país (SEPUD, 2018). Em 2021, o salário médio mensal da região joinvilense era de 2,9 salários mínimos (IBGE, 2023).

Figura 6 - Localização da cidade de Joinville e divisão dos bairros da cidade



Fonte: A autora (2024)

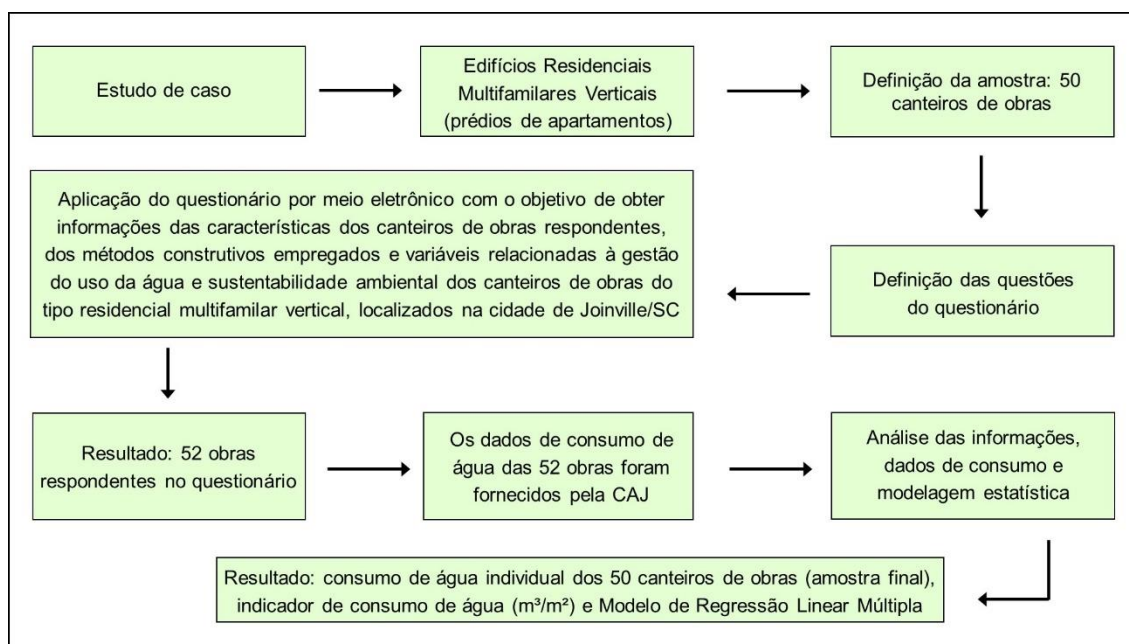
A média de moradores por domicílio em Joinville nos anos 2000 era de 3,5 pessoas, em 2010 caiu para 3,2 pessoas e em 2022 era de 2,8 pessoas por domicílio (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023). Em relação ao crescimento da população, a mesma taxa de 19,9% se apresenta nos anos 2000 a 2010 e novamente nos anos de 2010 a 2022, uma vez que em 2000 a cidade tinha 429 mil habitantes, crescendo para 515 mil em 2010 e agora para aproximadamente 618 mil em 2022 (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023). De acordo com a Prefeitura Municipal de Joinville (2023) e o IBGE (2023) os bairros com mais moradores em Joinville são: Aventureiro (42,7 mil), Costa e Silva (33,8 mil), Paranaguamirim (33,7 mil), Vila Nova (32,3 mil) e Jardim Iririú (26,7 mil). Em Joinville, 278.442 endereços foram visitados para a coleta de dados no último censo, desses 248.510 foram categorizados como domicílios, e 89,3% estavam ocupados, 9,1% vagos e 1,5% são de uso ocasional (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023; IBGE, 2023). Os números atuais divulgados de domicílios na cidade de Joinville, se comparados aos dados do Censo de 2010, tiveram um aumento de 72.987 unidades (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023; IBGE, 2023). O monitoramento, distribuição e administração de água potável no município de Joinville é realizado pela Companhia Águas de Joinville (CAJ) e diariamente são distribuídos

em torno de 181 milhões de litros de água potável, sendo a cobertura de água em Joinville é de 99,2% (Prefeitura Municipal de Joinville, 2023). Em Joinville, de acordo com a CAJ (2020) o índice de cobertura de esgoto no município é de 40,74%.

3.3 DESCRIÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Com foco no objetivo do presente trabalho, para o levantamento de dados e seleção da amostra, considerou-se que cada canteiro de obra apresenta suas particularidades e, por isso, as características construtivas também são distintas. Para a seleção da amostra adotou-se o critério de escolha de acordo com Hair *et al.* (2009) em função do nível de significância adotado e do número de variáveis existentes. A coleta de informações acerca dos canteiros de obras ocorreu por meio de um formulário eletrônico (Apêndice B) respondido pelos donos das construtoras ou pelos engenheiros responsáveis pela execução das obras. Após o levantamento desses dados, os procedimentos metodológicos envolveram a análise e a modelagem estatística do consumo de água em canteiros de obras na cidade de Joinville/SC, conforme diagrama ilustrativos das etapas dos procedimentos metodológicos que consta na Figura 7. Nas subseções seguintes são apresentadas as etapas do estudo de caso.

Figura 7 - Diagrama metodológico do estudo de caso



Fonte: A autora (2024)

3.3.1 Tamanho da Amostra

Uma das fases prévias da pesquisa é a definição do tamanho da amostra, ou seja, a quantidade de obras necessárias para a coleta de informações. De acordo com o Censo Demográfico 2022 do Sistema IBGE de Recuperação Automática (SIDRA, 2024) em 2010 o número de apartamentos ocupados em Joinville era de 25.321 e em 2022 este número aumentou para 59.062, o que representa um crescimento de 33.741 nas unidades de apartamentos ocupados na cidade. De modo geral, com base nos estudos citados na revisão sistemática da literatura, as pesquisas abrangem amostras com quantidade de obras relativamente pequena, inferiores a 10 empreendimentos. Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) estudaram quatro obras em estágios de construção diferentes no Sri Lanka. Para Marques, Gomes e Brandli (2017) a estratégia de pesquisa consiste no estudo de caso de seis obras de uma construtora na cidade de Passo Fundo, no Rio Grande do Sul. Na Irlanda, os pesquisadores Gottsche e Kelly (2020) selecionaram quatro obras para a análise de práticas na construção civil. Zeule, Serra e Teixeira (2020) selecionaram 6 canteiros de obras na cidade de São Paulo para análise do uso racional de água. Hariharan *et al.* (2022) analisaram o consumo de água potável pelos colaboradores em uma única obra na Flórida. O estudo desenvolvido por Thirth *et al.* (2019) monitorou a construção de três edifícios residenciais na Índia. Heravi e Abdolvand (2019) estudaram o consumo de água virtual em seis edifícios no Irã. Esmailifar, Samari e Shafiei (2014) distribuíram 385 questionários para construtoras na Malásia e obtiveram retorno de apenas 31, ou seja 8% da amostra.

Para as obras do tipo verticais multifamiliares, que são o objeto de estudo deste trabalho, é necessária a aprovação do Projeto de Preventivo de Incêndio junto ao órgão responsável conforme Lei n° 2.027 (Joinville, 1985) regulamentada pelo Decreto n° 26.193 (Joinville, 2015). Após o término da construção é realizada uma fiscalização ao empreendimento para comprovar a aplicabilidade dos itens necessários e a conclusão de obra. Assim a emissão do “Habite-se” é efetuada pelo Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville (CBVJ, 2023) ou pelo Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina (CBM, 2023). Foram solicitados dados referentes ao quantitativo de canteiros de obras verticais multifamiliares para a Secretaria do Meio Ambiente de Joinville (SAMA), para o CBVJ e para o CBM, tendo sido recebidos os dados apenas

do CBVJ. Desta maneira, para o planejamento amostral inicial desta pesquisa, foram considerados os dados fornecidos pelo Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville (CBVJ). Considerando os dados apresentados no Anexo A fornecidos pelo CBVJ, referentes ao número de emissões de “Habite-se” para empreendimentos nos anos de 2020 até maio de 2023, o total de documentos emitidos nesse período é 228 unidades. A Tabela 2, apresenta a frequência de emissões de “Habite-se” do CBVJ por ano.

Tabela 2 - Frequência por ano Liberação “Habite-se”

Ano Liberação “Habite-se”	Contagens	% do Total	% acumulada
2020	62	25.2 %	25.2 %
2021	77	31.3 %	56.5 %
2022	80	32.5 %	89.0 %
2023	27	11.0 %	100.0 %

Fonte: A autora (2024)

Em virtude da complexidade do tamanho da amostra buscou-se uma metodologia para estimação da quantidade de canteiros de obras a serem pesquisados. Neste trabalho, o tamanho da amostra foi calculado de acordo com o proposto por Hair *et al.* (2009) e exposto na Tabela 3. Hair *et al.* (2009, p.167) mencionam que “o tamanho da amostra exerce impacto direto sobre a adequação e o poder estatístico da regressão múltipla”.

Tabela 3 - R² mínimo que pode ser tido como estatisticamente significativo com um poder de 0,80 para diferentes números de variáveis independentes e tamanhos de amostras

Tamanho da Amostra	Nível de significância (α) = 0,01 Número de variáveis independentes				Nível de significância (α) = 0,05 Número de variáveis independentes			
	2	5	10	20	2	5	10	20
20	45	56	71	NA	39	48	64	NA
50	23	29	36	49	19	23	29	42
100	13	16	20	26	10	12	15	21
250	5	7	8	11	4	5	6	8
500	3	3	4	6	3	4	5	9
1000	1	2	2	3	1	1	2	2

NA = não aplicável

Fonte: Adaptado de Hair *et al.* (2009, p.167)

Usualmente adota-se 5%, 1% e 0,1% como probabilidade de erro para a amostra, sendo que o nível de significância (α) é um valor arbitrado previamente pelo pesquisador, enquanto que o nível descritivo (p-valor) é calculado de acordo com os dados obtidos (Paes, 1998). O nível descritivo (p-valor) é definido pelo menor nível de significância (α) que pode ser assumido para rejeitar a hipótese nula (H_0) quando a hipótese alternativa (H_1) é verdadeira (Paes, 1998). Dessa forma, o nível descritivo (p-valor) é a probabilidade mínima de erro ao concluir que existe significância estatística (Paes, 1998). Para assegurar resultados confiáveis, considerou-se o poder do teste ($1-\beta$) estatístico na regressão, que corresponde à probabilidade de rejeição de H_0 quando esta for falsa (Barbetta *et al.*, 2010). O poder do teste depende do nível de significância (α) adotado, do tamanho da amostra retirada, do tipo de teste (bilateral ou unilateral) e da diferença do parâmetro “real” e o considerado verdadeiro para H_0 (Barbetta *et al.*, 2010).

Hair *et al.* (2009) explicam que na regressão múltipla, o poder estatístico tem a finalidade probabilística de detectar um nível significativo de coeficiente de determinação (R^2). Os efeitos de tamanho da amostra são vistos diretamente por meio dos testes de significância, na análise corrente e na generalização do resultado (Hair *et al.*, 2009). De acordo com a escala estabelecida por Cohen (1988) exposta na Tabela 4, os valores de R^2 podem sofrer efeitos de tamanho pequeno, médio ou grande.

Tabela 4 - Escala de Cohen para coeficiente de determinação R^2

Valor	Tamanho do Efeito
0,02 a 0,13	Pequeno
0,13 a 0,26	Médio
acima de 0,26	Grande

Fonte: Elaborado com base em Cohen (1998, p. 413 e 414)

Para a regressão múltipla desta pesquisa foi utilizado um tamanho de amostra que permita detectar um efeito grande (maior ou igual a 0,26) no coeficiente de determinação R^2 com poder superior a 0,80 (80%) (Cohen, 1988; Hair *et al.*, 2009). Para definição do tamanho da amostra inicialmente considerou-se a Tabela 3 e o exposto por Hair *et al.* (2009) com um nível de significância de 5% e 20 variáveis independentes para alcançar um R^2 em 80% das vezes que ocorre (corresponde a um poder de 0,80). Assim, com uma amostra de 50 canteiros de obras, o valor encontrado

para R^2 mínimo seria de 42%. Considerando 2 a 10 variáveis independentes, o R^2 deve atingir um valor entre 19% e 29%, para o mesmo nível de significância (5%) e poder (0,80).

3.3.2 Tipo de Amostragem

O método estatístico se caracteriza pelo planejamento adequado da pesquisa, decidindo qual população será avaliada por meio de uma amostra (Zanetta, 2010). De acordo com Zanetta (2010), uma população é definida como um conjunto de objetos com características comuns, e na estatística uma característica ou medida com todos os valores de dados de uma população específica é denominada parâmetro. Pesquisas que tratam de dados quantitativos possuem preocupação com a acurácia e precisão dos dados com a finalidade de generalização (Nobre *et al.*, 2017).

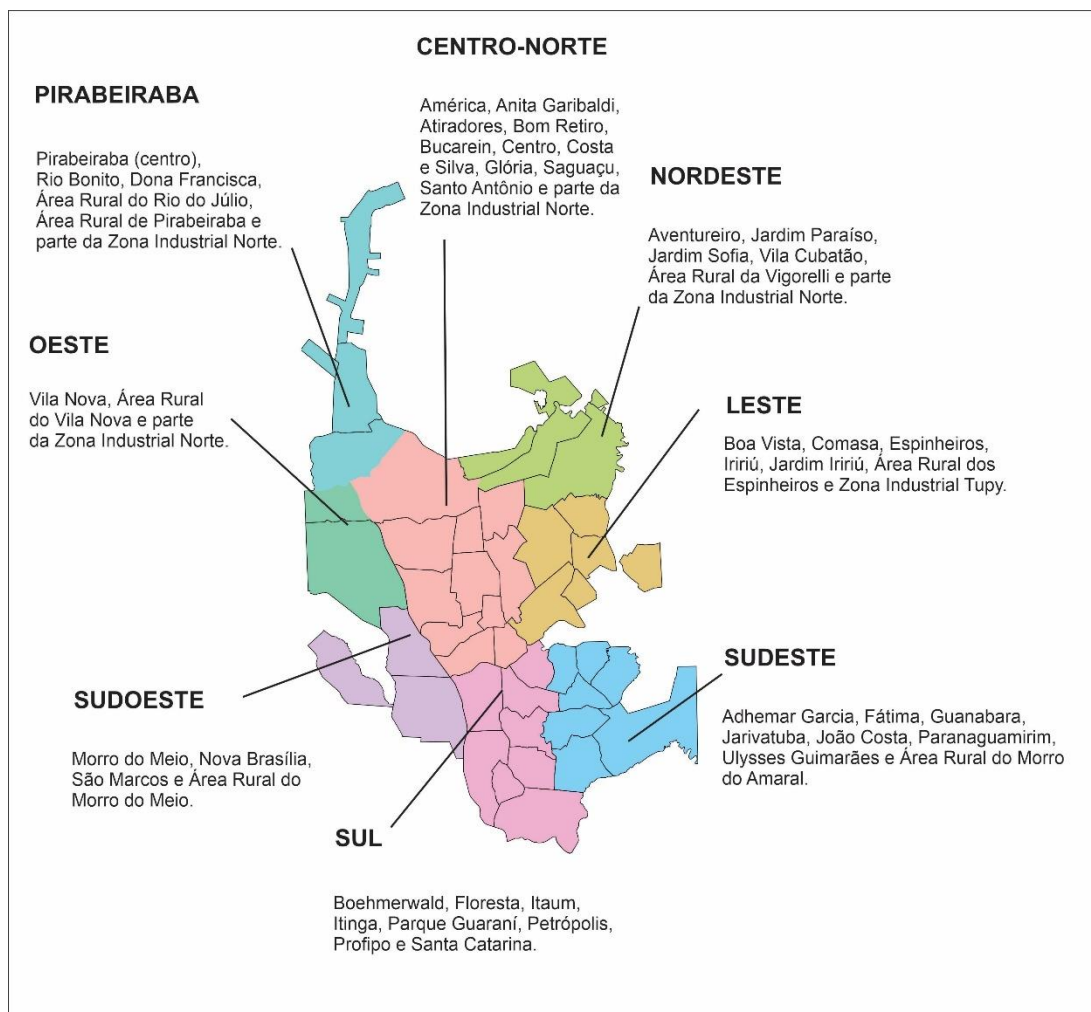
O tipo de amostragem não probabilística, é uma seleção intencional de indivíduos dentro da população realizada a partir da experiência do pesquisador para se ter uma amostra representativa do objeto em estudo, por isso ela é subjetiva e não aleatória (Nobre *et al.*, 2017; Fontanella *et al.*, 2011). O que tem maior visibilidade e relevância nas amostragens intencionais é a maneira como se concebe a representatividade desses elementos e na qualidade das informações obtidas deles (Fontanella; Ricas; Turato, 2008). Nobre *et al.* (2017) abordam as subdivisões da amostragem intencional que pode ser amostragem por julgamento, por cotas ou do tipo bola de neve. A amostragem por julgamento é quando o pesquisador seleciona elementos da amostra para atender algum critério da pesquisa, a amostragem por cotas é a determinação de um grupo para melhor representatividade no estudo, enquanto na amostragem do tipo bola de neve selecionam-se grupos de observação para localizar outros grupos com similaridade (Nobre *et al.*, 2017).

Em vista disso, nesse estudo, aplicou-se o método estatístico de amostragem não probabilística por cotas. Dessa forma, os objetos do estudo são selecionados de acordo com o interesse da pesquisa e apresentam suas particularidades, tendo como objetivo a compreensão da amostra representativa selecionada. Como unidade de amostragem para a coleta de informações, adotaram-se canteiros de obras verticais multifamiliares (prédios de apartamentos) da cidade de Joinville.

Para as unidades selecionadas, as características individuais não são consideradas, visto que todos os canteiros de obras em estudo possuem suas particularidades, o que dificulta a seleção por critérios idênticos. Buscou-se então, semelhanças fixas entre eles, que melhor respondem à representatividade da amostra. Assim, a seleção é baseada em características que tenham a mesma distribuição na população da amostra em estudo (cotas). A cota determinada para este estudo é por região (zona) em que os canteiros de obras estão localizados na cidade de Joinville, tendo sido definida a partir dos bairros com maior índice de construção, baseados nos dados fornecidos pelo CBVJ das 228 obras com emissão de “Habite-se” no período da pesquisa.

A Figura 8 apresenta a divisão da cidade de Joinville por zona considerando a distribuição dos bairros na cidade. A população de 228 canteiros de obras, apresentou uma distribuição de 122 obras na zona Centro-Norte, 22 na zona Nordeste, 40 na zona Leste, 12 na zona Sudeste, 15 na zona sul, 5 na zona Sudoeste, 11 na zona Oeste e 1 na zona de Pirabeiraba. Para testar se os dados da amostra (50 canteiros de obras) têm a mesma distribuição da população (228), considerando a divisão da cidade por zona, foi aplicado o teste *Kolmogorov-Smirnov*. O teste de *Kolmogorov-Smirnov* é um teste não paramétrico e é usado para determinar se duas distribuições diferem (Dodge, 2008). O teste foi aplicado considerando um nível de significância de 5%.

Figura 8 - Divisão da cidade de Joinville em zonas



Fonte: Elaborado com base em Cidade em Dados (2018)

3.3.3 Levantamento de Informações para o estudo de caso

Após a definição da amostra, é necessário levantar informações a respeito do conjunto amostral, que constitui a parte inicial para obtenção de dados para a pesquisa. Esse tópico demandou uma análise e revisão minuciosa e extensa, pois é ponto determinante da pesquisa. As informações coletadas nos canteiros de obras estão baseadas na revisão de literatura, evidenciando as variáveis que podem influenciar o consumo de água nos canteiros de obras. O questionário que foi aplicado possui cinco sessões: identificação, aspectos do edifício, método construtivo, mão de obra e gestão do uso da água.

As questões que contemplam o questionário podem ser vistas no Quadro 2. Além do desenvolvimento das atividades construtivas como um todo, os materiais e processos adotados também geram consumo de água em sua fabricação e aplicação. As definições e padrões construtivos também são questões que devem ser exploradas na análise dos indicadores de consumo de água nas obras. O consumo humano também foi considerado, uma vez que buscou-se entender como a mão de obra influencia o consumo de água em canteiros de obras. O questionário foi aplicado nas construtoras responsáveis pelas obras que são o objeto de estudo desta pesquisa, selecionadas a partir da amostragem não probabilística por cotas. As perguntas são em formatos alternativos e algumas respostas foram delineadas de forma a facilitar o preenchimento por parte do respondente e alcançar as informações necessárias para atender os objetivos nas questões fechadas. Outras respostas necessitam de dados numéricos e por isso são questões abertas. O questionário utilizado é apresentado no Apêndice B.

Quadro 2 - Questões para levantamento de informações

(continua)

INFORMAÇÃO	Nº	DESCRIÇÃO	TIPO DE VARIÁVEL
IDENTIFICAÇÃO	1	Nome de quem vai responder o questionário	qualitativa
	2	Nome da empresa/construtora	
	3	Localização (endereço)	
	4	Data de início e término da construção	quantitativa
	5	Houve atraso no tempo de obra? Quanto tempo?	
	6	Tipo de construção: baixo, médio baixo, médio, médio alto ou alto padrão?	qualitativa
	7	Possui área comum? Quais espaços?	
ASPECTOS DO EDIFÍCIO	8	Área Construída	quantitativa
	9	Número de torres, pavimentos e unidades habitacionais	
	10	Área dos apartamentos	
	11	Quantidade de banheiros incluindo lavabos por apartamento	
	12	Quantidade dormitórios incluindo suítes por apartamento	
MÉTODO CONSTRUTIVO	13	Tipo: concreto armado, alvenaria convencional, alvenaria estrutural ou pré-moldado?	qualitativa
	14	Usou algum sistema pré-fabricado? Qual?	
	15	Usou concreto usinado ou feito <i>in loco</i> ?	

Fonte: A autora (2023)

Quadro 2 - Questões para levantamento de informações

(conclusão)

INFORMAÇÃO	Nº	DESCRIÇÃO	TIPO DE VARIÁVEL
MÉTODO CONSTRUTIVO	16	Reboco: massa pronta ou feita in loco? Se a mistura foi feita na obra, houve uso de silo?	qualitativa
	17	Contrapiso: massa pronta ou feita in loco? Se a mistura foi feita na obra, houve uso de silo?	
	18	Cerâmica: as superfícies são molhadas antes da aplicação dos revestimentos?	
	19	Impermeabilização: quais áreas foram impermeabilizadas? Banheiros, sacadas, terraços, piscinas?	
	20	Vedação interna: alvenaria ou gesso acartonado?	
	21	Lava rodas: sistema mecanizado ou manual?	
	22	Uso de algum equipamento que use água para evitar a geração de poeira? Qual?	
	23	Houve lavagem de fachada?	
MÃO DE OBRA	24	Mão de obra própria ou terceirizada?	qualitativa
	25	Quantidade média de trabalhadores na obra mensal	quantitativa
GESTÃO DO USO DA ÁGUA E SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL	26	Houve alguma situação de desperdício de água identificada durante a construção? Descrever.	qualitativa
	27	Houve alguma ação de uso racional da água? Se sim, qual?	
	28	Houve uso de fonte alternativa de água? Poço, água da chuva ou reúso de água?	
	29	O empreendimento pleiteou algum tipo de certificação ambiental? Se sim, qual?	
	30	Informação sobre algo que possa ter impactado o consumo de água no canteiro de obras? Descrever.	

Fonte: A autora (2023)

3.3.4 Coleta de Dados

Nessa etapa, para a coleta de dados, os canteiros de obras foram selecionados com base nas técnicas de amostragem mencionadas. A fundamentação para a definição das cotas está baseada somente nas informações fornecidas pelo CBVJ, já que na solicitação de dados feita para a SAMA e ao CBM não se obteve sucesso. A aplicação do questionário ocorreu de forma presencial em algumas construtoras e, na maioria dos casos, com o envio do questionário de maneira *online*, pela plataforma Google Forms (Apêndice B).

As respostas obtidas por meio do questionário aplicado, foram organizadas em planilha, com as obras enumeradas de 1 a 50 para identificação. Nas obras que possuem mais de uma torre, foi considerado o número total de torres do empreendimento. E nestes casos, quanto à quantidade pavimentos, os dados apresentados referem-se à quantidade de pavimentos por unidade de torre.

As informações referentes ao consumo de água na fase de construção das obras selecionadas para a amostra foram obtidas, após consentimento das construtoras, junto à Companhia Águas de Joinville (CAJ) considerando o período das atividades construtivas de cada obra. O consumo de água foi medido pela CAJ mensalmente por meio da leitura no hidrômetro de cada obra (em metros cúbicos). O período de obras para cada um dos 50 empreendimentos selecionados para a amostra é distinto e depende de fatores vinculados à gestão interna da construtora, bem como particularidades construtivas de cada edifício.

Quanto à análise dos dados de consumo fornecidos pela CAJ, em alguns casos o tempo de obra informado pelos respondentes no questionário diverge da quantidade de meses analisados para o consumo. Isto ocorreu em função dos dias adicionais de leitura, que neste estudo foram considerados para que a análise fosse realizada por mês e não dias, podendo existir um intervalo de até 15 dias para mais ou para menos. Ainda, em casos em que havia dados faltantes de consumo de água, utilizou-se o cálculo numérico de interpolação polinomial para preenchimento dos dados.

3.4 CÁLCULO DE INDICADORES DE CONSUMO

O consumo de água em canteiros de obras, de acordo com a revisão de literatura realizada, é apresentado por meio do indicador de consumo de água (m^3) pela área construída (m^2). Para este estudo, esse indicador foi calculado com base nas informações que foram levantadas dos 50 canteiros de obras em estudo, por meio do questionário aplicado e pelos dados de consumo de água fornecidos pela Companhia Águas de Joinville. Para auxiliar na construção desse indicador, foram calculados também os indicadores de consumo mensal ($m^3/mês$) e total (m^3) das obras.

O indicador de consumo total (m^3) foi calculado individualmente para cada uma das 50 obras, somando-se todo o consumo mensal de acordo com período construtivo

informado pelos respondentes no questionário. Para o indicador de consumo mensal ($\text{m}^3/\text{mês}$), primeiro calculou-se este indicador para cada uma das 50 obras, somando-se todo o consumo mensal e dividindo pelo número de meses que corresponde ao período construtivo informado pelos respondentes no questionário. O indicador de consumo de água (m^3) pela área construída (m^2), também foi calculado de forma individual para cada uma das 50 obras. Somou-se o consumo total de cada obra e dividiu-se pela área construída que também foi informada pelos respondentes no questionário aplicado.

3.5 MODELAGEM ESTATÍSTICA

A estatística é apresentada por Ignácio (2010) como um conjunto de métodos e técnicas eficientes para obtenção de dados ou também para delimitar a amostragem e testar hipóteses e avaliar parâmetros. Em síntese a estatística entra no contexto da pesquisa por meio de que interpretam os dados coletados e compreensão das análises obtidas (Ignácio, 2010). Nesta seção são apresentados conceitos e análises estatísticas da presente pesquisa. Apresentam-se também os métodos e procedimentos necessários para o desenvolvimento dos modelos de regressão linear múltipla para o consumo de água em canteiros de obras. A análise abrangeu os seguintes tópicos: seleção das variáveis, análise exploratória, estudo de correlação entre variáveis e regressão linear múltipla.

3.5.1 Cálculo Numérico de Interpolação Polinomial

Para as séries temporais de consumo de água das obras, que faltavam dados de consumo em determinados meses, aplicou-se a interpolação polinomial. A interpolação polinomial tem como objetivo estimar valores intermediários entre dados (Freitas; Corrêa; Vaz, 2019). Para isso, o processo de interpolação inicia-se a partir de dados conhecidos e tem como objetivo estimar de forma aproximada um valor que se adeque ao conjunto, sem derivar ou integrar a função (Freitas; Corrêa; Vaz, 2019). Para a estimar os valores faltantes nas séries temporais de consumo das obras, utilizou-se o pacote *forecast* (Hyndmand; Khandakar, 2008; Hyndman *et al.*, 2022) e

o pacote *zoo* (Zeileis; Grothendieck, 2005) no *software RStudio*. Todos os conjuntos foram testados com interpolação polinomial. Para as obras em que não foi possível utilizar interpolação polinomial, pois o valor interpolado apresentou consumo negativo, utilizou-se interpolação por *splines*.

3.5.2 Variáveis Dependentes e Independentes da Amostra

A estatística multivariada busca investigar a dependência das variáveis em uma amostra (Bakke *et al.*, 2008). Para a análise multivariada, as técnicas de dependência se baseiam no uso de um conjunto de variáveis independentes para prever e explicar uma ou mais variáveis dependentes (Hair *et al.*, 2009). Dessa forma, Hair *et al.* (2009) afirmam que o pesquisador consegue viabilizar a análise de praticamente qualquer tipo de questão de pesquisa que envolva uma relação de dependência. Essas técnicas fornecem, além da capacidade de previsão, uma explicação aprimorada da relação da variável dependente com as independentes (Hair *et al.*, 2009).

Em vista disto, na presente pesquisa a variável resposta ou dependente será o indicador de consumo de água por área construída nos canteiros de obras multifamiliares verticais da cidade de Joinville. Com o objetivo de se obter o indicador de consumo (m^3/m^2) individual de cada obra, será somado o consumo de água de todos os meses e dividido pela área total construída de cada obra. As variáveis independentes serão as questões oriundas do Quadro 2, referentes a aspectos do edifício, método construtivo, mão de obra e gestão no uso da água que refletem as variáveis independentes que identificam o coeficiente de determinação (R^2) para o tamanho da amostra, calculado em função da Tabela 3 apresentada por Hair *et al.* (2009).

3.5.3 Análise Exploratória

As técnicas estatísticas podem ser usadas para obtenção de informações e para tirar conclusões (Devore, 2018). Devore (2018) afirma que alguns dos métodos da estatística descritiva são de natureza gráfica e que os principais exemplos incluem a construção de histogramas, diagrama de caixa (gráficos *boxplots*) e gráficos de dispersão e que há também os métodos descritivos que envolvem o cálculo de

medidas numéricas, como as médias, os desvios padrão e os coeficientes de correlação.

A análise exploratória do conjunto de dados do presente estudo, inicialmente foi realizada por meio das características e informações das variáveis. Essa análise permite conhecer e qualificar as informações do conjunto de dados. Em consequência disso, foram calculadas todas as medidas descritivas que são os valores mínimos e máximos, valores de 25° e 75° percentil, a média, a mediana, desvio padrão e amplitude interquartil (AIQ). Os resultados obtidos são apresentados no formato de tabelas, gráficos *boxplot*, gráficos de barras, gráficos de dispersão e histogramas.

3.5.4 Correlação entre as variáveis

Há situações em que o objetivo do estudo é analisar o comportamento das variáveis e verificar se estão relacionadas, e não necessariamente usar uma para prever o valor da outra (Devore, 2018). A análise multivariada tem como objetivo entender o comportamento da variável dependente em relação às variáveis independentes, portanto utiliza a correlação entre a variável independente e a dependente (variável resposta), com intuito de determinar quais dessas variáveis independentes influenciam o resultado (Hair *et al.*, 2009). Esta pesquisa busca a compreensão de como cada variável independente afetará o consumo de água nos canteiros de obras da cidade de Joinville/SC de forma individual (análise por meio da correlação e teste) e em conjunto (análise por meio de regressão).

A correlação é utilizada quando deseja-se verificar a existência de associação linear entre variáveis quantitativas (Mahaluça, 2019). Mahaluça (2019) afirma que as correlações medem o grau de associação entre duas variáveis e que o coeficiente resulta sempre em um valor entre -1 e 1 e sua interpretação depende do seu valor numérico e do seu sinal. Quanto mais próximo de -1 e 1, mais forte é o grau de relação linear existente entre X e Y e, quanto mais próximo de 0, mais fraco é o grau desta relação (Mahaluça, 2019). Para Devore (2018) as correlações fortes são aquelas com valores acima de $|0,8|$, as correlações moderadas têm valores entre $|0,5|$ e $|0,8|$ e as correlações fracas, abaixo de $|0,5|$. De acordo com Miot (2018) os coeficientes de correlação e respectivos intervalos de confiança e testes de significância apresentam propriedades inferenciais e devem estar em pesquisas científicas. A

análise de correlação não foi calculada com a finalidade de predição de valores ou da inferência da participação de múltiplas variáveis na explicação de um fenômeno, e para isso aplicam-se as técnicas de regressão e de análise multivariadas (Miot, 2018).

Para calcular as correlações entre as variáveis quantitativas, testou-se a normalidade dos dados por meio do teste de *Shapiro-Wilk*. De acordo com Miot (2017) o teste de *Shapiro-Wilk* apresenta um bom desempenho para a análise dos parâmetros de normalidade em relação a outros testes. Todos os testes pressupõem a hipótese de normalidade dos dados (H_0) com p-valor $> 0,05$ (Miot, 2017). Em caso de normalidade de dados serão calculados os coeficientes de correlação de *Pearson*, e no caso de não normalidade serão calculados os coeficientes de correlação de *Spearman* (Miot, 2018) para verificar a existência de associação linear entre duas variáveis quantitativas. A significância das correlações será verificada por meio do teste de hipóteses, (teste t de *Student*) e no caso de H_0 ser rejeitada, pode-se concluir que existe uma relação significativa entre as variáveis, enquanto que, no caso de H_0 ser aceita, conclui-se que não existe uma correlação significativa entre as variáveis (Barbetta *et al.*, 2010).

Para as variáveis qualitativas, a análise foi realizada por meio dos gráficos de *boxplot*. Alguns testes estatísticos também foram aplicados para analisar as diferenças no consumo de água em relação a variáveis com duas categorias. O teste t de *Student* foi aplicado quando houver distribuição normal nos dados, e o teste não paramétrico de Wilcoxon-Mann-Whitney quando não houver normalidade nos dados (Montgomery; Runger, 2021). Para as análises do consumo de água com variáveis acima de duas categorias, será aplicado o teste ANOVA fator único para variáveis com distribuição normal dos dados, e o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis para as variáveis cujos dados não possuem distribuição normal (Devore, 2018), com nível de significância adotado de 5% (0,05).

3.5.5 Modelo de Regressão Linear Múltipla

A análise de regressão é a parte da estatística que investiga a relação entre duas ou mais variáveis relacionadas de maneira não determinística (Devore, 2018). A análise de regressão é uma técnica de modelagem utilizada para analisar a relação entre uma variável dependente (y) e uma ou mais variáveis independentes ($x_1, x_2, x_3,$

..., x_k) (Mahaluça, 2019). O objetivo dessa técnica é estimar uma função que descreve, o mais próximo possível, a relação entre essas variáveis e assim prever o valor que a variável dependente (y). De acordo com Montgomery e Runger (2021), a variável dependente (y) pode estar relacionada a k variáveis independentes (ditas regressoras), conforme a Equação 1 (Montgomery; Runger, 2021).

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k + \varepsilon. \quad (1)$$

Sendo:

y = variável dependente;

β_0 = intercepto;

β_j = coeficiente parcial de regressão;

X_j = variável independente;

ε = erro aleatório.

Para se calcular os coeficientes de regressão do modelo de regressão linear múltipla, utiliza-se o método dos mínimos quadrados (Montgomery; Runger, 2021). Esse método permite estimar os parâmetros em uma relação linear entre variáveis e busca o melhor ajuste para o conjunto de dados tentando minimizar a soma dos quadrados das diferenças entre o valor estimado e os dados observados (Montgomery; Runger, 2021). Os coeficientes preditores do modelo final de regressão linear múltipla do indicador de consumo de água (m^3/m^2) foram padronizados (baseados na mesma escala), para que fosse possível compará-los (Behrendt, 2023). Na presente pesquisa, a modelagem estatística foi realizada considerando como variável dependente (y), o indicador de consumo de água por área construída nos canteiros de obras multifamiliares verticais da cidade de Joinville. As variáveis independentes ou regressoras (x_j) são referentes a aspectos do edifício, método construtivo, mão de obra e gestão no uso da água (Quadro 2).

3.5.6 Seleção das variáveis

Um modelo que possui um número adequado de variáveis se torna mais explicativo e de fácil compreensão. Visto que o objetivo do modelo final é abranger

um número suficiente de variáveis regressoras que explique a variável dependente (Montgomery; Runger, 2021). A seleção das variáveis regressoras para compor o modelo de regressão é um desafio, como apontam os autores Montgomery e Runger (2021). Para a seleção das variáveis que compõem o modelo final deste estudo, são realizados cálculos e análises das correlações entre as variáveis dependentes e independentes. As variáveis quantitativas e qualitativas com correlações e testes significativos ao nível de significância adotado de 10% (0,1) foram incluídas no modelo inicial.

3.5.7 Análise dos resíduos e da multicolinearidade

Uma das abordagens para verificar e validar a adequação do modelo é calcular os valores dos resíduos do modelo (Devore, 2018). Resíduo pode ser definido como a diferença entre os valores observados e os valores estimados no modelo, afirmam Montgomery e Runger (2021). Montgomery e Runger (2021) afirmam que para calcular os coeficientes de regressão do modelo de regressão linear múltipla, utiliza-se o método dos mínimos quadrados e para isso, os resíduos devem ser normais, com distribuição aleatória em torno de 0 e variância constante. Para testar o comportamento do resíduo utilizou-se o pacote *car* (Fox; Weisberg, 2019), e por meio de gráficos e testes, foi possível realizar a validação do modelo desenvolvido. Para verificação dos resíduos deste modelo, recomenda-se analisar a normalidade dos dados, a homoscedasticidade, a independência e a multicolinearidade (Kabacoff, 2015).

Para isso, é apresentado o gráfico de probabilidade normal dos resíduos e o teste de *Shapiro-Wilk* (Kutner; Nachtsheim; Neter, 2004). A homoscedasticidade pode ser verificada nos gráficos de resíduos, sendo que a variância deve ser constante, os pontos devem estar distribuídos de forma aleatória e sem nenhum padrão (Kutner; Nachtsheim; Neter, 2004). Para complementação da análise de homoscedasticidade do modelo, foi realizado o teste de Breusch Pagan (Fox; Weisberg, 2019).

A multicolinearidade se refere a inter-relação entre as variáveis independentes (Maia, 2017). Maia (2017) afirma que a multicolinearidade não afeta as propriedades do método dos mínimos quadrados, mas que pode dificultar a identificação do efeito isolado de variáveis independentes, visto que dificulta a observação de uma variável

regressora isolada, se mantidas as demais variáveis regressoras correlacionadas. A multicolinearidade das variáveis regressoras do modelo foi verificada por meio do fator de inflação de variância (VIF - *Variance Inflation Factor*), que indica que em valores menores que 5 não há multicolinearidade (Kutner; Nachtsheim; Neter, 2004). Por fim, verificaram-se os *outliers* e pontos influentes dos resíduos do modelo, por meio do gráfico de resíduos *versus* valores ajustados, gráfico de distância de Cook e pela aplicação do teste de Bonferroni. Para o gráfico dos pontos influentes, considerou-se aceitos os valores que apresentam uma distância de Cook abaixo de 1,0 (Montgomery; Runger, 2021).

3.5.8 Modelo final e validação

A última etapa proposta para o estudo, é o estágio de validação dos resultados, bem como a identificação do melhor modelo de regressão. Hair *et al.* (2009) expõem que esta fase diz respeito à garantia de que a modelagem escolhida deverá representar a população geral de forma generalizada, garantindo confiabilidade para as situações nas quais será utilizada. Para validação do modelo de regressão do indicador de consumo de água (m^3/m^2), propõem-se dois métodos, sendo o primeiro a comparação entre os indicadores calculados (valores reais) e os indicadores previstos pelo modelo de regressão.

As métricas de análise utilizadas para avaliação da qualidade do modelo do modelo de regressão linear múltipla foram o erro médio absoluto (MAE - *Mean Absolute Error*), erro percentual absoluto médio (MAPE - *Mean Absolute Percentage Error*), raiz quadrada do erro médio (RMSE - *Root Mean Squared Error*) e o coeficiente de determinação (R^2 - *Determination Coefficient*). As Equações 2 a 5 (Shams *et al.*, 2024) definem as métricas de análises adotadas e podem ser vistas na Tabela 5.

O erro médio absoluto (MAE) mede a diferença absoluta média entre os valores de previstos e os valores reais, fornecendo uma medida da precisão do modelo (Lai *et al.*, 2023). O MAE se concentra na medição do erro geral e é menos sensível a valores discrepantes do que o RMSE (Xu *et al.*, 2024). O erro quadrático médio (RMSE) mede a diferença média dos pontos de dados reais em relação aos valores previstos e a diferença é elevada ao quadrado, para evitar o cancelamento de valores positivos e negativos, enquanto eles são somados (Bi; Feleke; Guan, 2019). MAPE é

uma medida relativa do erro em valores percentuais (Myttenaere *et al.*, 2016). A raiz do erro quadrático médio (RSME) fornece um desvio padrão dos resíduos e mesmo um modelo com baixo R² pode ser útil (Alexander; Tropsha; Winkler, 2015).

Tabela 5 - Métricas de Análise

Indicadores	Equação	
MAE	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y - \hat{y}_i)$	(2)
MAPE	$\frac{\sum_{i=1}^n \left \frac{y - \hat{y}_i}{y_i} \right }{n} \cdot 100\%$	(3)
RMSE	$\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y}_i)^2}{n}}$	(4)
R ²	$1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n ((\sum_{i=1}^n y_i) - y_i)^2}$	(5)

n é o número de amostras

y é o valor real

\hat{y} é o valor predito

i são as observações

Fonte: Adaptado de Shams *et al.* (2024)

Foram calculados os valores preditos para os indicadores de consumo de água (m³/m²) dos 50 canteiros de obras e respectivos intervalos de predição. O intervalo de predição (ou previsão) fornece limites para a previsão de uma única observação futura com grau de confiança conhecido (Montgomery; Runger, 2021). Foi calculado também o erro percentual entre o valor real e o valor predito de cada um dos 50 canteiros de obras e a média dos erros percentuais, a métrica MAPE.

A última etapa para a construção dos modelos de regressão é a validação dos mesmos. Esta validação diz respeito a verificação de um modelo candidato em relação aos dados independentes (Kutner; Nachtsheim; Neter, 2004). A verificação pode ser realizada por meio da coleta de novos dados para verificar o modelo e sua predição, a comparação de resultados também é uma opção por meio dos resultados empíricos anteriores e da simulação. Por último pode ser feito o uso de uma amostra de

validação para verificar o modelo e sua capacidade preditiva (Kutner; Nachtsheim; Neter, 2004).

O método utilizado para validação foi a validação cruzada K-Fold. Neste método, a amostra (50 canteiros de obras) é dividida em k partes, sendo a estimação refeita com as $k-1$ partes restantes e esse processo é repetido k vezes (Bobbitt, 2020). Na validação cruzada K-Fold, existe uma compensação entre viés e variância associadas à escolha de k , normalmente se utiliza $k = 5$ ou $k = 10$, para que não se alcance estimativas de erros com viés e variância altas (Bobbitt, 2020).

O processo de validação cruzada consiste na aplicação de métodos de reamostragem (Kuhn, 2008). O conjunto de dados modificado é criado a partir do conjunto de dados original, logo cada conjunto de dados contém um conjunto que corresponde à amostra de validação (Kuhn, 2008). A partir de então o modelo passa a ser ajustado, para combinação dos parâmetros e amostras correspondentes, a cada conjunto de dados reamostrados (Kuhn, 2008). Esta reamostragem tem como objetivo estimar resultados para cada conjunto de amostras de validação e indica em que combinações os parâmetros de ajustes são apropriados (Kuhn, 2008).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta a análise e discussão dos resultados obtidos. Por meio da metodologia proposta neste trabalho, foi realizada a análise dos dados da amostra de 50 canteiros de obras coletados por meio de formulário *online* (Apêndice B) com obras que foram finalizadas entre janeiro de 2020 e abril de 2024.

4.1 AMOSTRA (50 CANTEIROS DE OBRAS)

Os dados da amostra do presente trabalho foram obtidos, por meio do formulário eletrônico conforme o Apêndice B, que foi aplicado entre os meses de janeiro e abril de 2024. As respostas obtidas foram preenchidas pelos donos das construtoras e engenheiros responsáveis pela execução das obras, que correspondem aos 50 canteiros de obras do tipo residenciais multifamiliares que são os objetos de pesquisa deste estudo. A Tabela 6 expõe algumas informações que caracterizam essas 50 obras, como a identificação dos canteiros de obras de forma numérica do número 1 ao número 50, localização (bairro), área total construída (m²), datas de início e término das construções, tempo (em meses) de construção e o tempo (em meses) de atraso no cronograma previsto para a obra.

Como critério para preenchimento do formulário as obras precisavam ser da cidade de Joinville/SC e do tipo residencial multifamiliar vertical, além de já estarem finalizadas. Foram consideradas para esta pesquisa, obras que tivessem encerrado suas atividades construtivas entre janeiro de 2020 e abril de 2024. Após essa etapa, os dados de consumo de água das respectivas obras foram fornecidos pela Companhia Água de Joinville (CAJ), com anuência dos respondentes, conforme período indicado no formulário.

Como resultado da aplicação do formulário, houve o preenchimento com informações de 52 canteiros de obras, mas 2 desses precisaram ser retirados da amostra, porque um deles teve suas atividades construtivas iniciadas em 2013 e finalizada somente em 2022 porque a obra passou por ciclos de paralização de atividades. A segunda obra foi retirada da amostra porque dentro do período construtivo informado de 29 meses, somente 4 meses apareciam com consumo, nos demais meses a obra não possuía a instalação de ligação de água junto à companhia.

Por isso, a amostra final desta pesquisa conta com 50 obras das 52 respostas obtidas por meio do formulário aplicado.

A seguir serão apresentados os dados coletados das 50 obras, por meio do formulário preenchido pelos respondentes que envolvem as variáveis qualitativas e quantitativas. Com base nos dados de consumo mensal de cada uma das 50 obras serão apresentados os indicadores de consumo (m^3/m^2) das obras do tipo residencial vertical multifamiliar na cidade de Joinville. Na sequência, para as variáveis quantitativas serão apresentados os gráficos de dispersão e coeficientes de correlação de *Spearman*. As variáveis qualitativas serão apresentadas por meio dos gráficos de *boxplot*. Para as variáveis com duas categorias foram aplicados o teste t de *Student* e o teste não paramétrico de *Wilcoxon-Mann-Whitney* enquanto que as variáveis acima de duas categorias, aplicou-se o teste ANOVA e o teste não paramétrico de *Kruskal-Wallis*. Com as análises dos gráficos apresentados para as variáveis e os testes aplicados, foram selecionadas as variáveis para comporem o modelo de regressão linear múltipla. Para seleção do modelo de regressão mais adequado para explicar o consumo de água (m^3/m^2), realizaram-se testes e análises de resíduos.

Tabela 6 - Principais informações sobre a amostra (continua)

ID obra	Bairro	Área total construída (m^2)	Data de início da obra	Data de término da obra	Tempo de obra (meses)	Tempo de atraso (meses)
1	Centro	10694,57	15/12/2019	21/11/2023	48	12
2	Atiradores	4504,17	01/07/2017	17/06/2020	36	0
3	Santo Antônio	7308,12	01/08/2018	13/12/2021	41	6
4	Anita Garibaldi	2760,00	03/06/2019	28/07/2022	38	0
5	América	14608,00	11/03/2018	18/12/2020	34	0
6	Costa e Silva	3330,63	05/02/2018	29/10/2021	45	6
7	Costa e Silva	3229,00	01/09/2019	01/09/2022	37	0
8	Aventureiro	491,81	20/03/2021	20/07/2022	16	0
9	Saguaçu	3144,00	01/11/2021	30/03/2024	29	3
10	Anita Garibaldi	6566,94	27/07/2020	28/02/2023	32	0
11	Anita Garibaldi	5503,13	01/01/2018	01/01/2023	61	12
12	Vila Nova	1400,00	02/02/2020	10/09/2021	20	0

Fonte: A autora (2024)

Tabela 6 - Principais informações sobre a amostra
(continuação)

ID obra	Bairro	Área total construída (m ²)	Data de início da obra	Data de término da obra	Tempo de obra (meses)	Tempo de atraso (meses)
13	Aventureiro	1700,00	01/08/2020	01/12/2022	28	0
14	Bom Retiro	5461,83	15/09/2021	20/12/2023	28	0
15	Bom Retiro	6839,92	10/12/2019	28/03/2023	40	16
16	Santo Antônio	1261,36	15/04/2020	30/11/2022	32	7
17	Santo Antônio	4705,65	01/04/2018	31/10/2020	31	0
18	Parque Guarani	8747,06	01/06/2021	01/02/2023	20	2
19	Costa e Silva	16009,07	01/05/2021	01/03/2023	22	3
20	Anita Garibaldi	13854,54	01/05/2021	01/05/2023	24	4
21	Santo Antônio	2818,00	01/08/2022	01/02/2024	18	1
22	Saguaçu	8592,29	19/12/2019	28/07/2022	32	0
23	Boa Vista	874,00	18/05/2020	19/01/2022	20	0
24	Costa e Silva	4243,52	12/01/2021	15/12/2022	23	0
25	Costa e Silva	637,94	17/01/2019	09/12/2021	35	4
26	Santo Antônio	5827,19	15/05/2018	20/06/2021	38	8
27	América	4033,00	05/01/2020	10/12/2023	48	12
28	Glória	970,00	15/01/2020	15/03/2023	39	3
29	Costa e Silva	3167,81	01/10/2020	07/02/2023	29	1,5
30	Jardim Iriú	4000,00	05/01/2019	15/03/2023	51	6
31	Bucarein	35629,90	01/09/2018	01/03/2021	30	7
32	Saguaçu	12404,04	01/10/2020	01/05/2022	19	0
33	João Costa	6218,35	01/07/2020	01/01/2022	18	2
34	João Costa	4250,92	01/02/2022	01/06/2023	16	4
35	Pirabeiraba	4251,69	01/06/2022	01/08/2023	14	3
36	Saguaçu	3422,87	10/01/2017	30/06/2020	42	0
37	Saguaçu	2434,85	10/03/2020	10/06/2023	40	0
38	Aventureiro	3600,00	01/05/2019	30/04/2021	24	4
39	Anita Garibaldi	7866,51	22/11/2017	25/02/2021	40	0
40	Atiradores	10906,56	29/08/2019	08/12/2022	40	0
41	Costa e Silva	3442,25	01/08/2019	01/02/2022	31	0
42	Anita Garibaldi	6047,00	30/06/2020	10/01/2023	31	4
43	Bom Retiro	7300,00	15/08/2021	30/03/2024	32	1
44	Boa Vista	1195,00	10/01/2022	20/02/2024	26	4
45	Atiradores	6145,11	26/11/2020	16/05/2023	30	2

Fonte: A autora (2024)

**Tabela 6 - Principais informações sobre a amostra
(conclusão)**

ID obra	Bairro	Área total construída (m ²)	Data de início da obra	Data de término da obra	Tempo de obra (meses)	Tempo de atraso (meses)
46	Costa e Silva	4885,67	08/07/2021	07/12/2023	29	0
47	Costa e Silva	3200,00	01/04/2019	01/02/2021	22	3
48	Glória	5260,14	10/01/2021	30/12/2023	36	0
49	Anita Garibaldi	1933,16	01/02/2021	28/02/2023	25	0
50	América	2927,55	01/02/2019	30/08/2022	44	2

Fonte: A autora (2024)

4.1.1 Distribuição nos bairros

A distribuição dos 50 canteiros de obra por bairros em Joinville é apresentada na Tabela 7. A figura 9 apresenta as regiões com maior frequência de construções que, considerando a amostra de 50 canteiros de obras, são as regiões Centro/Norte com 39 obras, Nordeste e Leste, com 3 obras cada, Sudeste, com 2 obras e as zonas Sul, Oeste e Pirabeiraba, com 1 obra cada. O teste aplicado de *Kolmogorov-Smirnov* indicou que há semelhança na distribuição de obras entre a população (considerando as 228 obras com emissão de “Habite-se” pelo CBVJ) e a amostra (n = 50) na cidade de Joinville. Na população as regiões Centro-Norte, Nordeste e Leste têm mais canteiros de obras enquanto as demais regiões apresentam um número menor de canteiro de obras.

Tabela 7 - Frequência dos canteiros de obra por bairro

(continua)

Bairros	Contagens	% do Total	% acumulada
América	3	6.0 %	6.0 %
Anita Garibaldi	7	14.0 %	20.0 %
Atiradores	3	6.0 %	26.0 %
Aventureiro	3	6.0 %	32.0 %
Boa Vista	2	4.0 %	36.0 %
Bom Retiro	3	6.0 %	42.0 %

Fonte: A autora (2024)

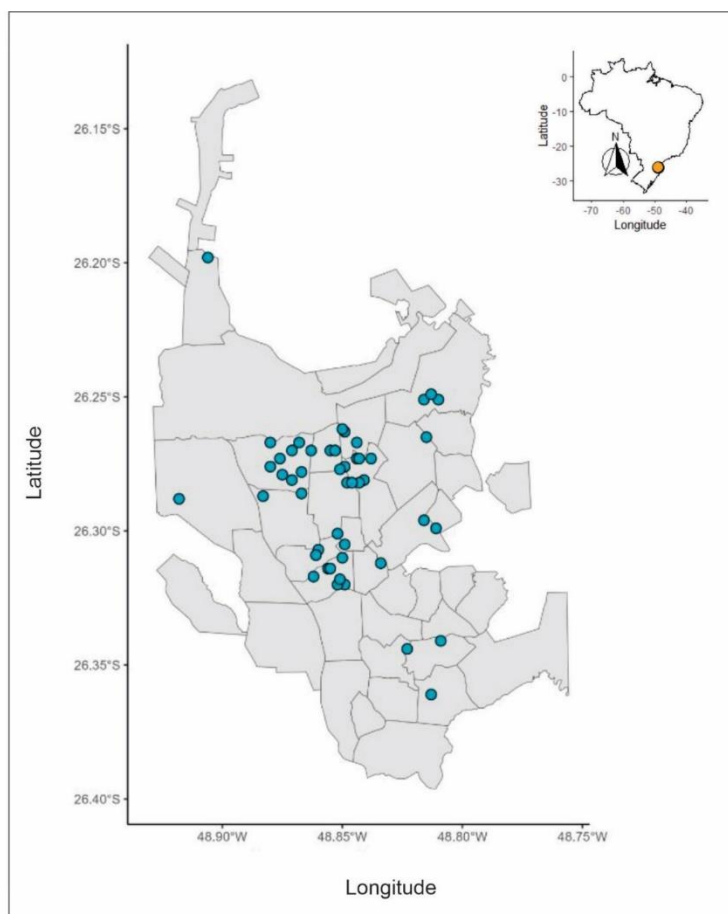
Tabela 7 - Frequência dos canteiros de obra por bairro

(conclusão)

Bairros	Contagens	% do Total	% acumulada
Bucarein	1	2.0 %	44.0 %
Centro	1	2.0 %	46.0 %
Costa e Silva	9	18.0 %	64.0 %
Glória	2	4.0 %	68.0 %
Jardim Iriú	1	2.0 %	70.0 %
João Costa	2	4.0 %	74.0 %
Parque Guarani	1	2.0 %	76.0 %
Pirabeiraba	1	2.0 %	78.0 %
Saguaçu	5	10.0 %	88.0 %
Santo Antônio	5	10.0 %	98.0 %
Vila Nova	1	2.0 %	100.0 %

Fonte: A autora (2024)

Figura 9 - Localização dos canteiros de obra por bairro



Fonte: A autora (2024)

4.1.2 Padrão Construtivo

A distribuição dos 50 canteiros de obra por tipo de padrão construtivo na cidade de Joinville é apresentada na Tabela 8. De acordo com os respondentes, nota-se que houve mais construções na cidade de Joinville do tipo médio padrão (MP), com 18 obras, e do tipo médio alto padrão (MAP), com 15 obras.

Tabela 8 - Padrão construtivo

Padrão construtivo	Contagem	% do Total	% acumulada
Baixo padrão (BP)	4	8.0 %	8.0 %
Médio baixo padrão (MBP)	9	18.0 %	26.0 %
Médio padrão (MP)	18	36.0 %	62.0 %
Médio alto padrão (MAP)	15	30.0 %	92.0 %
Alto padrão (AP)	4	8.0 %	100.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.3 Áreas Comuns

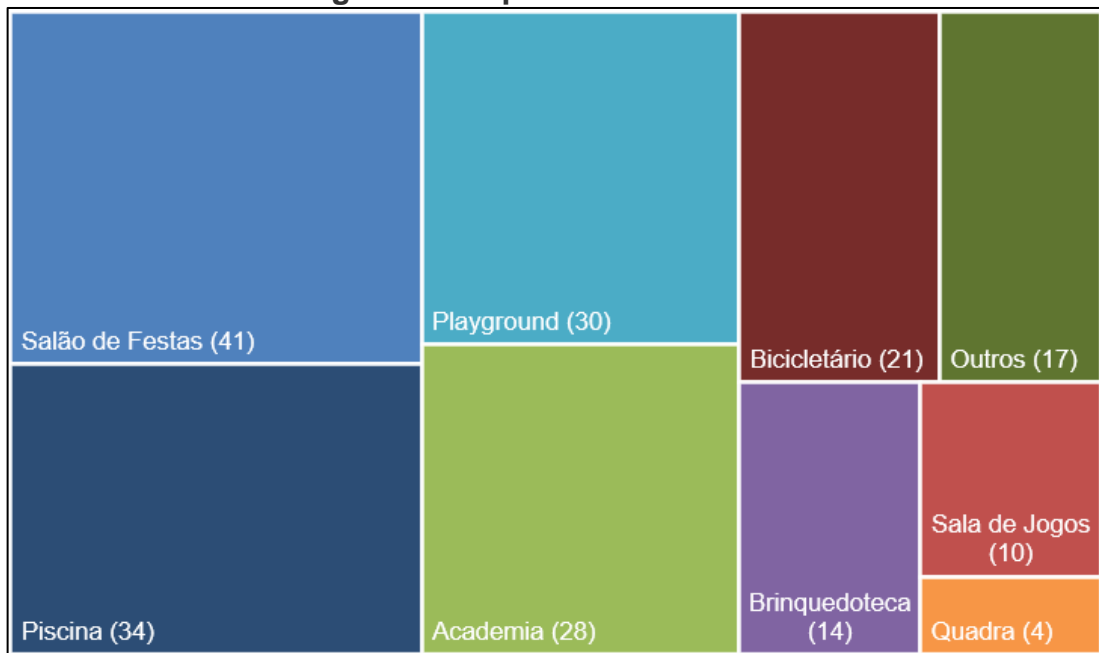
A distribuição dos 50 empreendimentos em estudo, para a existência ou não de áreas comuns é apresentada na Tabela 9. Nota-se que existem mais construções na cidade de Joinville com áreas comuns (45) do que obras que não possuem (5). A Figura 10 apresenta a frequência das áreas comuns dos 45 empreendimentos, sendo que 41 destes empreendimentos possuem salão de festas, 34 possuem piscina, 30 possuem *playground*, 28 possuem academia, 21 contam com bicicletário, 14 com brinquedoteca, 10 com salas de jogos e 4 empreendimentos possuem quadra. Destes 45 empreendimentos, 17 deles informaram ter também outras áreas comuns, como quiosques com e sem churrasqueira, salão *gourmet*, *lounge* ou terraço *lounge*, cinema, praça/bosque, academia ao ar livre, espaço zen, redário, espaço com lareira, horta comunitária, espaço de *coworking*, lavanderia coletiva, ferramentaria compartilhada, espaço pet e mercado 24 horas.

Tabela 9 - Áreas comuns

Áreas comuns	Contagens	% do Total
Sim	45	90.0 %
Não	5	10.0 %

Fonte: A autora (2024)

Figura 10 - Tipo de áreas comuns



Fonte: A autora (2024)

4.1.4 Variáveis Quantitativas

As estatísticas descritivas das variáveis quantitativas área total construída (m²), quantidade de torres, quantidade de pavimentos, quantidade de unidades habitacionais, quantidade de tipos de apartamentos diferentes, quantidade de banheiros e lavabos e a quantidade de dormitórios e suítes, dos 50 empreendimentos em estudo, é apresentada na Tabela 10. São apresentados os valores mínimos, de 25° percentil, média, mediana, 75° percentil, máximo, desvio padrão e AIQ (amplitude interquartil) de cada uma das variáveis.

Tabela 10 - Estatísticas descritivas das variáveis quantitativas

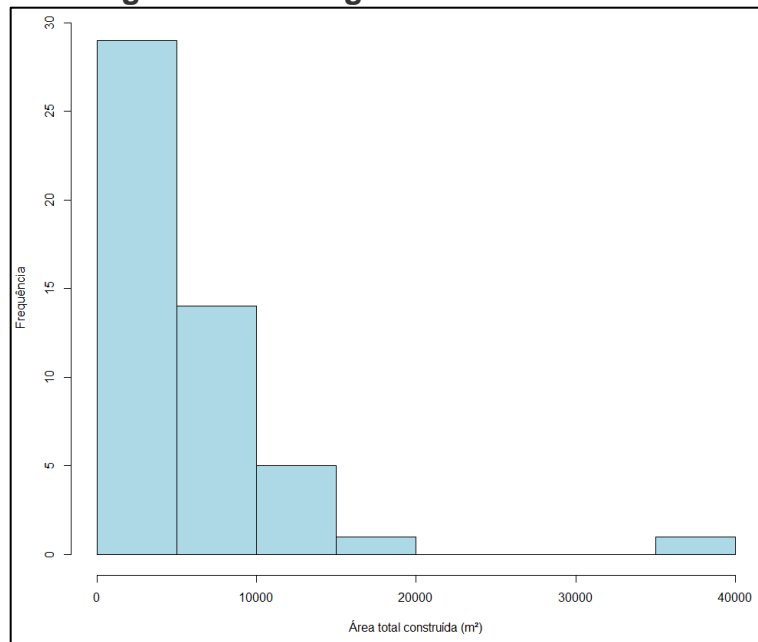
VARIÁVEL	MÍNIMO	25° PERCENTIL	MÉDIA	MEDIANA	75° PERCENTIL	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	AIQ
Área total construída (m ²)	492	2.982	5.812	4.251	6.772	35.630	5.638	3.790
Quantidade de torres	1	1	1,28	1	1	5	0,784	0
Quantidade de pavimentos	3	5,25	9	9	11	20	4,04	5,75
Quantidade de unidades habitacionais	6	18,3	51,4	29,5	53	400	64,3	34,8
Quantidade de tipos de apartamentos diferentes	1	2	4,14	3,5	5,75	10 ou mais	2,70	3,75
Quantidade de banheiros e lavabos	7	39,3	88	80	119	400	67,1	79,8
Quantidade de dormitórios e suítes	12	44,5	110	75	130	800	128	85,3
Tempo de atraso nas obras (meses)	1	2,75	5,09	4	6,25	16	3,82	3,5
Média mensal de colaboradores na obra	5	15	34,7	20	37,3	190	35,6	22,3

Fonte: A autora (2024)

4.1.4.1 Área Total Construída (m²)

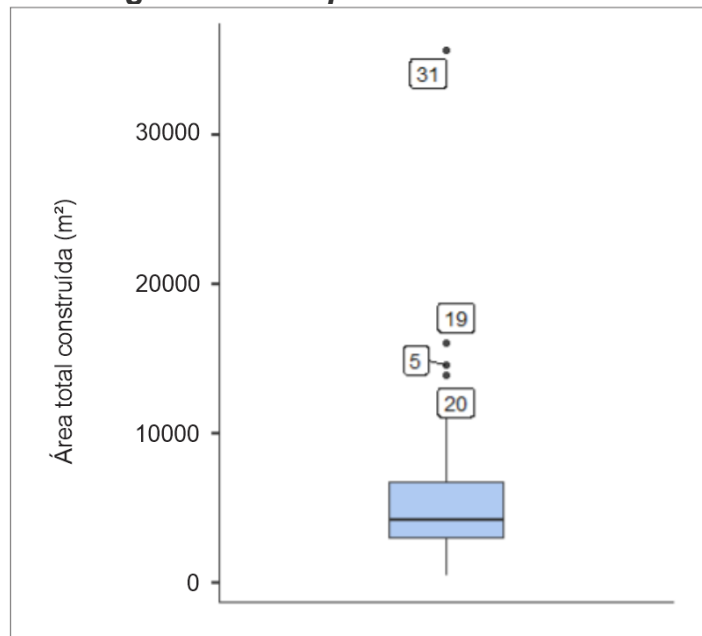
Com relação à área construída, a Tabela 10 e as Figuras 11 e 12, mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 5.812 m² de área construída com um desvio padrão, de 5.638 m² e com mediana, de 4.251 m². Dentre os dados desse conjunto, a menor área construída é de 492 m² e a maior é de 35.630 m². A assimetria da distribuição da Figura 13 confirma maior densidade de empreendimentos com área construída de até aproximadamente 1.500 m². A Figura 14, que apresenta o *boxplot* das áreas construídas das 50 obras em estudo, indica que essa amostra possui 4 *outliers*, ou seja, as obras 5, 19, 20 e 31 apresentam áreas construídas consideravelmente maiores que as demais obras da amostra. A obra 5 possui 14.608m², a obra 19 possui 16.009,07 m², a obra 20 possui 13.854,54 m² e a obra 31 possui 35.629,90 m² de área construída.

Figura 11 - Histograma área construída



Fonte: A autora (2024)

Figura 12 - Boxplot área construída

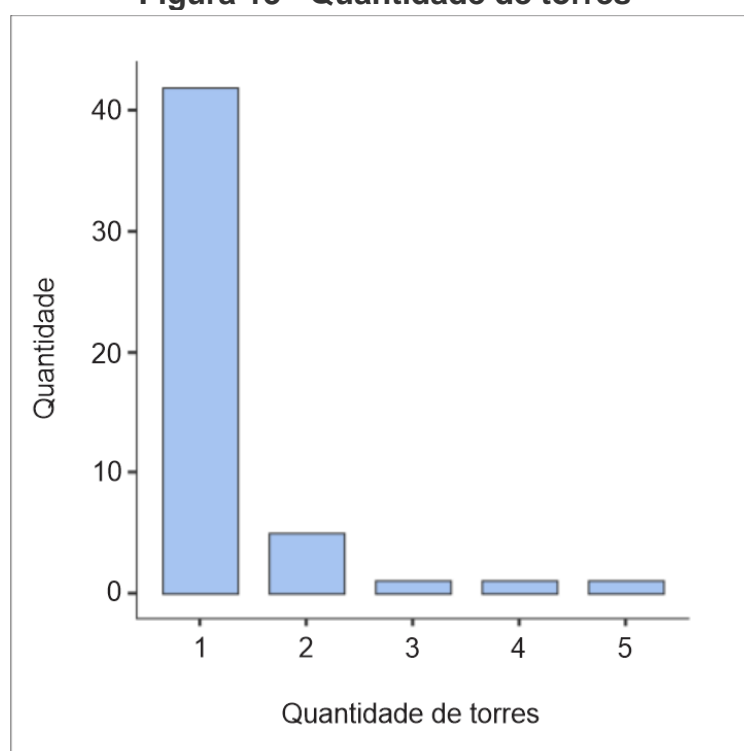


Fonte: A autora (2024)

4.1.4.2 Quantidade de Torres

Com relação à quantidade de torres, as Tabela 10 e a Figura 13 mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 1,28 torres com um desvio padrão, de 0,784 e com uma mediana equivalente, a 1 torre. Dentre os dados desse conjunto, o menor número de torres é igual 1 e o maior, é de 5 torres, sendo que 75% da amostra possui uma única torre.

Figura 13 - Quantidade de torres



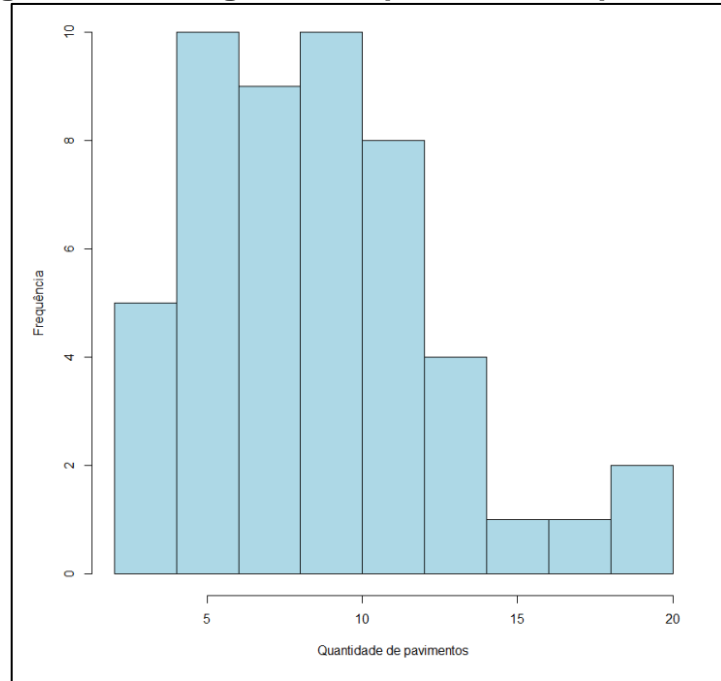
Fonte: A autora (2024)

4.1.4.3 Quantidade de Pavimentos

Com relação à quantidade de pavimentos, a Tabela 10 e as Figuras 14 e 15, mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 9 pavimentos com um desvio padrão de 4 pavimentos e com mediana também, de 9 pavimentos. Dentre os dados desse conjunto, o empreendimento com menor número de pavimentos é igual a 3 e o maior é de 20, sendo que 75% da amostra possui até 11 pavimentos. A frequência do número de pavimentos das 50 obras deste estudo, pode ser conferida no Apêndice C. A Figura 15, que apresenta o *boxplot* da quantidade de pavimentos

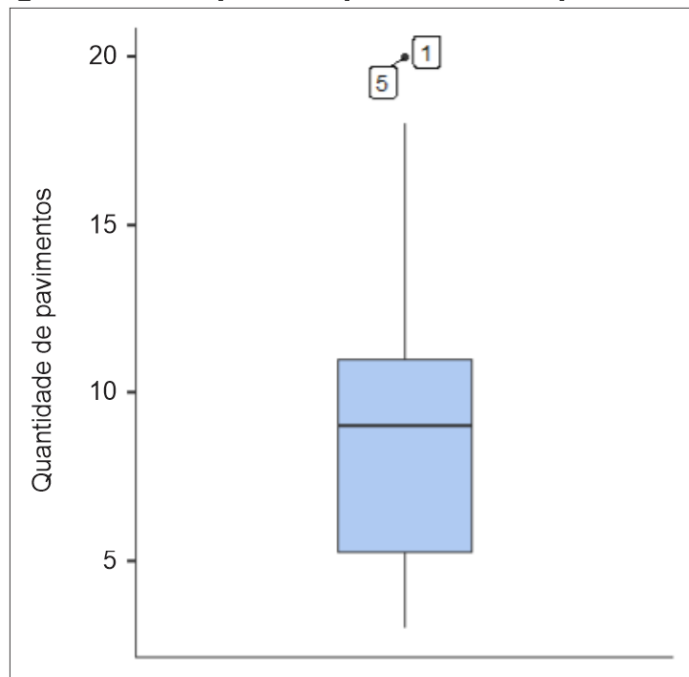
das 50 obras em estudo, indica que essa amostra possui 2 *outliers*, ou seja, as obras 1 e 5 apresentam número de pavimentos com valores discrepantes das demais obras da amostra. As obras 1 e 5 possuem 20 pavimentos cada (maior número de pavimentos da amostra).

Figura 14 - Histograma da quantidade de pavimentos



Fonte: A autora (2024)

Figura 15 - Boxplot da quantidade de pavimentos

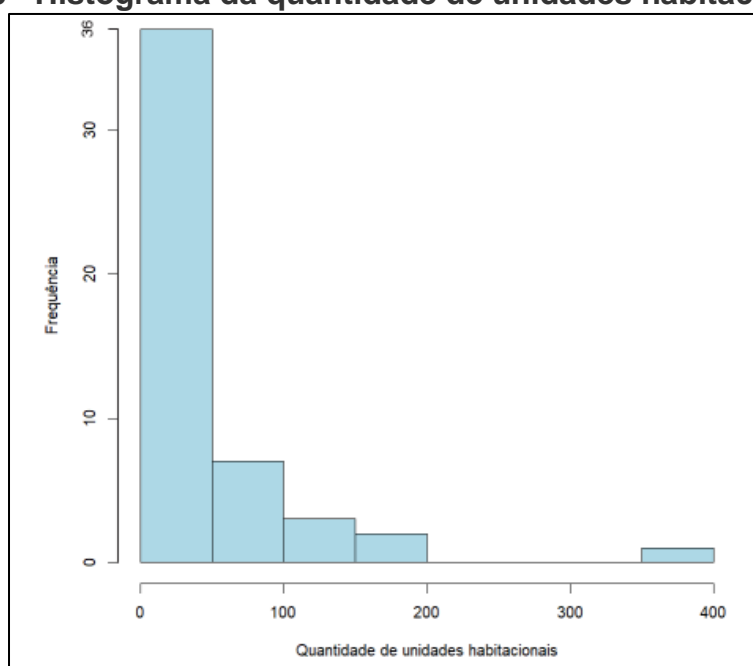


Fonte: A autora (2024)

4.1.4.4 Quantidade de Unidades Habitacionais (apartamentos)

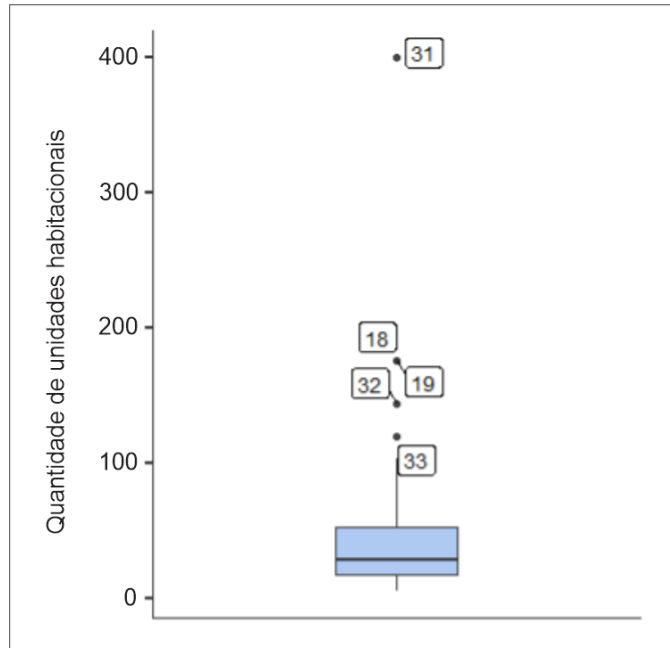
Com relação à quantidade de unidades habitacionais, a Tabela 10 e as Figuras 16 e 17 mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 51,4 (adota-se 51) unidades com um desvio padrão, de 64,3 (adota-se 64) e com mediana, de 29,5. Dentre os dados desse conjunto, o menor número de unidades habitacionais é de 6 e o máximo, é de 400, sendo que 75% da amostra possui até 53 unidades habitacionais. A frequência do número de unidades habitacionais das 50 obras deste estudo pode ser conferida no Apêndice D. A Figura 19, que apresenta o *boxplot* indica que essa amostra possui 5 *outliers*, ou seja, as obras 18, 19, 31, 32 e 33 apresentam números de unidades habitacionais discrepantes quando comparados aos valores das demais obras da amostra. A obra 18 e 19 possuem 176 cada, a obra 31 possui 400, a obra 32 possui 144 e a obra 33 possui 120 apartamentos.

Figura 16 - Histograma da quantidade de unidades habitacionais



Fonte: A autora (2024)

Figura 17 - *Boxplot* da quantidade de unidades habitacionais

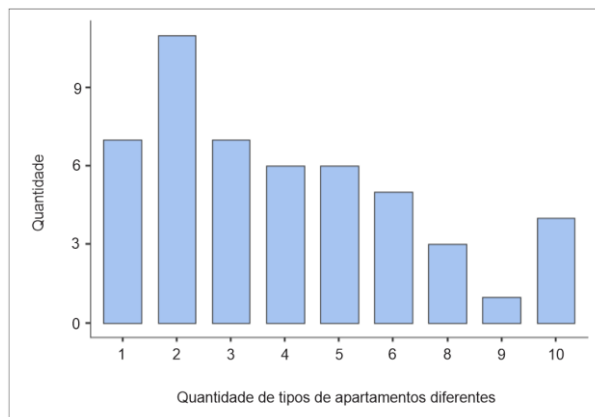


Fonte: A autora (2024)

4.1.4.5 *Quantidade de tipos de apartamentos diferentes*

Com relação à quantidade de tipos de apartamentos diferente, a Tabela 10 e a Figura 18, mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 4,14 (adota-se 4) unidades com um desvio padrão, de 2,70 (adota-se 3) e com mediana, de 3,5. Dentre os dados desse conjunto, 75% da amostra possui entre 5 e 6 unidades de apartamentos diferentes. A frequência do número de unidades habitacionais das 50 obras deste estudo pode ser conferida no Apêndice E.

Figura 18 - Quantidade de tipos de apartamentos diferentes

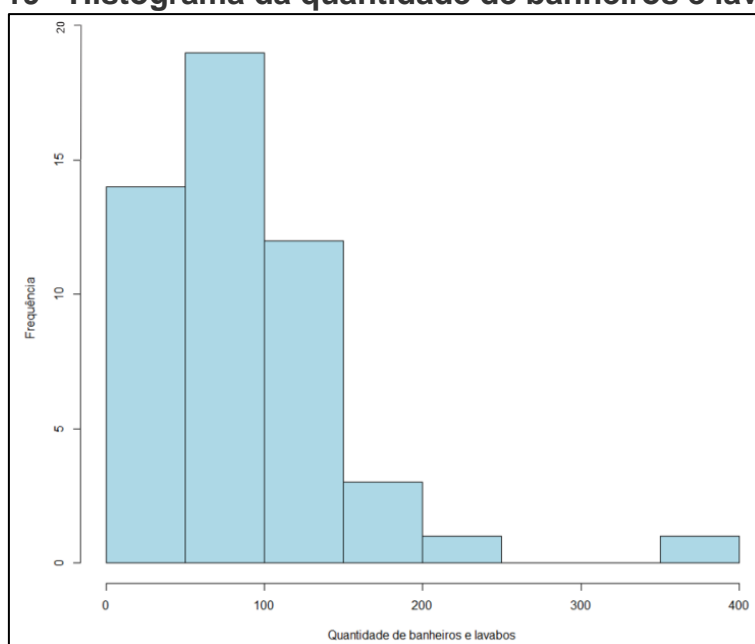


Fonte: A autora (2024)

4.1.4.6 Quantidade de banheiros e lavabos

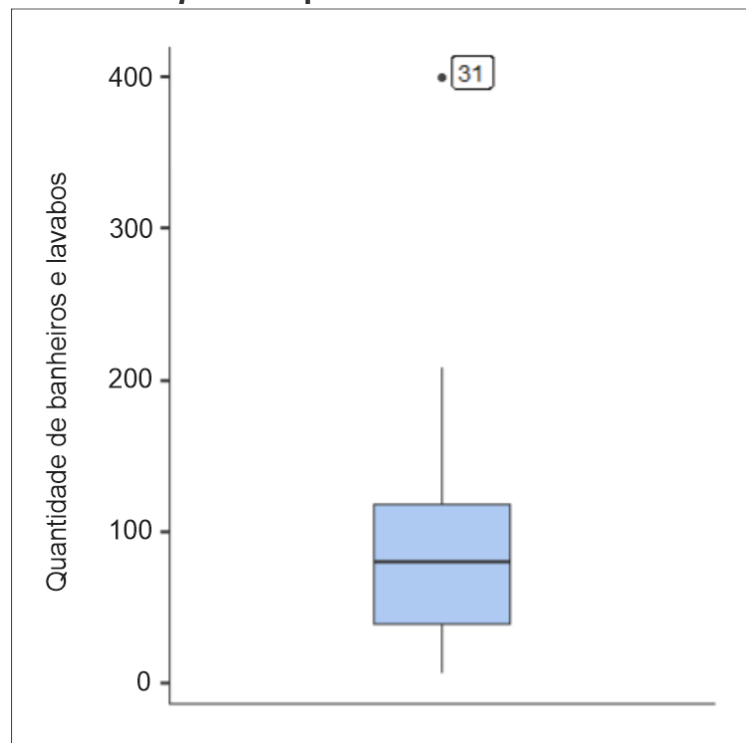
Com relação à quantidade de banheiros e lavabos, a Tabela 10 e as Figuras 19 e 20, mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 88 banheiros e lavabos com um desvio padrão, de 67,1 (adota-se 67) e com mediana, de 80. O menor número de banheiros e lavabos encontrado nos empreendimentos é de 7 unidades e o maior, é de 400 unidades. A frequência da quantidade de banheiros e lavabos das 50 obras deste estudo pode ser conferida no Apêndice F. A Figura 22, que apresenta o *boxplot* indica que essa amostra possui 1 *outlier*, que é a obra 31 com 400 unidades de banheiros e lavabos (maior número da amostra).

Figura 19 - Histograma da quantidade de banheiros e lavabos



Fonte: A autora (2024)

Figura 20 - *Boxplot* da quantidade de banheiros e lavabos

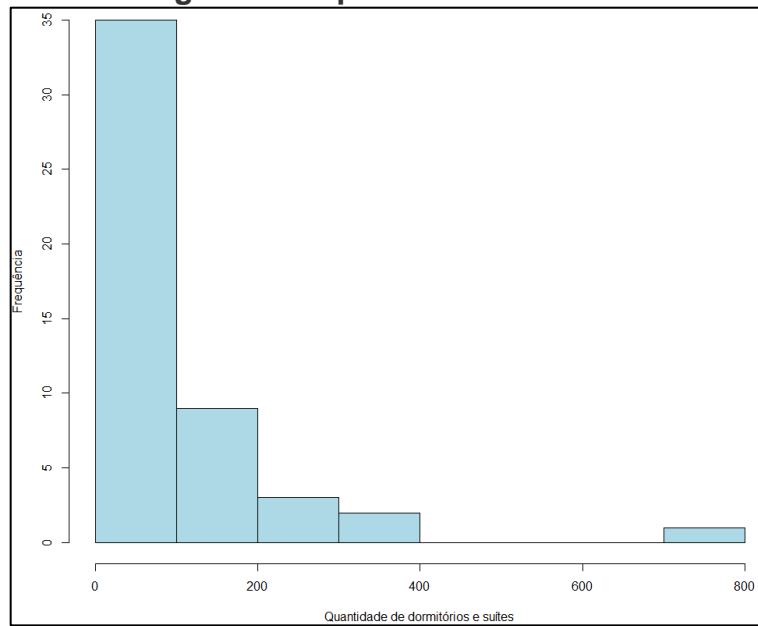


Fonte: A autora (2024)

4.1.4.7 Quantidade de dormitórios e suítes

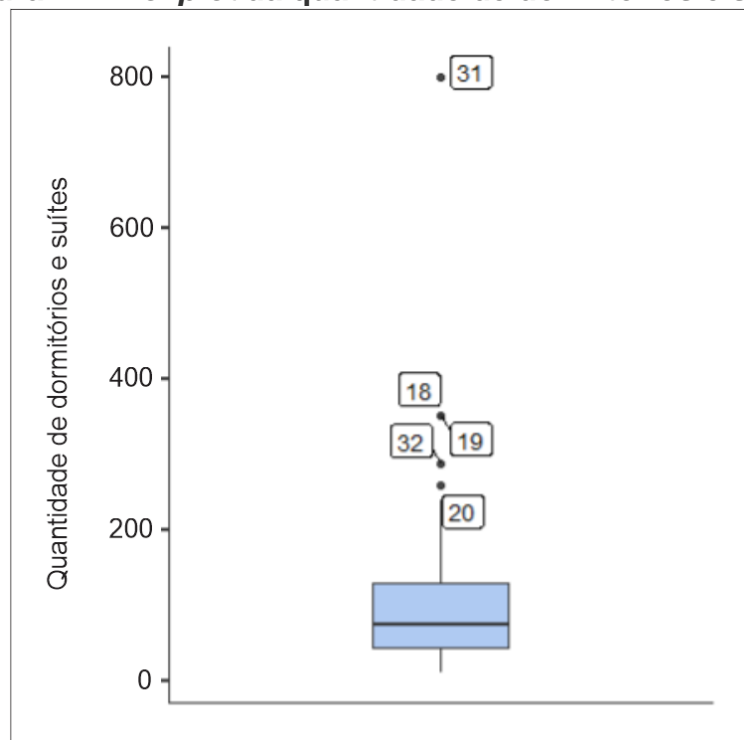
Com relação à quantidade de dormitórios e suítes, a Tabela 10 e as Figuras 21 e 22, mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 110 dormitórios e suítes com um desvio padrão, de 128 unidades e com mediana, de 75 unidades. Dentre os dados desse conjunto, o menor número de dormitórios e suítes encontrado nos empreendimentos é de 12 unidades e o máximo, é de 800 unidades, sendo que 75% da amostra possui até 130 unidades. A frequência do número de unidades habitacionais das 50 obras deste estudo pode ser conferida no Apêndice G. A assimetria da distribuição da Figura 23 confirma maior densidade de empreendimentos com a quantidade de dormitórios e suítes de até aproximadamente 200 unidades. A Figura 24, que apresenta o *boxplot*, indica que essa amostra possui 5 *outliers*, ou seja, as obras 18, 19, 20, 31 e 32 apresentam quantidades de dormitórios e suítes com valores discrepantes quando comparados aos valores das demais obras da amostra. A obra 18 e 19 possuem 352 cada, a obra 20 possui 260, a obra 31 possui 800 e a obra 32 possui 288 dormitórios e suítes.

Figura 21 - Histograma da quantidade de dormitórios e suítes



Fonte: A autora (2024)

Figura 22 - Boxplot da quantidade de dormitórios e suítes



Fonte: A autora (2024)

4.1.4.8 Atraso no tempo de obra

Com relação ao atraso nas atividades construtivas das obras, as Tabelas 10 e 11 mostram que, dos 50 canteiros de obras avaliados, 28 deles tiveram algum atraso na obra enquanto 22 deles concluíram as atividades construtivas dentro do prazo planejado. E das 28 obras que tiveram atraso, a média no tempo de atraso das obras em meses é de 5,09, com desvio padrão de 3,82 meses, sendo a mediana, de 4 meses.

Tabela 11 - Frequências de atrasos no tempo de obra

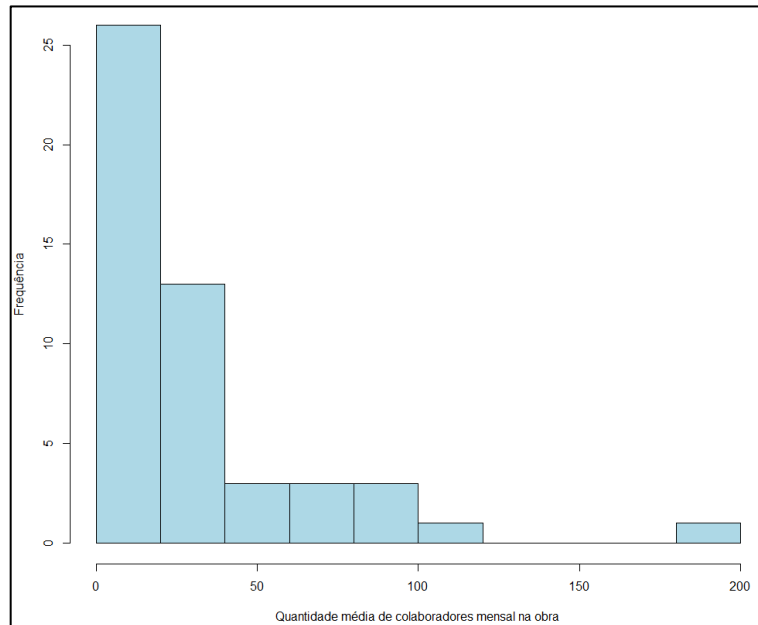
Houve atraso na obra?	Contagem	% do Total
Sim	28	56.0 %
Não	22	44.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.4.9 Média mensal de colaboradores na obra

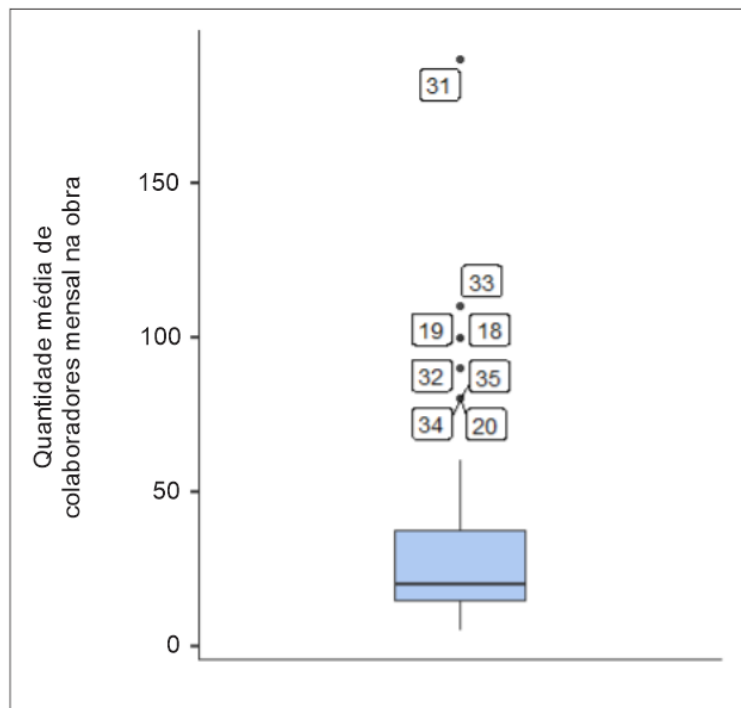
Com relação à média mensal de colaboradores na obra, a Tabela 10 e as Figuras 23 e 24, mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 34,7 (adota-se 35) colaboradores com desvio padrão, de 35,6 (adota-se 36) colaboradores e com mediana, de 20 colaboradores. A frequência da média mensal de colaboradores das 50 obras deste estudo pode ser conferida no Apêndice H. A assimetria da distribuição da Figura 26 confirma maior densidade na média mensal de colaboradores na obra de até aproximadamente 40 pessoas. A Figura 27, que apresenta o *boxplot* indica que essa amostra possui 8 *outliers*, ou seja, as obras 18, 19, 20, 31, 32, 33, 34 e 35 são discrepantes quando comparados aos valores das demais obras da amostra. Apesar do questionário solicitar o número médio mensal de funcionários, os respondentes das obras 18, 19, 20, 31, 32, 33, 34 e 35 informaram o número máximo de colaboradores mensal de cada obra, sendo respectivamente 100, 100, 80, 190, 90, 110, 80 e 80 pessoas, por isso essas obras aparecem como *outliers* na amostra.

Figura 23 - Média mensal de colaboradores



Fonte: A autora (2024)

Figura 24 - *Boxplot* da média mensal de colaboradores



Fonte: A autora (2024)

4.1.5 Tipo de mão de obra

Com relação ao tipo de mão de obra, a Tabela 12 mostra que nos 50 canteiros de obra avaliados, de acordo com os respondentes do formulário, 34 obras tiveram somente mão de obra do tipo terceirizada e 7 obras tiveram somente mão de obra própria, enquanto 9 obras tiveram ambos os tipos de mão de obra.

Tabela 12 - Frequências do Tipo de mão de obra utilizada

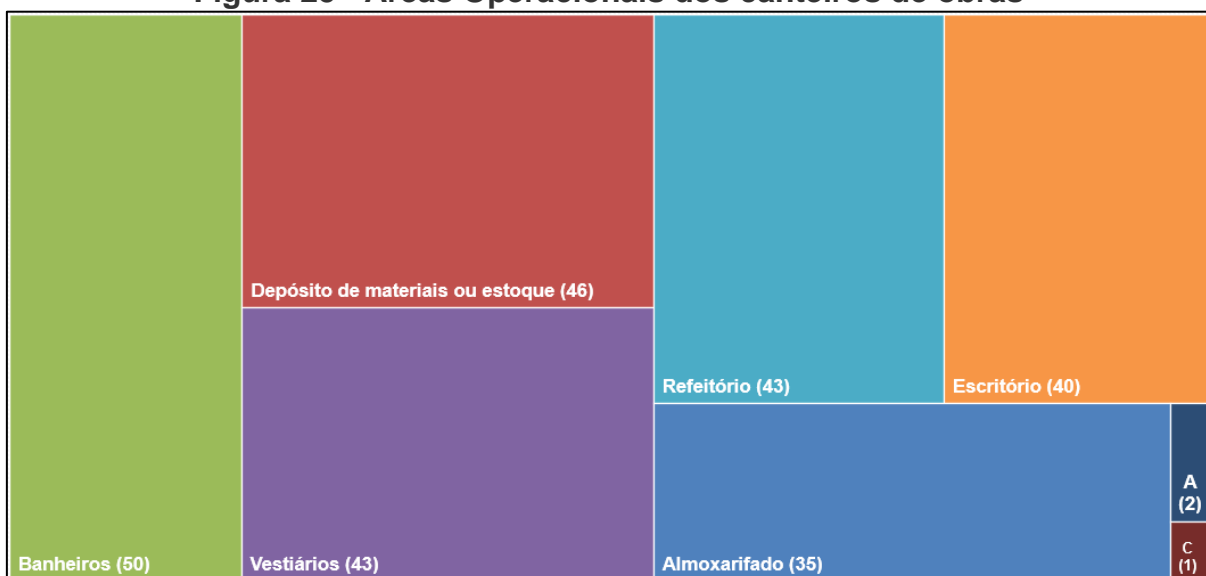
Tipo de mão de obra utilizada	Contagem	% do Total
terceirizada	34	68.0 %
ambas	9	18.0 %
própria	7	14.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.6 Áreas Operacionais dos canteiros de obras

Em relação as áreas operacionais dos canteiros de obras, todos os 50 respondentes informaram ter algum tipo de área operacional. A Figura 25 apresenta a frequência das áreas operacionais dos 50 canteiros de obras em estudo, todos os respondentes informaram que as obras possuíam banheiros, 46 possuíam depósito de materiais ou estoque, 43 possuíam refeitório e vestiários, 40 possuíam escritório, 35 possuíam almoxarifado, 2 possuíam ambulatório (A) e 1 obra possuía alojamento do tipo cozinha (C).

Figura 25 - Áreas Operacionais dos canteiros de obras



Fonte: A autora (2024)

4.1.7 Tipo de Método Construtivo utilizado

Com relação ao método construtivo utilizado, todos os respondentes das 50 obras em estudo relataram ter usado concreto usinado. A Tabela 13 mostra que nos 50 canteiros de obra avaliados, a maior frequência de uso ocorreu com concreto armado e alvenaria convencional (CA+AC), em 24 canteiros de obra. As respostas apresentadas nesse tópico foram extraídas da pergunta 18 do formulário que pode ser visto no Apêndice B, sendo que as opções de respostas para os respondentes eram: concreto armado, alvenaria convencional, alvenaria estrutural, pré-moldado e outro (com opção de escrita), com indicativo de que seria possível assinalar mais de uma opção.

Tabela 13 - Frequências do Tipo de método construtivo utilizado (continua)

Tipo de método construtivo utilizado	Contagem	% do Total
Alvenaria convencional (AC)	5	10.0 %
Alvenaria estrutural (AE)	5	10.0 %
Alvenaria estrutural e pré-moldado (AE+PM)	2	4.0 %
Concreto armado (CA)	10	20.0 %

Fonte: A autora (2024)

Tabela 13 - Frequências do Tipo de método construtivo utilizado (conclusão)

Tipo de método construtivo utilizado	Contagem	% do Total
Concreto armado e alvenaria convencional (CA+AC)	24	48.0 %
Concreto armado, alvenaria convencional e fachada ventilada (CA+AC+FV)	1	2.0 %
Concreto armado, alvenaria convencional e laje protendida (CA+AC+LP)	1	2.0 %
Concreto armado e alvenaria estrutural (CA+AE)	1	2.0 %
Concreto protendido (CP)	1	2.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.8 Tipo de Material utilizado para vedação Interna

Com relação ao tipo de material utilizado para vedação interna, a Tabela 14 mostra que nos 50 canteiros de obra avaliados, de acordo com os respondentes a maior frequência de uso é alvenaria comum (AC).

Tabela 14 - Frequências de Material utilizado para vedação interna

Material utilizado para vedação interna	Contagem	% do Total
Alvenaria comum (AC)	39	78.0 %
Alvenaria estrutural (AE)	8	16.0 %
Gesso acartonado (GA)	3	6.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.9 Sistema Pré-fabricado

Com relação ao uso de sistema pré-fabricado, a Tabela 15 , mostra que dos 50 canteiros de obra avaliados, de acordo com os respondentes, 38 não utilizaram nenhum tipo de sistema pré-fabricado, enquanto que 12 fizeram uso de sistemas pré-fabricados, como *shafts* modulares para mochetas, escadas, churrasqueiras, casa de gás, lajes e fachadas ventiladas.

Tabela 15 - Frequências de Uso de algum sistema pré-fabricado

Usou algum sistema pré-fabricado?	Contagem	% do Total
Não	38	76.0 %
Sim	12	24.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.10 Tipo de massa para reboco

Com relação ao tipo de massa para reboco utilizada, a Tabela 16 mostra que dos 50 canteiros de obra avaliados, de acordo com os respondentes, 34 utilizaram massa pronta para reboco. Destes, 10 respondentes informaram que não houve uso do silo na obra, 4 respondentes informaram que houve o uso do silo e 20 respondentes não informaram se usaram ou não o silo.

Tabela 16 - Frequências do tipo de massa para reboco

Massa para reboco	Contagem	% do Total
massa pronta	34	68.0 %
feita no local (obra)	9	18.0 %
não utilizou	7	14.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.11 Tipo de massa para contrapiso

Com relação ao tipo de massa para contrapiso utilizada, a Tabela 17 mostra que dos 50 canteiros de obra avaliados, 20 utilizaram massa pronta para contrapiso. Destes, 10 respondentes informaram que não houve uso do silo na obra e 10 respondentes não informaram se usaram ou não o silo.

Tabela 17 - Frequências do tipo de massa para contrapiso

Massa para contrapiso	Contagem	% do Total
massa pronta	20	40.0 %
não utilizou	17	34.0 %
feita no local (obra)	13	26.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.12 Impermeabilização

Com relação ao serviço de impermeabilização, todos os 50 respondentes informaram executar esse tipo de serviço em suas obras. A Figura 26 apresenta a frequência das áreas impermeabilizadas informadas das obras em estudo. Todos os respondentes informaram realizar este serviço nos boxes de banheiros, 43 executam o serviço nas sacadas, 41 em terraços, 31 em piscinas, 24 em marquises e 10 respondentes informaram executar o serviço em outras áreas como reservatórios, floreiras, janelas, cozinhas, áreas de serviços e garagens descobertas. Vigas baldrames, pontos hidráulicos de áreas molhadas e ralos também foram indicados como área que recebem impermeabilização.

Figura 26 - Áreas Impermeabilizadas



Fonte: A autora (2024)

4.1.13 Cerâmica: superfícies que foram molhadas antes da aplicação de revestimentos com argamassa

Com relação às cerâmicas, foi investigado se as superfícies foram molhadas antes da aplicação ou assentamento dos revestimentos com argamassa. A Tabela 18 mostra que dos 50 canteiros de obra avaliados, de acordo com os respondentes, em 35 obras as superfícies foram molhadas, enquanto que 15 obras não realizaram esse procedimento.

Tabela 18 - Frequências para as superfícies que foram molhadas antes da aplicação dos revestimentos com argamassa

As superfícies foram molhadas antes da aplicação dos revestimentos com argamassa?	Contagem	% do Total
Sim	35	70.0 %
Não	15	30.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.14 Existência de Lava Rodas nas obras

Com relação à existência de lava rodas na obra, a Tabela 19 mostra que em 24 obras existia o sistema de lava rodas, sendo que nestes canteiros de obra, o sistema utilizado era do tipo manual.

Tabela 19 - Frequências de existência de Lava rodas nas obras

Havia lava rodas na obra?	Contagem	% do Total
Não	26	52.0 %
Sim	24	48.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.15 Uso de algum equipamento que utilizou água para evitar geração de poeira

Com relação ao uso de algum equipamento que utilizou água para evitar a geração de poeira nas obras, a Tabela 20 mostra que dos 50 canteiros de obra avaliados, em 10 houve uso de algum equipamento que utilizou água para evitar a geração de poeira. Destas obras, 6 respondentes informaram fazer o uso de mangueira, 1 informou que a obra fez uso de regador e outro respondente informou que em cada andar da obra havia uma torneira disponível para uso (molhavam os dutos antes de descer os entulhos).

Tabela 20 - Frequências de uso de equipamentos que utilizam água para evitar a geração de poeira na obra

uso de equipamento que utilizam água para evitar a geração de poeira [...]?	Contagem	% do Total
Não	40	80.0 %
Sim	10	20.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.16 Lavagem de Fachada

Com relação à lavagem de fachada, a Tabela 21 mostra que dos 50 canteiros de obra avaliados, 33 realizaram o serviço de lavagem de fachadas, enquanto que 17 obras não realizaram este serviço.

Tabela 21 - Frequências de lavagem de fachadas

Houve lavagem de fachadas?	Contagem	% do Total
Sim	33	66.0 %
Não	17	34.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.17 Relato de situações de desperdícios de água durante a construção

A frequência das situações de desperdícios de água nas obras estudadas podem ser vistas na Tabela 22 . Das situações relatadas, 10 foram com mangueiras (7) e torneiras (3) que foram esquecidas ligadas por horas ou de um dia pro outro, vazamento na tubulação de entrada de água (2), quebra de cavaletes (2), vazamento em banheiros (2), nas caixas de descarga das bacias sanitárias, vazamento na torneira de boia do reservatório (1), vazamento na prumada de hidrante (1) e a ocorrência de vazamentos ocultos (1).

Tabela 22 - Frequências de relato de situações de desperdícios de água durante a construção

Houve desperdício de água na obra?	Contagem	% do Total
Não	36	76.0 %
Sim	14	24.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.18 Ação de Uso Racional de Água durante a construção

A quantidade de canteiros de obras em que houve ações de uso racional de água durante a construção pode ser vista na Tabela 23. Das situações de uso racional de água relatadas, 8 obras fizeram uso do lava pincel, 1 obra aproveitou a água dos testes de estanqueidade para a lavação das garagens e 1 obra fez aproveitamento de água da chuva.

Tabela 23 - Ação de uso racional de água

Ação de uso racional da água na obra?	Contagem	% do Total
Não	38	76.0 %
Sim	12	24.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.19 Uso de Fonte Alternativa de Água durante a construção

A ocorrência de uso de fonte alternativa de água durante a construção nas 50 obras pode ser vista na Tabela 24. Das 5 obras que fizeram uso de fonte alternativa de água, os respondentes relataram que todas as obras fizeram uso de água da chuva, e ainda, em uma dessas obras houve de reúso de água. Nesta obra, o respondente mencionou que havia uma bacia para armazenar e fazer reúso da água da lavagem da máquina de reboco de projeção da obra.

Tabela 24 - Frequências de uso de fonte alternativa de água durante a construção

Houve uso de fonte alternativa de água na obra?	Contagem	% do Total
Não	45	90.0 %
Sim	5	10.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.20 O empreendimento em questão pleiteou algum tipo de Certificação Ambiental?

Com relação aos empreendimentos que pleitearam algum tipo de certificação ambiental, conforme Tabela 25, os respondentes relataram que 48 empreendimentos não pleitearam nenhum tipo de certificação ambiental enquanto dois respondentes relataram que suas obras pleitearam o Selo Casa Azul.

Tabela 25 - Frequências dos empreendimentos que pleitearam algum tipo de Certificação Ambiental

O empreendimento pleiteou algum tipo de certificação ambiental?	Contagens	% do Total
Não	48	96.0 %
Sim	2	4.0 %

Fonte: A autora (2024)

4.1.21 Relato dos respondentes de informações sobre algo que possa impactar o consumo de água nos canteiros de obras

Para os relatos acerca dos fatores que podem impactar o consumo de água em canteiros de obras, 7 respondentes deixaram contribuições. Dois deles informaram que o teste de estanqueidade em função do serviço de impermeabilização pode impactar pelo volume gasto, que muitas vezes é jogado fora, não sendo remanejado para o uso em outras atividades (limpeza, por exemplo). O teste de estanqueidade foi mencionado por um respondente que informou que normalmente este teste é realizado em grandes áreas como, por exemplo, piscinas, terraços, reservatórios superiores e inferiores. O tamanho da laje também foi mencionado por 2 respondentes, e um deles mencionou o uso da água nas lajes após as concretagens para a cura do concreto. O uso da água para fabricação de concreto e massa de reboco foi mencionado como fator que pode aumentar o consumo de água nas obras se o concreto e a massa de reboco forem fabricados nos canteiros de obras e não em centrais. Outro respondente relatou que o aproveitamento de água da chuva para algumas atividades de limpeza pode impactar de forma positiva na diminuição do consumo de água nos canteiros de obras.

O aproveitamento da água da chuva também foi mencionado para o uso em descargas de bacias sanitárias e para a lavagem de ferramentas como forma para diminuição do consumo de água potável nas obras. Nesta mesma obra, com intuito de evitar desperdícios de insumos, o respondente relatou que de forma indireta fazia-se o reaproveitamento do concreto que sobrava para a execução de vergas de janelas e portas, evitando então o descarte desse material que utilizou água para fabricação. O direcionamento de água pluvial para encher a piscina também foi apontado por um respondente como forma de diminuir o consumo de água em canteiros de obras. O respondente relatou que, após o enchimento da piscina com a água pluvial realizou-se tratamento da água com produtos químicos adequados. Outro fator destacado foi o tipo de argamassa utilizado nas obras, uma vez que um respondente relatou ter utilizado argamassa em pó pronta em que o preparo da mesma era realizado na obra e, por isso, existia a necessidade de uso de água para a mistura. Outro respondente relatou ter feito o uso de argamassa do tipo estabilizada para todos os revestimentos

argamassados, o que, segundo o respondente, poderia diminuir o consumo de água neste canteiro de obras.

4.1.22 Indicadores de Consumo de Água

Os indicadores de consumo de água, como consumo total (m³), média mensal de consumo (m³) e consumo de água (m³/m²) para os 50 canteiros de obras avaliados estão apresentados na Tabela 26, bem como a quantidade de meses analisados de consumo para cada uma das obras e suas áreas construídas. A Figura 27 apresenta os indicadores de consumo de água (m³/m²) das 50 obras distribuídas no mapa de Joinville, indicando qual é a variabilidade de consumos nas regiões da cidade que se inicia na cor verde em 0,10 m³/m² e finaliza na cor vermelha com consumo de 0,50 m³/m². O menor consumo neste estudo foi de 0,110 m³/m² e o maior foi de 0,453 m³/m², conforme Tabela 26.

Tabela 26 - Indicadores de consumo de água

(continua)

ID OBRA	CONSUMO TOTAL (M ³)	QUANTIDADE DE MESES ANALISADOS DE CONSUMO	ÁREA CONSTRUÍDA (M ²)	MÉDIA MENSAL DE CONSUMO (M ³)	CONSUMO DE ÁGUA (M ³ /M ²)
1	4333,02	48,00	10694,57	90,27	0,405
2	1212,00	37,00	4504,17	32,76	0,269
3	2394,00	41,00	7308,12	58,39	0,328
4	651,00	39,00	2760,00	16,69	0,236
5	4295,00	34,00	14608,00	126,32	0,294
6	931,00	46,00	3330,63	20,24	0,280
7	392,36	37,00	3229,00	10,60	0,122
8	147,00	17,00	491,81	8,65	0,299
9	689,00	29,00	3144,00	23,76	0,219
10	1592,00	32,00	6566,94	49,75	0,242
11	2007,46	61,00	5503,13	32,91	0,365
12	303,00	20,00	1400,00	15,15	0,216
13	519,42	29,00	1700,00	17,91	0,306
14	600,00	28,00	5461,83	21,43	0,110
15	1643,00	40,00	6839,92	41,08	0,240
16	335,00	32,00	1261,36	10,47	0,266
17	811,00	32,00	4705,65	25,34	0,172

Fonte: A autora (2024)

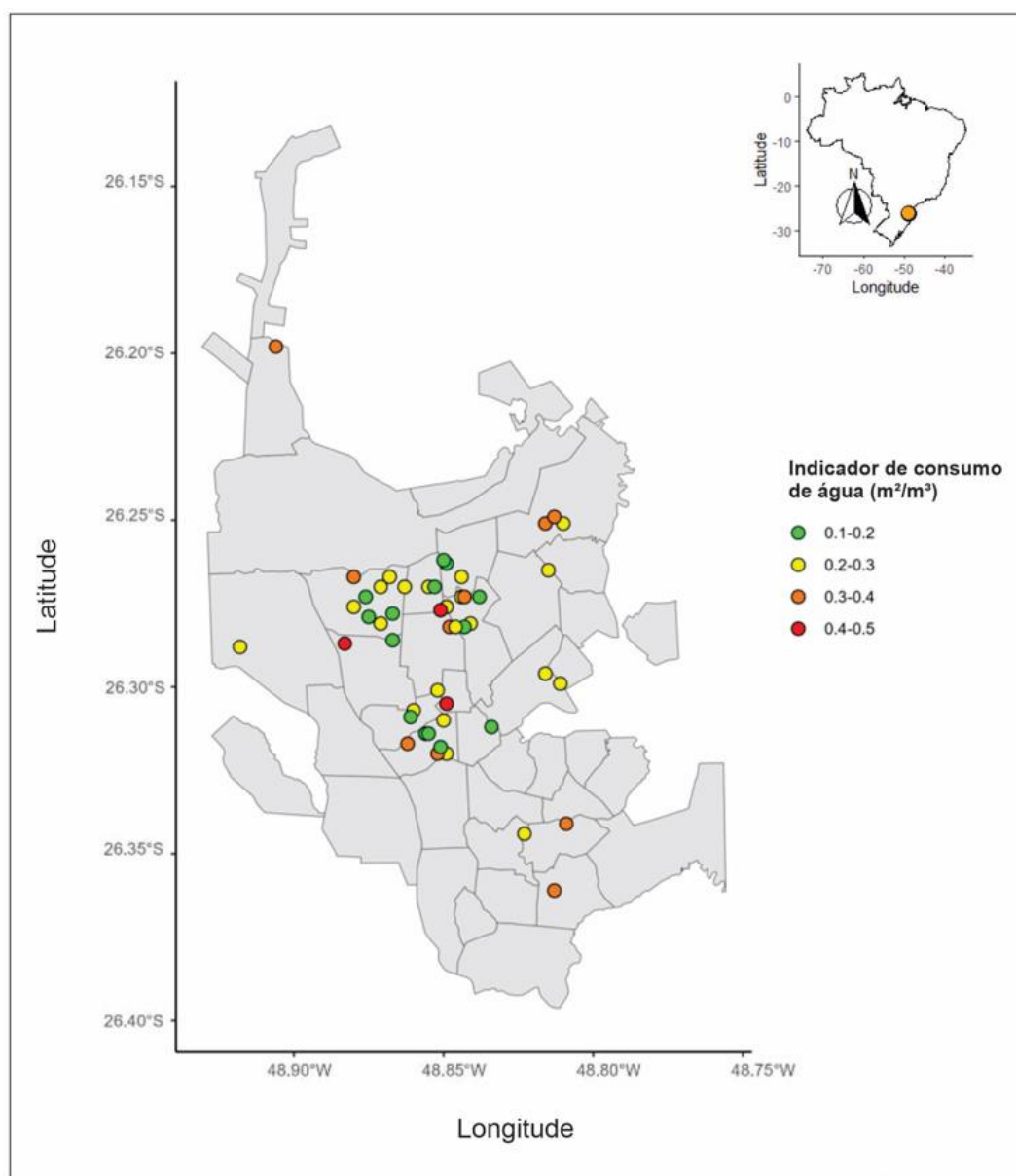
Tabela 26 - Indicadores de consumo de água

(conclusão)

ID OBRA	CONSUMO TOTAL (M³)	QUANTIDADE DE MESES ANALISADOS DE CONSUMO	ÁREA CONSTRUÍDA (M²)	MÉDIA MENSAL DE CONSUMO (M³)	CONSUMO DE ÁGUA (M³/M²)
18	3292,00	21,00	8747,06	156,76	0,376
19	1947,00	23,00	16009,07	84,65	0,122
20	2716,00	25,00	13854,54	108,64	0,196
21	787,00	19,00	2818,00	41,42	0,279
22	1524,00	32,00	8592,29	47,63	0,177
23	207,99	21,00	874,00	9,90	0,238
24	1037,00	24,00	4243,52	43,21	0,244
25	211,36	36,00	637,94	5,87	0,331
26	2440,00	38,00	5827,19	64,21	0,419
27	1403,00	48,00	4033,00	29,23	0,348
28	439,85	39,00	970,00	11,28	0,453
29	548,36	29,00	3167,81	18,91	0,173
30	1027,00	51,00	4000,00	20,14	0,257
31	5674,00	31,00	35629,90	183,03	0,159
32	2262,00	20,00	12404,04	113,10	0,182
33	1731,00	19,00	6218,35	91,11	0,278
34	1341,00	17,00	4250,92	78,88	0,315
35	1331,00	15,00	4251,69	88,73	0,313
36	887,79	42,00	3422,87	21,14	0,259
37	803,00	40,00	2434,85	20,08	0,330
38	1276,95	25,00	3600,00	51,08	0,355
39	2546,36	40,00	7866,51	63,66	0,324
40	2361,56	40,00	10906,56	59,04	0,217
41	1001,00	31,00	3442,25	32,29	0,291
42	1131,00	31,00	6047,00	36,48	0,187
43	960,00	32,00	7300,00	30,00	0,132
44	276,00	26,00	1195,00	10,62	0,231
45	1196,27	31,00	6145,11	38,59	0,195
46	1061,00	30,00	4885,67	35,37	0,217
47	369,00	23,00	3200,00	16,04	0,115
48	1005,93	36,00	5260,14	27,94	0,191
49	586,36	26,00	1933,16	22,55	0,303
50	752,17	44,00	2927,55	17,09	0,257

Fonte: A autora (2024)

Figura 27 - Indicador de consumo de água (m^3/m^2) dos canteiros de obra nos bairros



Fonte: A autora (2024)

As estatísticas descritivas das variáveis tempo de obra, consumo total de água (m^3), média mensal de consumo de água (m^3) e indicador de consumo de água (m^3/m^2) são apresentadas na Tabela 27. Com relação à quantidade de meses de consumo analisados, nos 50 canteiros de obra avaliados, a média é de 32,1 meses com um desvio padrão, de 9,86 e com mediana de 31,5 meses. A obra com o menor tempo de execução é de 15 meses e o máximo é de 61 meses, sendo que 75% da amostra

apresenta até 39 meses de execução de obra. Para a variável consumo total de água (m^3), a Tabela 27 e a Figura 28 mostram que a média de consumo total é de $1.380 m^3$ com um desvio padrão, de $1.146 m^3$ e com mediana de $1.032 m^3$. A assimetria da distribuição da Figura 28 confirma maior densidade, no consumo total de água, de até $3.000,00 m^3$ nos 50 canteiros de obras avaliados.

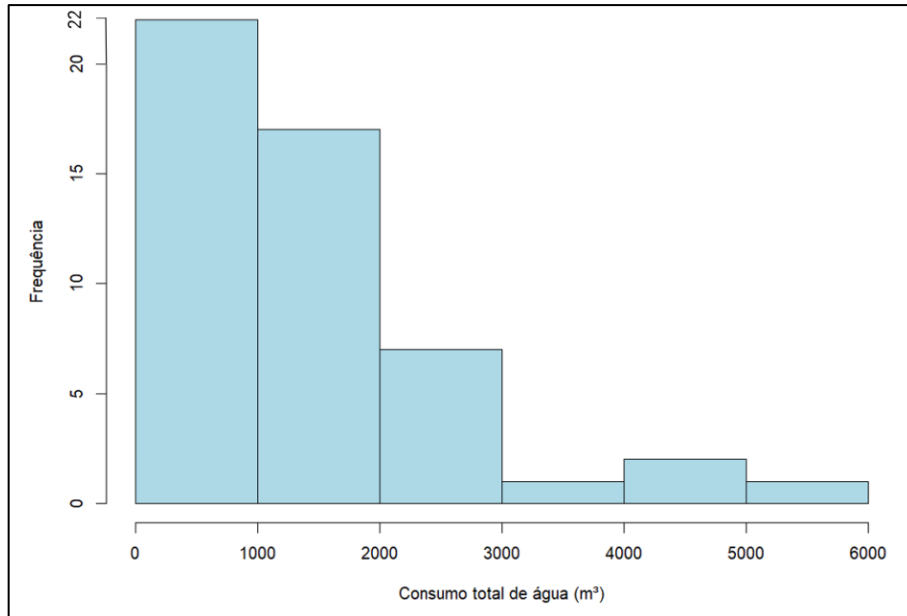
Com relação à média mensal de consumo de água (m^3), a Tabela 27 e a Figura 29 indicam que a média de consumo mensal de água é de $45,6 m^3$ com um desvio padrão, de $39,4 m^3$ e com mediana, de $32,5 m^3$. Para o indicador de consumo de água por área (m^3/m^2), a Tabela 27 e a Figura 30 mostram que nos 50 canteiros de obra avaliados, a média do indicador de consumo de água é de $0,257 m^3/m^2$ com desvio padrão de $0,0812 m^3/m^2$ e mediana de $0,257 m^3/m^2$. Dentre os dados desse conjunto, o menor indicador de consumo de água (m^3/m^2) é de $0,110 m^3/m^2$ e o maior indicador, é de $0,453 m^3/m^2$, sendo que 75% da amostra possui um indicador de até $0,31 m^3/m^2$. O histograma da Figura 30 mostra que há maior concentração canteiros de obras com indicadores de consumo de água por área (m^3/m^2) entre $0,15 m^3/m^2$ e $0,35 m^3/m^2$ nos 50 canteiros de obras avaliados.

Tabela 27 - Estatística Descritiva dos indicadores de consumo de água

VARIÁVEL	MÍNIMO	25° PERCENTIL	MÉDI A	MEDIANA	75° PERCENTIL	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO	AIQ
Tempo de obra	15	25	32,1	31,5	39	61	9,86	14
Consumo total de água (m^3)	147	613	1.380	1.032	1.709	5.674	1.146	1.096
Média mensal de consumo de água (m^3)	5,87	19,2	45,6	32,5	58,9	183	39,4	39,7
Indicador de consumo de água (m^3/m^2)	0,110	0,195	0,257	0,257	0,311	0,453	0,0812	0,116

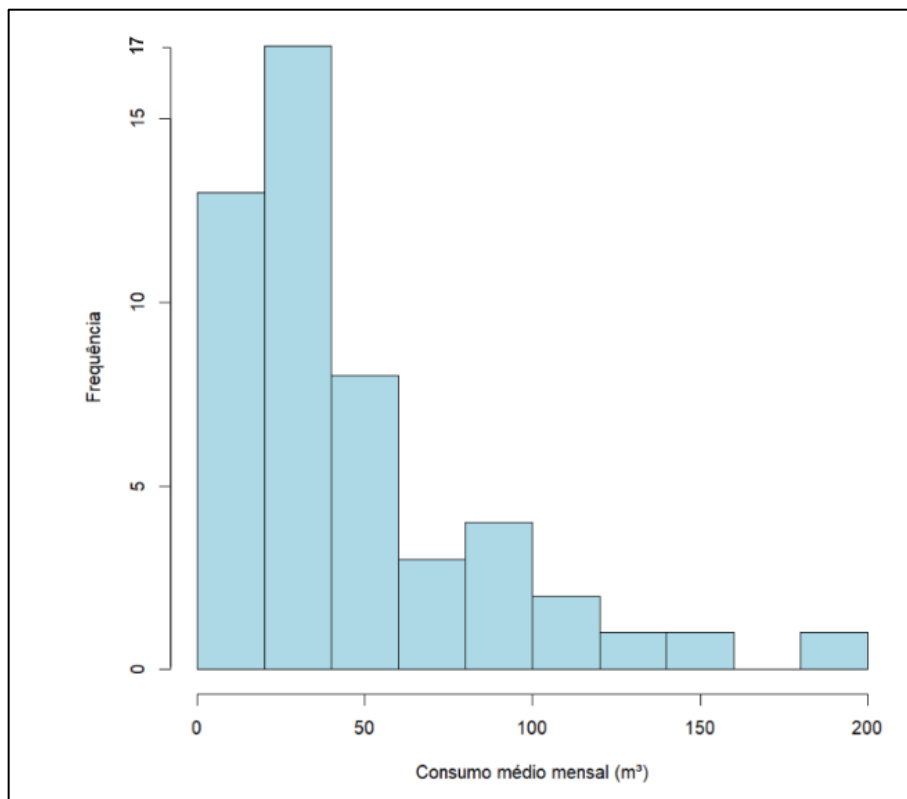
Fonte: A autora (2024)

Figura 28 - Histograma de consumo total de água (m³)



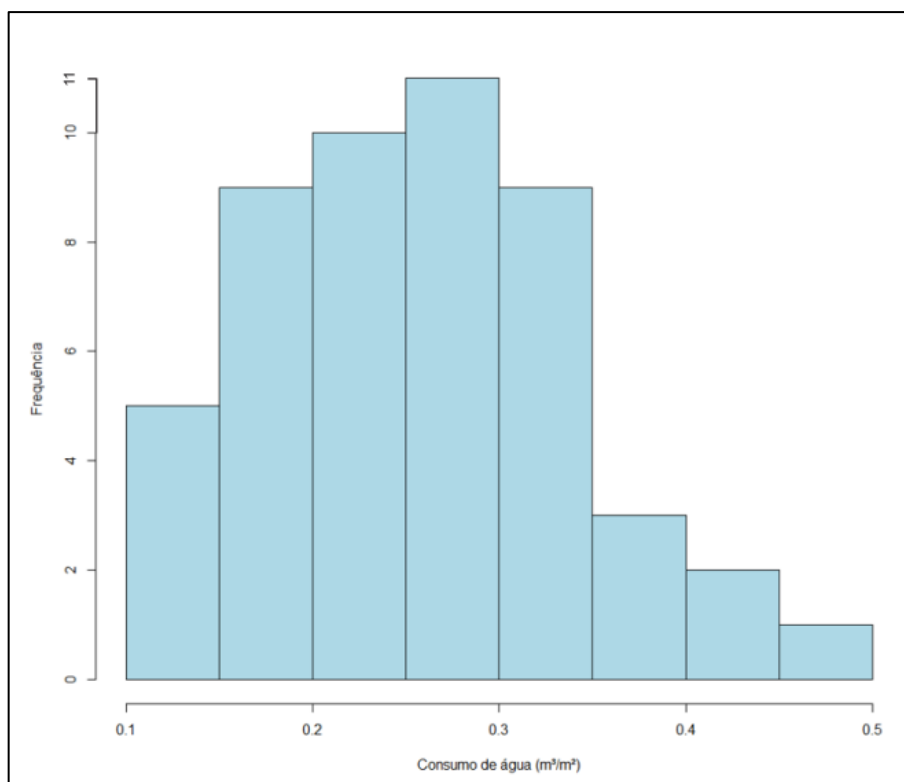
Fonte: A autora (2024)

Figura 29 - Histograma de consumo médio mensal (m³)



Fonte: A autora (2024)

Figura 30 - Histograma de indicador de consumo de água (m³/m²)



Fonte: A autora (2024)

4.1.23 Correlação entre os indicadores de consumo de água (m³/m²) e as variáveis quantitativas

A Tabela 28 apresenta a correlação, por meio do coeficiente Spearman (ρ) e o p-valor, de cada uma das variáveis quantitativas em relação ao indicador de consumo de água (m³/m²) da amostra de 50 canteiros de obras. Logo, as variáveis área construída (m²), quantidade pavimentos, quantidade de apartamentos, quantidade de tipos de apartamentos diferentes, quantidade de banheiros e lavabos, quantidade de dormitórios e suítes e média mensal de colaboradores na obra apresentam correlação baixa e negativa com o indicado de consumo (m³/m²), indicando que conforme o valor destas variáveis diminui o consumo de água por área construída (m³/m²) aumenta. As variáveis quantidade de torres e atraso no tempo de construção apresentam correlação baixa e positiva com o indicador de consumo (m³/m²), indicando que conforme o valor destas variáveis aumenta, o consumo de água (m³/m²) também aumenta.

Em relação ao p-valor, ao nível de significância de 10% adotado, as variáveis quantidade de pavimentos, quantidade de apartamentos, quantidade de banheiros e lavabos e atraso no tempo de obra são significativas, apesar do coeficiente de correlação ser considerado baixo de acordo com a classificação de Devore (2018), como pode ser visto na Tabela 28. Os gráficos de dispersão destas variáveis serão apresentados a seguir. Para as variáveis não significativas ao nível de 10%, os gráficos de dispersão podem ser vistos no Apêndice I. A variável área construída (m²) e a média mensal de colaboradores na obra não apresentaram p-valores significativos neste estudo, mas foram mantidas para análise, visto que na literatura há informações de que estas variáveis exercem influência no consumo de água. A correlação entre área construída (m²) e as demais variáveis numéricas construtivas também foram testadas, indicando que há multicolinearidade entre elas, o que pode ser visto na Tabela 29. A correlação existente entre a variável área construída (m²) e as variáveis número de apartamentos ($\rho=0,85$) e o número de quantidade de banheiros e lavabos ($\rho=0,92$) é forte, enquanto que para as variáveis número de torres ($\rho=0,54$), número de pavimentos ($\rho=0,54$) e número de dormitórios e suítes ($\rho=0,58$) é do tipo moderada. As variáveis que possuem alta associação podem ser consideradas variáveis de causa e efeito (Prunzel *et. al*, 2016).

Tabela 28 - Resultados das correlações das variáveis quantitativas
(continua)

Variável	Correlação de <i>Spearman</i>		Nível de significância adotado (α)
	coeficiente (ρ)	p-valor	
área total construída (m ²)	-0,20	0,17	10% (0,1)
quantidade de torres	0,04	0,77	
quantidade de pavimentos	-0,25	0,08	
quantidade de unidades habitacionais (apartamentos)	-0,27	0,05	
quantidade de tipos de apartamentos diferentes	-0,07	0,61	
quantidade de banheiros e lavabos	-0,24	0,08	

Fonte: A autora (2024)

**Tabela 28 - Resultados das correlações das variáveis quantitativas
(conclusão)**

Variável	Correlação de <i>Spearman</i>		Nível de significância adotado (α)
	coeficiente (ρ)	p-valor	
quantidade de dormitórios e suítes	-0,20	0,15	10% (0,1)
média mensal de colaboradores na obra	-0,19	0,18	
atraso no tempo de obra (mês)	0,30	0,03	

Fonte: A autora (2024)

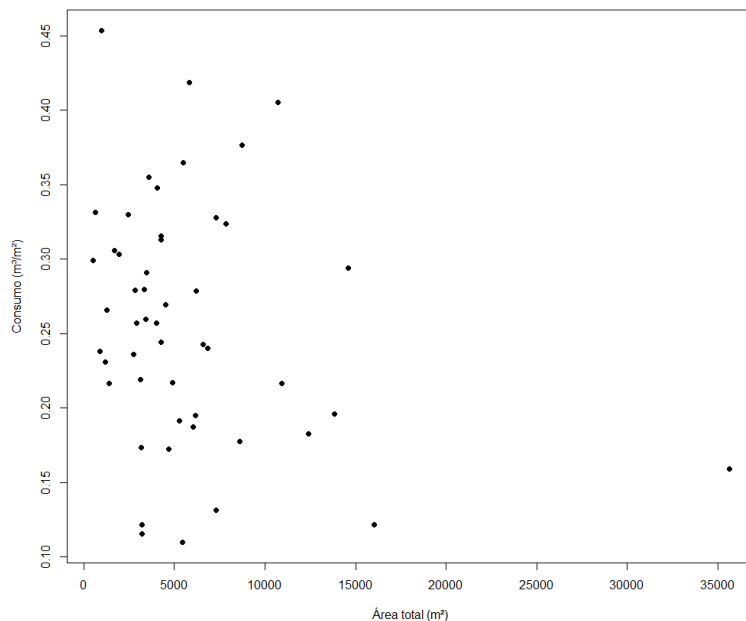
Tabela 29 - Resultado da correlação entre área construída (m²) e demais variáveis numéricas construtivas

Variável	Correlação de <i>Pearson</i>	
	coeficiente (r)	p-valor
número de torres	0,54	0,050
número de pavimentos	0,54	0,045
número de apartamentos	0,85	<0,001
número de dormitórios e suítes	0,58	0,002
número de banheiros e lavabos	0,92	<0,001

Fonte: A autora (2024)

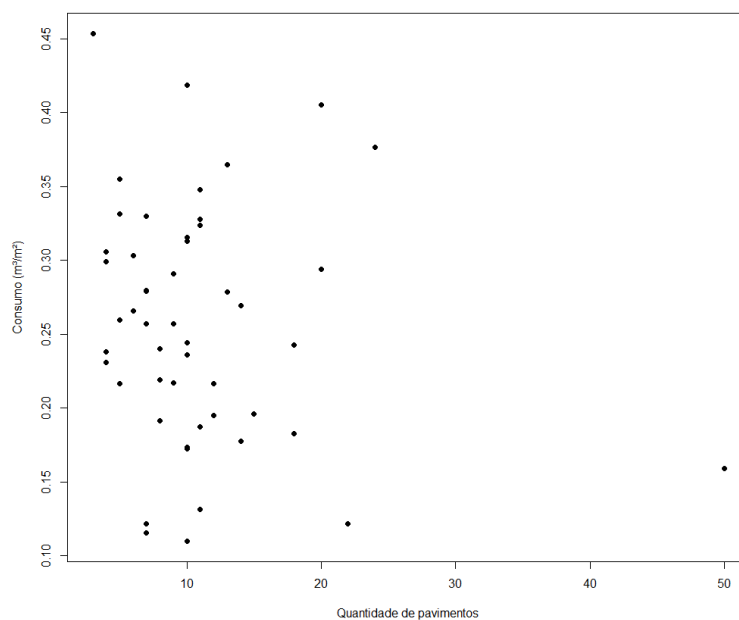
A Figura 31 apresenta o gráfico de dispersão entre a área total construída (m²) e o indicador de consumo (m³/m²) dos 50 canteiros de obras deste estudo. O gráfico indica que a relação linear entre as variáveis é baixa. O mesmo comportamento de correlação baixa pode ser visto nas Figuras 32, 33, 34, 35 e 36 que correlaciona, respectivamente, as variáveis quantidade de pavimentos, quantidade de apartamentos, quantidade de banheiros e lavabos, média mensal de colaboradores na obras e atraso no tempo de construção (mês) com o indicador de consumo (m³/m²).

Figura 31 - Gráfico de dispersão entre área total construída (m²) e o indicador de consumo (m³/m²) das 50 obras



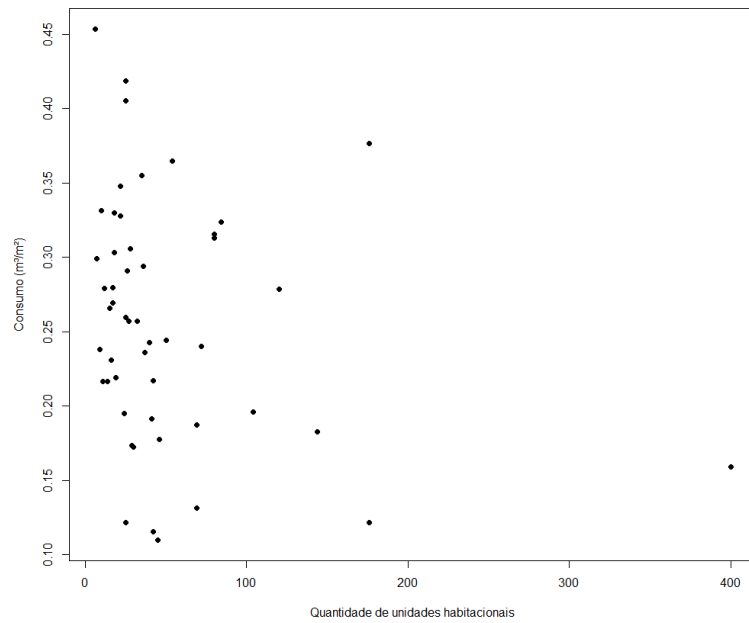
Fonte: A autora (2024)

Figura 32 - Gráfico de dispersão entre quantidade de pavimentos e o indicador de consumo (m³/m²) das 50 obras



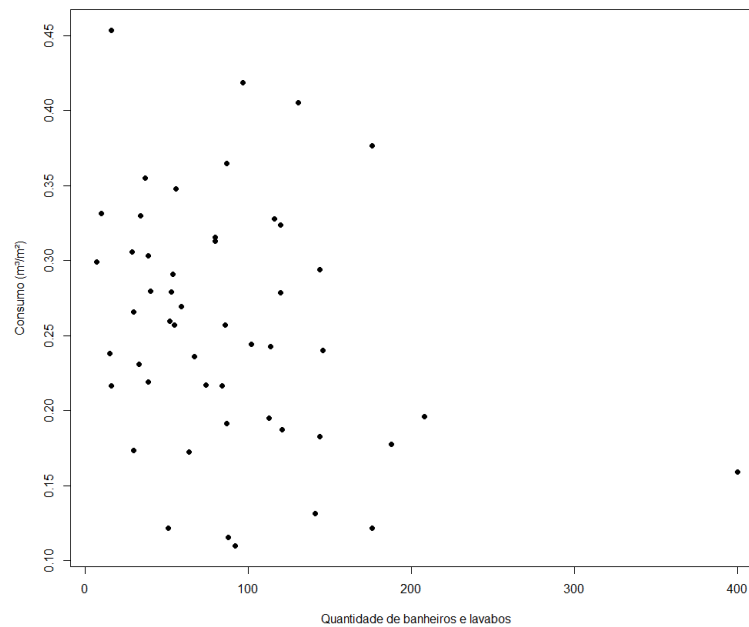
Fonte: A autora (2024)

Figura 33 - Gráfico de dispersão entre quantidade de apartamentos e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras



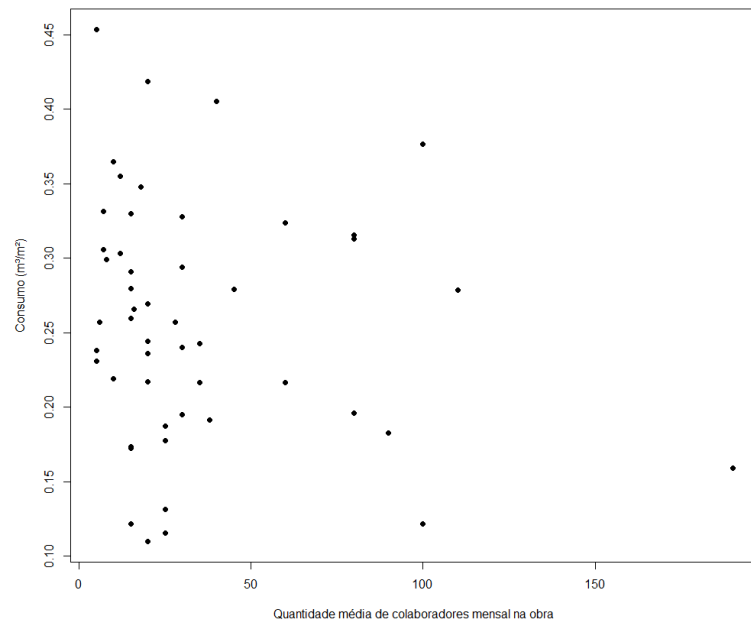
Fonte: A autora (2024)

Figura 34 - Gráfico de dispersão entre quantidade de banheiros e lavabos e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras



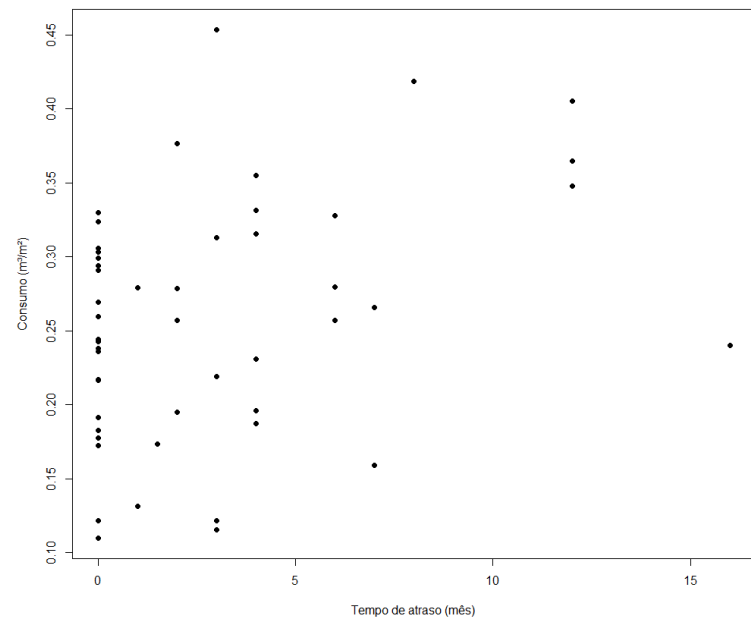
Fonte: A autora (2024)

Figura 35 - Gráfico de dispersão entre a média mensal de colaboradores na obra e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras



Fonte: A autora (2024)

Figura 36 - Gráfico de dispersão entre o atraso no tempo de construção (mês) e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras



Fonte: A autora (2024)

Considerando as variáveis quantitativas ao nível de significância de 10% e com base na literatura, das 9 variáveis investigadas, 6 delas são significativas para o modelo de regressão linear múltipla. No entanto, 4 destas variáveis possuem multicolinearidade entre si (área construída, quantidade de pavimentos, quantidade de unidades habitacionais e quantidade de banheiros e lavabos), por isso optou-se por manter no modelo somente a variável área construída (m^2), para que a identificação do efeito da variável regressora isolada não sofresse influência das demais variáveis regressoras correlacionadas (Maia, 2017). Ao final, 3 variáveis quantitativas foram para a modelagem, sendo área construída, média mensal de colaboradores na obra e atraso no tempo de obra (em meses).

4.1.24 Relação entre os indicadores de consumo de água (m^2/m^3) e as variáveis qualitativas

4.1.24.1 Variáveis qualitativas com 2 categorias (sim e não)

A Tabela 30 apresenta o p-valor de cada uma das variáveis qualitativas com 2 categorias em relação ao indicador de consumo de água (m^3/m^2) determinado por meio da amostra de 50 canteiros de obras. Logo, as variáveis existência de áreas comuns, sistema pré-fabricados, cerâmica: superfície molhada, existência de lava rodas, uso de equipamento que utilizou água para evitar geração de poeira, lavagem de fachada, relato de desperdício de água, ação de uso racional de água e certificação ambiental apresentaram uma distribuição normal nos dados. A variável uso de fonte alternativa de água durante a construção obteve p-valor = 0,069 no teste de normalidade, então optou-se por usar um teste não paramétrico.

Tabela 30 - Resultados dos testes t de Student e Wilcoxon Mann Whitney para as variáveis qualitativas com 2 categorias

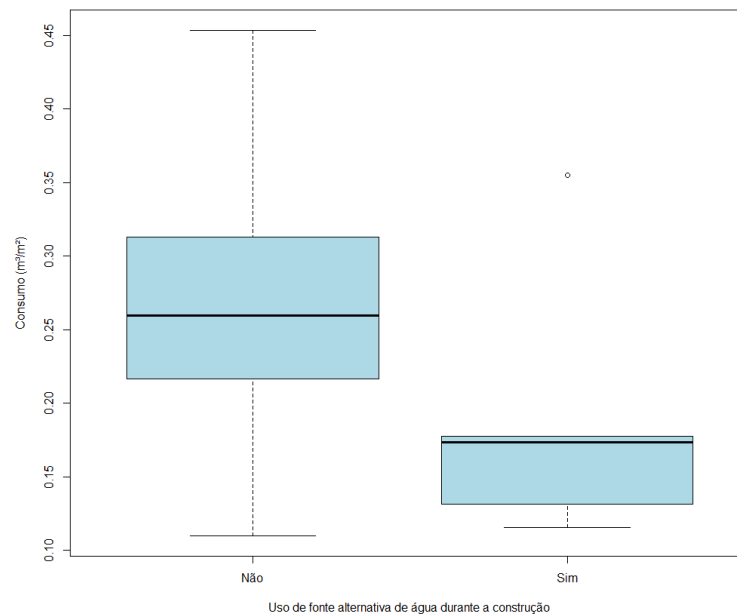
Variável	p-valor	Nível de significância adotado (α)
Existência de áreas comuns	0,82 ^a	
sistema pré-fabricado	0,23 ^a	
cerâmica: superfícies molhadas	0,27 ^a	
existência de lava rodas	0,96 ^a	
uso de equipamento que utilizou água para evitar geração de poeira	0,52 ^a	10% (0,1)
lavagem de fachada	0,26 ^a	
relato de desperdício de água	0,39 ^a	
ação de uso racional de água	0,48 ^a	
uso de fonte alternativa de água	0,05 ^b	
certificação ambiental	0,54 ^a	

^ateste t de Student ^bWilcoxon Mann Whitney

Fonte: A autora (2024)

Em relação ao p-valor, ao nível de significância de 10% adotado, a variável uso de fonte alternativa de água durante a construção é significativa. A Figura 37 indica que as obras que fizeram uso de fontes alternativas de água durante a construção (grupo sim) apresentaram consumo de água (m^3/m^2) menor do que as obras que não fizeram este tipo de uso (grupo não), se mantendo, em sua maioria, com valores de consumo menores que $0,20 m^3/m^2$. As obras do grupo não, apresentaram um consumo que variou entre $0,11$ e $0,45 m^3/m^2$. No *boxplot* é possível verificar que no grupo que fez uso de fontes alternativas de água existe um canteiro de obras que é um *outlier*. Para as demais variáveis, que ao nível de 10% não são significativas, os gráficos de *boxplot* podem ser vistos no Apêndice J.

Figura 37 - Gráfico de *boxplot* entre o uso de fonte alternativa de água e o indicador de consumo (m^3/m^2) das 50 obras



Fonte: A autora (2024)

4.1.24.2 Variáveis qualitativas com 3 ou mais categorias

A Tabela 31 apresenta o p-valor de cada uma das variáveis qualitativas com 3 ou mais categorias em relação ao indicador de consumo de água (m^3/m^2) da amostra de 50 canteiros de obras. As variáveis padrão construtivo, tipo de mão de obra, tipo de material utilizado para vedação interna, tipo de massa para reboco e tipo de massa para contrapiso apresentaram distribuição normal nos dados de consumo de água. A variável tipo de método construtivo apresentou categorias com poucas observações (frequência). As variáveis da Tabela 32 não apresentaram resultados significativos ao nível de 10% e os gráficos de *boxplot* dessas variáveis podem ser vistos no Apêndice K.

Tabela 31 - Resultados dos testes ANOVA e *Kruskal-Wallis* para as variáveis qualitativas com 3 ou mais categorias

Variável	p-valor	Nível de significância adotado (α)
padrão construtivo	0,11 ^c	10% (0,1)
tipo de mão de obra	0,89 ^c	
tipo de método construtivo	0,85 ^d	
tipo de material utilizado para vedação interna	0,24 ^c	
tipo de massa para reboco	0,30 ^c	
tipo de massa para contrapiso	0,64 ^c	

^cANOVA ^d *Kruskal Wallis*

Fonte: A autora (2024)

4.1.25 Regressão Linear Múltipla para indicador de consumo de água (m³/m²)

As variáveis regressoras indicadas como significativas, ao nível de significância adotado de 10% e com base na literatura, nas seções anteriores foram selecionadas para a modelagem (regressão linear múltipla) do consumo de água (m³/m²). Logo, foram selecionadas 6 variáveis quantitativas para o modelo. Em função da multicolinearidade apresentada na Tabela 30 entre 4 variáveis regressoras e com base no exposto por Maia (2017) de que a multicolinearidade pode dificultar a identificação do efeito isolado de uma variável regressora, manteve-se no modelo somente uma das variáveis correlacionadas. Portanto, as 3 variáveis regressoras quantitativas selecionadas para o modelo foram área construída, média mensal de trabalhadores na obra e atraso no tempo de construção.

Em relação às variáveis qualitativas, a única variável que se manteve no modelo ao nível de significância de 10%, foi a variável uso de fonte alternativa de água durante a construção. A Tabela 32 apresenta os coeficientes das 4 variáveis selecionadas para o modelo de regressão linear múltipla. Optou-se por remover a variável média mensal de colaboradores na obra, visto que apresentou nível de significância (p-valor de 0,55) maior que o nível de significância adotado de 10%.

Tabela 32 - Coeficientes das variáveis da regressão

Variável	Coeficiente	p-valor
(Intercepto)	2,652 ⁻⁰¹	<0,001
Área total construída (m ²)	-6,177 ⁻⁰⁶	0,05407
Média mensal de trabalhadores na obra	2,948 ⁻⁰⁴	0,55235
Atraso no tempo de obra (mês)	8,272 ⁻⁰³	0,00443
Uso de fonte alternativa de água durante a construção	-6,460 ⁻⁰²	0,06743

Fonte: A autora (2024)

A Tabela 33 apresenta as 3 variáveis regressoras finais para o modelo de regressão linear múltipla para o indicador de consumo de água (m³/m²) para as obras de Joinville com seus respectivos valores de estimativa para o modelo, coeficiente padronizado e p-valores. Logo, quanto maior for o aumento do tempo de construção (atraso no tempo de obra) em meses, maior será o consumo de água. Quanto menor for a área total construída (m²) menor será o consumo de água por metro quadrado. Além disso, quando há uso de fonte alternativa de abastecimento de água durante a fase de construção, há diminuição do consumo de água nos canteiros de obra.

Na Tabela 34, verificam-se as medidas estatísticas do modelo, indicando que o modelo apresenta um R² de 0,28 (28%). Embora o valor de R² não seja alto, ele é aceitável para o presente estudo. Além disso, o R² pode ser baixo para um modelo preciso e, em contrapartida um modelo impreciso pode produzir R² alto (Onyutha, 2021). Com base em Hair *et al.* (2009), para modelos com número de variáveis independentes entre 2 e 10, o R² deve atingir um valor entre 19% (duas variáveis) e 29% (10 variáveis), com nível de significância de 5% e poder 80%. Por isso, o R² de 28% foi considerado adequado para este modelo de regressão linear múltipla com 3 variáveis regressoras.

O erro médio absoluto (MAE) e a raiz quadrada do erro médio (RMSE) também apresentam valores similares de respectivamente de 0,0539 e 0,0681 indicando que o modelo de regressão tem desempenho similar para os dados da amostra e para os da validação, denotando um bom poder preditivo. Quanto melhor for o modelo ajustado, melhor ele define valores futuros para a variável dependente (Banks; Fienberg, 2003).

Os valores de VIF também foram testados e são menores que 5, indicando que o modelo não apresenta problemas com multicolinearidade. O p-valor (0,769) do teste de Bonferroni indica que não há *outlier* nos resíduos do modelo. E o teste de Breusch Pagan com p-valor de 0,567 constatou que a variância dos resíduos do modelo é constante. Os coeficientes padronizados apresentados na Tabela 33 indicam qual das variáveis regressoras exercem maior influência no indicador de consumo de água (m³/m²), sendo respectivamente atraso no tempo de obra (em meses), área construída (m²) e uso de fonte alternativa de água durante a construção.

Tabela 33 - Coeficientes das variáveis finais da regressão para indicador de consumo (m³/m²)

Variável	Coefficiente	Coefficiente Padronizado	p-valor
(Intercepto)	2,678 ⁻⁰¹	-	<2 ⁻¹⁶
Atraso no tempo de obra (meses)	8,019 ⁻⁰³	0,3770	0,00484
Área total construída (m ²)	-4,667 ⁻⁰⁶	-0,3242	0,01405
Uso de fonte alternativa de água durante a construção (sim = 1; não = 0)	-6,849 ⁻⁰²	-0,2558	0,04740

R² = 28%

MAE = 0,0539

RSME = 0,0681

VIF <1,03

teste de Breusch Pagan (p-valor) = 0,567

teste de Bonferroni (p-valor) = 0,769

Fonte: A autora (2024)

A relação entre a variável dependente consumo de água (m³/m²) e as variáveis independentes área total construída (m²), atraso no tempo de obra (em meses) e uso de fonte alternativa de água durante a construção, pode ser vista na Equação 6.

$$y = 2,678^{-01} - 4,667^{-06}x_1 + 8,019^{-03}x_2 - 6,849^{-02}x_3 . \quad (6)$$

Sendo:

y = consumo de água (m³/m²);

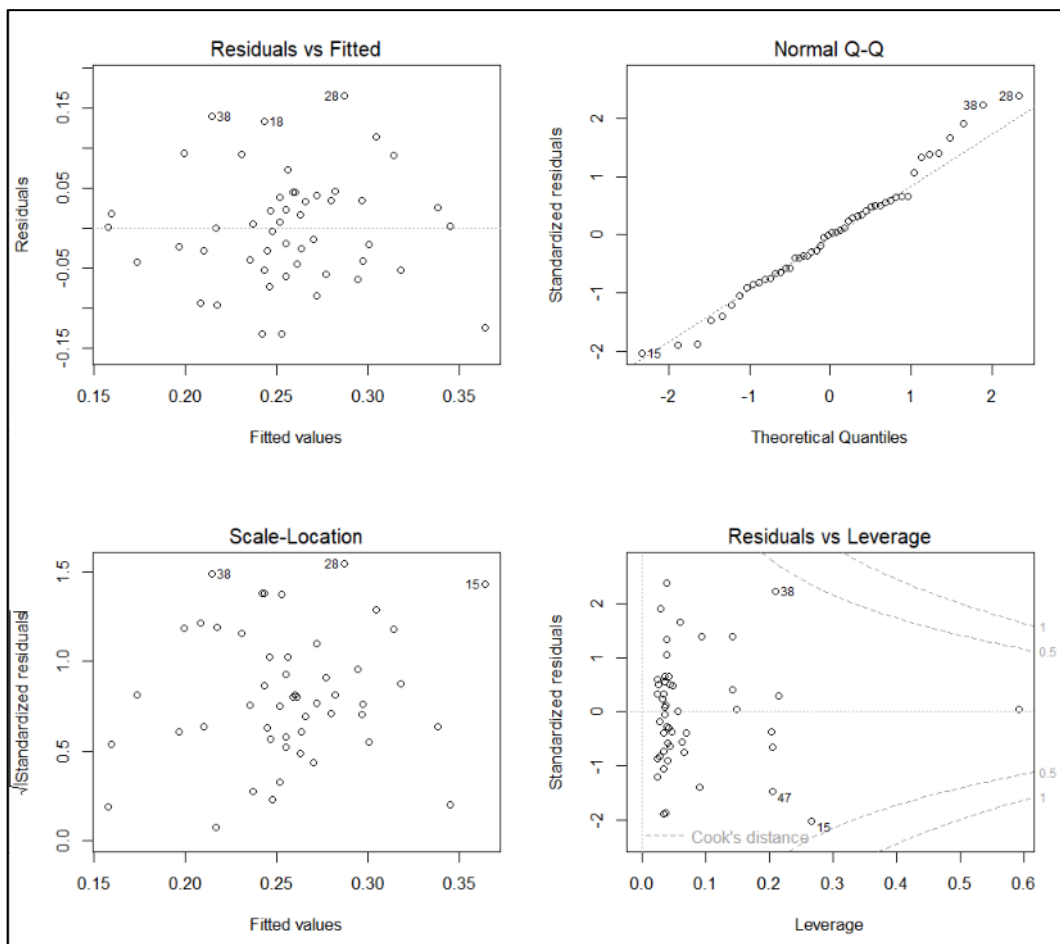
x_1 = área construída (m²);

x_2 = tempo de atraso da obra (meses);

x_3 = uso de fonte alternativa (sim = 1; não = 0).

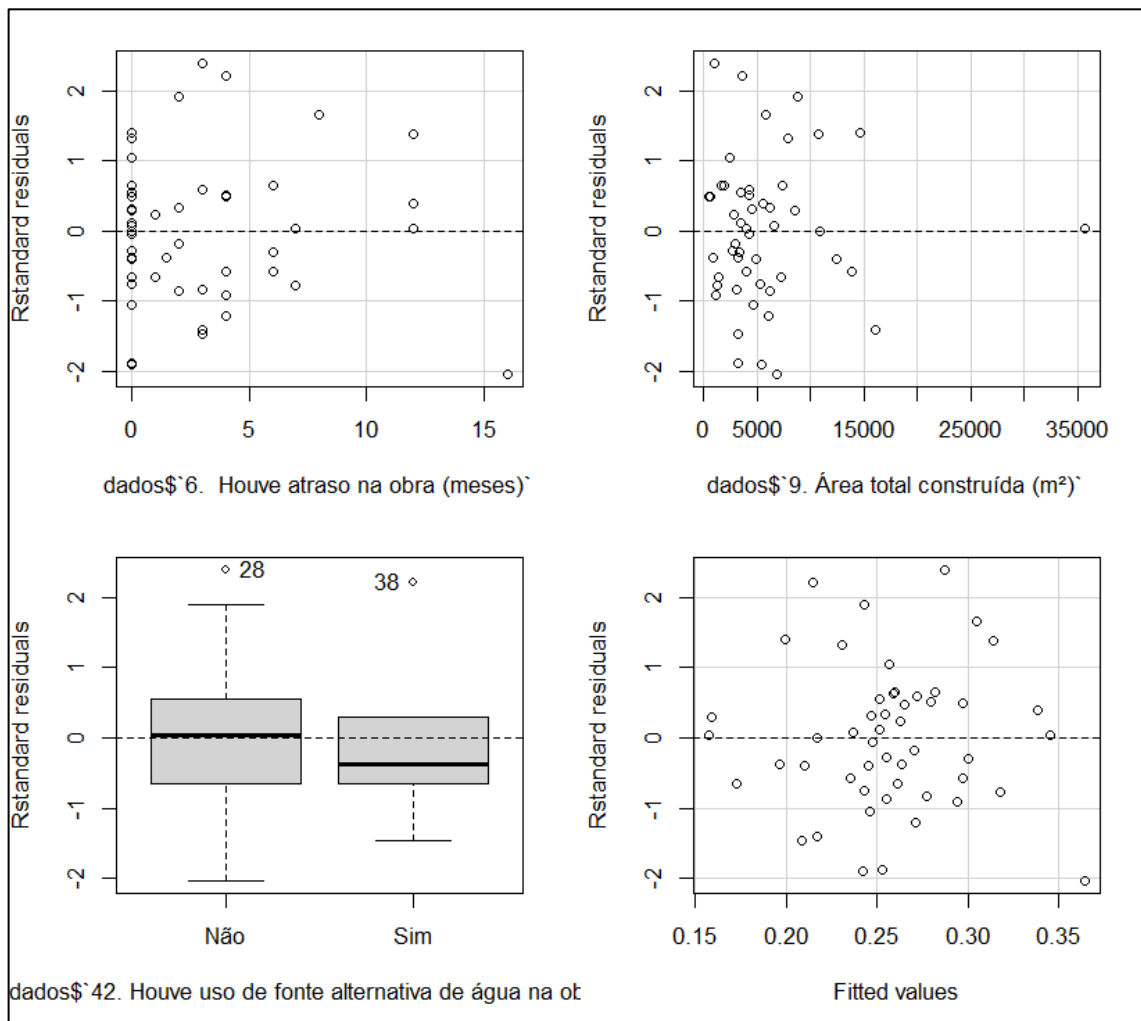
As Figuras 38 e 39 apresentam, respectivamente os resíduos do modelo e das variáveis finais do modelo de regressão linear múltipla para o indicador de consumo de água (m^3/m^2) para as obras de Joinville. A Figura 38 apresenta os gráficos de resíduos brutos, de probabilidade normal, da raiz do resíduo padronizado em módulo e distância de Cook. Por meio destes gráficos, é possível concluir que os resíduos do modelo são adequados. Os resíduos do modelo apresentam normalidade (próximos da reta), não seguem nenhum padrão e a maior parte destes resíduos está concentrada em zero, além de que nenhum resíduo apresentou uma distância de Cook maior que 1. A Figura 39 confirma os mesmos comportamentos para os resíduos do modelo e apresenta os resíduos para cada uma das variáveis do modelo: área construída (m^2), tempo de atraso (meses) e uso de fonte alternativa. O último gráfico da Figura 56, apresenta os resíduos estandarizados.

Figura 38 - Gráfico de resíduos do modelo de Regressão Linear Múltipla para indicador de consumo de água (m^3/m^2)



Fonte: A autora (2024)

Figura 39 - Gráfico de resíduos das variáveis do modelo de Regressão Linear Múltipla para indicador de consumo de água (m³/m²)



Fonte: A autora (2024)

A Tabela 34 apresenta as métricas de análise R^2 , RMSE e MAE estimadas para a modelagem da regressão linear múltipla do indicador de consumo de água (m³/m²) na cidade de Joinville/SC e para o método de validação cruzada K-Fold deste modelo. Tanto as métricas do modelo, quanto as da validação se assemelham em valores numéricos e, por isso, indicam uma adequada capacidade preditiva do modelo. O valor do coeficiente de determinação (R^2) para ambos os casos é considerado bom, o valor do erro médio absoluto (MAE) encontrado para o modelo e no método de validação, além de semelhante, também é baixo.

Tabela 34 - Resultado das métricas de análise entre o modelo de regressão linear múltipla e a validação cruzada K-Fold

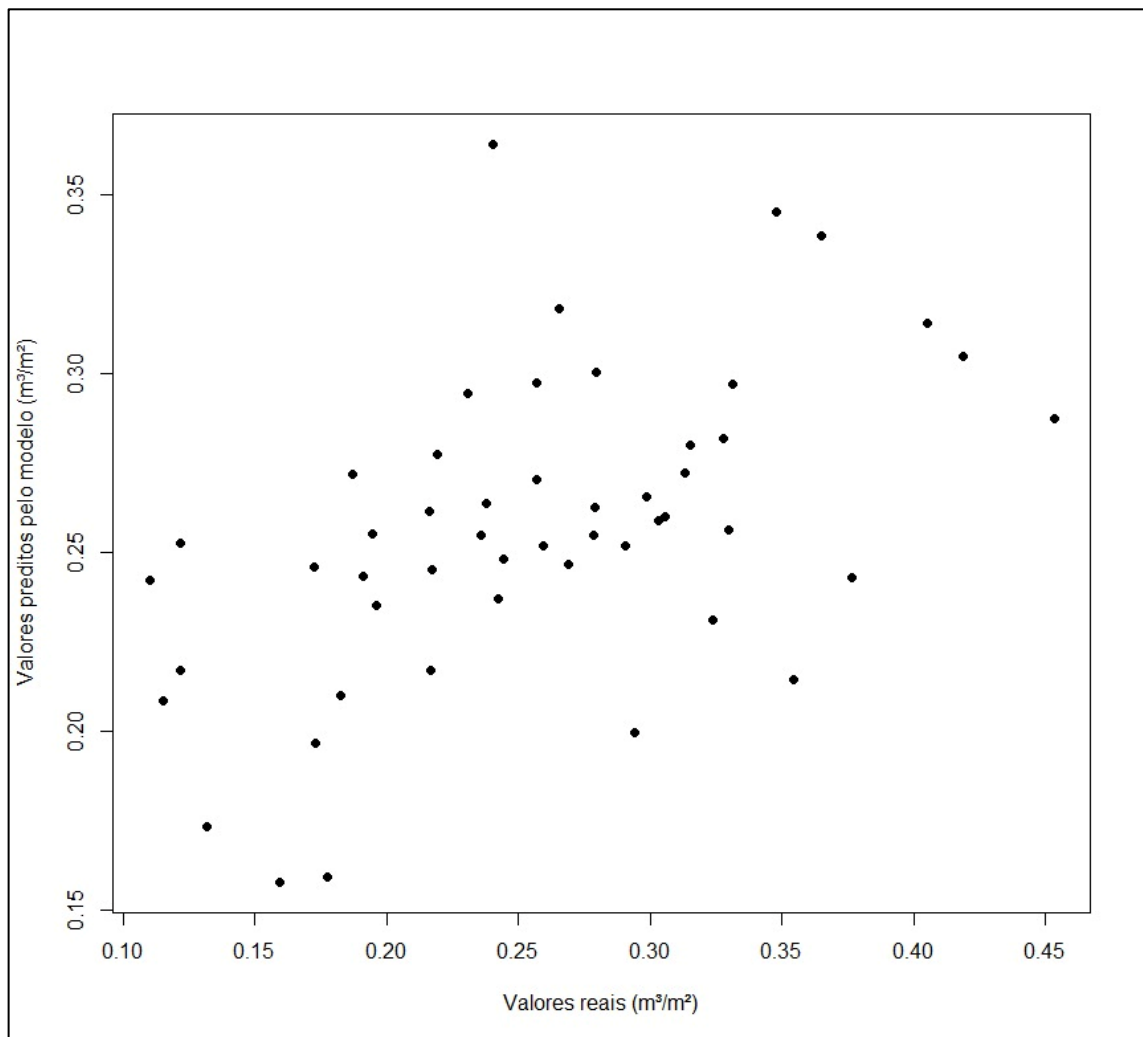
MODELO	R ²	RMSE	MAE
Modelo de regressão linear múltipla do indicador de consumo de água (m ³ /m ²)	0,2806	0,0681	0,0539
Validação cruzada K-Fold	0,3446	0,0699	0,0572

Fonte: A autora (2024)

A Figura 40 apresenta a relação dos indicadores de consumo de água (m³/m²) entre os valores reais (m³/m²) e os valores preditos pelo modelo (m³/m²). Logo, visualmente é possível apontar que há uma correlação positiva moderada entre estes valores. A métrica do erro percentual absoluto médio (MAPE) para os valores preditos estimada é de 0,2432, indicando que o erro médio é de cerca de 24%.

Calcularam-se também os erros percentuais individuais para cada uma das 50 obras, que podem ser vistos do Apêndice L. Dos 50 canteiros de obras estudados, 49 obras tem o indicador de consumo (m³/m²) de água (valor real) dentro dos valores do intervalo de predição. Apenas 5 obras apresentaram um erro percentual (entre o valor real e predito) acima de 50% e, de forma geral, este erro foi notado em canteiros de obras que apresentaram valores mais baixos de indicador de consumo de água quando comparados aos demais valores da amostra.

Figura 40 - Gráfico dos indicadores de consumo de água (m^3/m^2) com valores reais e preditos dos 50 canteiros de obras



Fonte: A autora (2024)

Com relação aos indicadores de consumo por área construída, um estudo realizado no Espírito Santo (Brasil), o volume de água consumida por metro quadrado construído variou entre 0,42 e 0,58 m^3/m^2 (Canal; Oliveira, 2010). Em Recife (Brasil), Santos, Silva e Cerqueira (2015) apontaram um indicador de consumo de 0,38 m^3/m^2 . Zeule, Serra e Teixeira (2020) estimaram um indicador de consumo de 0,29 m^3/m^2 na cidade de Limeira, estado de São Paulo (Brasil). Como resultado desta pesquisa, com base em uma amostra de 50 canteiros de obras, estimou-se um indicador médio de consumo de água na cidade de Joinville de 0,257 m^3/m^2 com uma faixa de variação de 0,110 m^3/m^2 até 0,453 m^3/m^2 .

Além das análises e testes estatísticos aplicados para o desenvolvimento e validação do modelo final de regressão linear múltipla para o consumo de água em canteiros de obras, que é o objeto de estudo desta pesquisa, a revisão sistemática da literatura apresentada foi fundamental para a definição das informações que seriam abordadas no questionário. Desde modo, a definição das variáveis regressoras do modelo de regressão foi baseada nas respostas adquiridas por meio do questionário aplicado, de maneira que esta investigação pudesse contribuir para a geração de conhecimentos acerca do consumo de água em canteiros de obras.

A revisão sistemática da literatura apresentou resultados que direcionam para alguns fatores relacionados ao consumo de água em canteiros de obra, como a área construída, a quantidade de funcionários, além de técnicas construtivas e materiais empregados. Cisneiros e Vazquez (2018) discutem que o consumo de água nos canteiros de obras se dá em quase todas as atividades, desde o consumo pelos trabalhadores até na aplicação, mistura ou produção de materiais, atividades e serviços relacionados às atividades construtivas. Neste estudo de caso, as variáveis independentes que compõem o modelo estatístico para predição e explicação do consumo de água por área construída em canteiros de obras são a área construída total, o tempo de atraso nas atividades construtivas e o uso de fontes alternativas para abastecimento de água.

As variáveis área construída e consumo de água apresentaram um coeficiente de correlação de 0,867 (correlação positiva e forte) em um estudo realizado em Porto Alegre no Rio Grande do Sul, indicando uma relação forte entre as variáveis (Albertini *et al.*, 2021). No presente estudo analisou-se a correlação entre o indicador de consumo por área e área construída, por isso o coeficiente da regressão para esta variável é negativo, ou seja, conforme aumenta a área construída total, o consumo de água por área diminui. No estudo de Canal e Oliveira (2010) os indicadores de consumo de água por área também apresentaram redução com o aumento da área construída total.

Waidyasekara, Silva e Rameezdeen (2017) aplicaram um questionário com o objetivo de conhecer a perspectiva dos profissionais que atuam nos canteiros de obras acerca do tema conservação da água nas obras. Como resultado, os respondentes indicaram que reduzir, eliminar o uso da água (quando possível) e substituir (fontes alternativas) são estratégias mais adequadas quando o assunto é consumo de água

em canteiros de obras. Este estudo indica que o uso de fontes alternativas de abastecimento contribui para redução do consumo de água potável proveniente da concessionária. Neste estudo, houve utilização de água da chuva em 5 canteiros de obra e em um deles, além do sistema de aproveitamento de água de chuva, também houve reúso de água. Souza e Ghisi (2020) destacam o papel que o uso de fontes alternativas desempenham no aumento da disponibilidade de água e a importância do uso de água de chuva para redução do consumo de água potável em canteiros de obra. Em relação à variável tempo de atraso na obra, esta aumenta o consumo de água nos canteiros de obras da amostra. Segundo Mali e Warudkar (2016), o atraso no tempo de obra faz com que o consumo de recursos e, conseqüentemente, os custos aumentem. Tafazzoli e Shrestha (2017) mencionam que os atrasos no tempo de obra estão associados a alguns efeitos ambientais negativos e, entre eles está o aumento do consumo de água.

O estudo do consumo de água em canteiros de obra é importante, pois as atividades relacionadas à construção civil consomem recursos hídricos de maneira considerável (Rahman *et al.*, 2019). Além disso, o conhecimento dos indicadores de consumo de água permite a comparação e benchmarking. Ainda, a identificação dos determinantes de consumo de água em canteiros de obra permite a criação de estratégias de gestão focadas em pontos específicos para promoção da conservação da água, contribuindo assim para a sustentabilidade na construção civil.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A gestão do uso da água tem sido discutida em diferentes países, visto que é essencial para a vida nas cidades, tem um impacto direto no ambiente construído e o consumo em grandes proporções pode impactar a quantidade e qualidade dos recursos hídricos disponíveis. A água é um dos recursos mais utilizados na indústria da construção civil, tanto de forma direta como indireta. No entanto, o uso da água na construção civil ainda é um assunto pouco explorado em pesquisas científicas. Por isso, estudos acerca da temática consumo de água são fundamentais, visto que o tema está ligado a aspectos ambientais na construção civil.

A revisão sistemática da literatura apresentou informações a respeito do consumo de água em canteiros de obra de diferentes partes do mundo. Por meio da investigação realizada em estudos da literatura, foi possível apontar indicadores de consumo direto de água, consumo de água virtual e incorporada. Como resultado, observou-se que este consumo de água pode variar de acordo com o local e as particularidades da obra. Além disso, a revisão sistemática mostrou que a área construída, o consumo humano e as técnicas construtivas empregadas influenciam o consumo de água nos canteiros de obras.

O presente estudo buscou determinar os fatores que influenciam o consumo de água em canteiros de obras na cidade de Joinville/SC com o objetivo de investigar os indicadores de consumo por área construída (m^3/m^2) para a cidade. Outro objetivo proposto para esta pesquisa foi a obtenção de um modelo de regressão linear múltipla para estimação do indicador de consumo de água (m^3/m^2). Para esta pesquisa, aplicou-se o método de amostragem não probabilística por cotas, que contemplou o estudo de 50 canteiros de obras da cidade de Joinville/SC que tiveram suas atividades construtivas finalizadas entre janeiro de 2020 e maio de 2024. A cota determinada para este estudo foi por região, zonas (Centro/Norte, Nordeste, Leste, Sudeste, Sul, Sudoeste, Oeste e Pirabeiraba) em que os canteiros de obras estão localizados na cidade de Joinville.

Em seguida, foi desenvolvido um questionário com o intuito de investigar as características dos canteiros de obras na cidade Joinville, dos métodos construtivos empregados e das variáveis relacionadas à gestão do uso da água e sustentabilidade ambiental. Por meio dos dados de consumo dos 50 canteiros de obras, calcularam-se

as estatísticas descritivas do consumo total de água (m^3), consumo mensal de água ($m^3/mês$) e o indicador de consumo (m^3/m^2). Para o consumo total de água estimou-se uma média de $1.380 m^3$, com mediana de $1.032 m^3$ e desvio padrão de $1.146 m^3$. O consumo mensal médio nos 50 canteiros de obra apresentou média de $45,6 m^3/mês$, com uma mediana de $32,5 m^3/mês$ e desvio padrão de $39,4 m^3/m^2$. O indicador de consumo encontrado para a cidade baseado na amostra de 50 canteiros de obras apresentou média e mediana de $0,257 m^3/m^2$ com um desvio padrão de $0,0812 m^3/m^2$, sendo que o menor consumo encontrado nesta amostra foi de $0,110 m^3/m^2$ e o maior consumo foi de $0,453 m^3/m^2$.

Ao todo o formulário contemplou 46 perguntas que foram direcionadas para as 25 variáveis qualitativas e quantitativas analisadas nesta pesquisa. Das 25 variáveis, 3 permaneceram no modelo final. Para este modelo final de regressão linear múltipla, o fator com maior influência no indicador de consumo de água (m^3/m^2) da cidade de Joinville/SC é o atraso no tempo de construção (em meses), seguido pela área construída (em m^2) e pelo uso de fonte alternativa de abastecimento de água durante a construção. O coeficiente de determinação (R^2) calculado para o modelo de regressão linear múltipla para o indicador de consumo de água (m^3/m^2) para as obras de Joinville é de 28%.

Por meio deste estudo na cidade de Joinville/SC, pretende-se contribuir para a disseminação do conhecimento acerca de indicadores de consumo de água, possibilitando a comparação com indicadores de canteiros de obras semelhantes de modo a contribuir para a promoção da sustentabilidade no uso da água e melhoria de desempenho nos processos construtivos. Além disso, um dos intuitos da pesquisa é a difusão do conhecimento em relação à demanda de consumo de água no processo construtivo de edifícios em Joinville/SC.

5.1 LIMITAÇÕES DA PESQUISA

As limitações e dificuldades encontradas no desenvolvimento desta pesquisa foram:

- a) dificuldade em encontrar estudos acerca do consumo de água em canteiros de obras;

- b) impossibilidade de obtenção de dados oficiais com a Secretaria do Meio Ambiente de Joinville (SAMA) e com Corpo de Bombeiros Militar (CBM) para determinação da população para a estimação da amostra (número de canteiros de obras);
- c) dificuldade para obtenção do número de respostas necessárias para o questionário, tendo sido previsto um prazo de no máximo 3 meses para a coleta destes dados, que por fim levou 5 meses;
- d) os resultados da pesquisa são válidos somente para a cidade de Joinville/SC e para canteiros de obras do tipo residencial multifamiliar vertical (prédios de apartamentos).

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para complementação da pesquisa e trabalhos futuros, sugere-se:

- a) investigar o número total de trabalhadores nos canteiros de obras estudados;
- b) analisar a influência dos tipos de áreas de vivências existentes no consumo de água dos canteiros de obras;
- c) analisar a influência dos locais que receberam impermeabilização e testes de estanqueidade em função do consumo de água nos canteiros de obras;
- d) analisar a associação encontrada no erro percentual do valor predito em relação às obras que apresentaram um indicador de consumo de água (m^3/m^2) menor;
- e) elaborar modelos de regressão linear múltipla para consumo total (m^3);
- f) elaborar modelos de regressão linear múltipla para consumo médio mensal ($m^3/mês$);
- g) expandir o estudo com outros tipos de modelos e outras abordagens para seleção e redução de variáveis;
- h) ampliar a área de estudo para outras cidades e estados brasileiros.

REFERÊNCIAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 12.284 (1991): Áreas de vivência em canteiros de obras**. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 1991.

ACHARI, A.; RANE, N.; GANGAR, B. Framework Towards Achieving Sustainable Strategies for Water Usage and Wastage in Building Construction. **International Journal of Engineering Trends and Technology**, v.71, 2023. DOI: 10.14445/22315381/IJETT-V71I3P241.

ALBERTINI, F.; GOMES, L. P.; GRANDONA, A. E. B.; CAETANO, M. O. Assessment of environmental performance in building construction sites: Data envelopment analysis and Tobit model approach. **Journal of Building Engineering**, v.44, 2021. DOI: 10.1016/j.jobbe.2021.102994.

ALEXANDER, D. L. J.; TROPSHA, A.; WINKLER, D. A. Beware of R²: simple, unambiguous assessment of the prediction accuracy of QSAR and QSPR models. **J Chem Inf Model**. 2015. DOI:10.1021/acs.jcim.5b00206.

ARAÚJO, D. S.; SOUZA, D. J. R.; SILVA, L. O. **Planejamento e Gerenciamento do Canteiro de Obras**. IV Colóquio Estadual de Pesquisa Multidisciplinar. II Congresso Nacional de Pesquisa Multidisciplinar. 2019.

BACCI, D. L. C.; PATACA, E. M. Educação para a água. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, 2008.

BAKKE, H. A.; LEITE, A. S. M.; SILVA, L. B. Estatística Multivariada: aplicação da análise fatorial na engenharia de produção. **Revista Gestão Industrial**, v.4, p-01-14, 2008. DOI: 10.3895/S1808-04482008000400001.

BANDEIRA, M. **Texto 1B: Tipos de Pesquisa**. Laboratório de Psicologia Experimental / Departamento de Psicologia - FUNREI. 2013.

BANKS, D.; FIENBERG, S. E. **Statistics, Multivariate**. Encyclopedia of Physical Science and Technology (Third Edition), p. 851-889, 2003. DOI: <https://doi.org/10.1016/B0-12-227410-5/00731-6>

BARBETTA, P. A.; REIS, M. M.; BORNIA, A. C. **Estatística para cursos de Engenharia e Informática**. 3 ed. São Paulo: Atlas S.A., 2010.

BEHRENDT, S. lm.beta: Add Standardized Regression Coefficients to Linear-Model-Objects. **R package version 1.7-2**. 2023. <<https://CRAN.R-project.org/package=lm.beta>>. 2023.

BI, L.; FELEKE, A. G.; GUAN, C. A review on EMG-based motor intention prediction of continuous human upper limb motion for human-robot collaboration. **Biomedical Signal Processing and Control**, v.51, p. 113–127, 2019.

BOBBITTI, Z. **An Easy Guide to K-Fold Cross-Validation**. Statistics Simplified (STATOLOGY). 2020.

CÂMARA, C. P. S.; JUNIOR, M. A. B. S.; SILVA, S. R.; SANTOS, S. M. **Consumo de Água em Canteiros de Obras: Uma Revisão**. XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2020

CANAL, F. E. L.; OLIVEIRA, M. D. **Avaliação do Consumo de Água em Construção de Edifícios Estudo de Caso: Ed. Ilha da Maiorca**. V Jornada de Iniciação Científica. III Jornada de Iniciação em Desenvolvimento Tecnológico e Inovação. 2010.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Artigo: Construção civil e seu protagonismo na gestão dos recursos hídricos**. 2020. Disponível em: > Acesso em: 11/08/2023.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho da Construção Civil em 2022 e perspectivas para 2023**. 2022. Disponível em: <(Microsoft PowerPoint - PANORAMA CONSTRU\307\3030 - DEZ 2022- FINAL) (cbic.org.br)> Acesso em: 12/05/2023.

CBM, Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. **Solicitação de Vistoria de Habite-se**. 2023. Disponível em: <<https://www.cbm.sc.gov.br/index.php/artigos/servicos-ao-cidadao/habite-se?highlight=WyJoYWJpdGUtc2UiXQ==>> Acesos em: 23/09/2023.

CBVJ, Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville. **Sobre o CAT**. 2023. Disponível em: <Centro de Atividades Técnicas CAT Bombeiros Voluntários Joinville | CBVJ> Acesos em: 08/08/2023.

CESÁRIO, J. M. S.; FLAUZINO, V. H. P.; MEJIA, J. V. C. Metodologia científica: Principais tipos de pesquisas e suas características. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 05, p. 23-33. Novembro de 2020. ISSN: 2448-0959. DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/educacao/tipos-de-pesquisas.

CISNEIROS, A. P. B.; VAZQUEZ, E. G. Simulação de Análise Preliminar de Riscos em Métodos de Minimização do Consumo de Água em Canteiros de Obra. **Revista Boletim do Gerenciamento**, n.2, 2018.

CNI, Confederação Nacional da Indústria. **Uso eficiente da água é fundamental para garantir segurança hídrica**. 2023. Disponível em: <Uso eficiente da água é fundamental para garantir segurança hídrica - Agência de Notícias da Indústria (portaldaindustria.com.br)> Acesso em: 01/08/2023.

COHEN, J. **Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences**. 2 ed. Bibliography: p. Includes index. 1998.

COSTA, M. E. L.; SOUZA, J. C. S.; COSTA, K.; LIMA, J. T.; TENÓRIO, P. P. C.; CAVALCANTI, R.; FREIRE, C. C. **Gestão das Águas Utilizadas em Obras Civil - Questão do Direito de Uso**. XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande. 2009.

DEVORE, J. L. **Probabilidade e estatística para engenharia e ciências**. 9 ed. São Paulo, SP: Cengage, 2018.

DODGE, Y. **The Concise Encyclopedia of Statistics**. Springer, New York, NY. 2008. DOI: https://doi.org/10.1007/978-0-387-32833-1_214.

ERDENEKHUU, N.; KOCSI, B.; MÁTÉ, D. A Risk-Based Analysis Approach to Sustainable Construction by Environmental Impacts. **Energies**, v. 15, n. 18, p. 6736, 15 set. 2022. MDPI AG. DOI: <https://doi.org/10.3390/en15186736>.

ESMAEILIFAR, R.; SAMARI, M.; SHAFIEI, M. W. M. Implementation of low carbon construction activities in order to optimize water consumption on the construction site. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, v.7, 2014. DOI: 10.19026/rjaset.7.931.

FREITAS, R. O.; CORRÊA, R. I. L.; VAZ, P. M. S. **Cálculo Numérico** [recurso eletrônico]. Porto Alegre, RS: SAGAH, 2019.

FERREIRA, E. A. M.; FRANCO, L. S. Metodologia para Elaboração do Projeto do Canteiro de Obras de Edifícios. **Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP**. Departamento de Engenharia de Construção Civil. São Paulo. 1998.

FLEURY, M. T. L.; WERLANG, S. R. C. Pesquisa aplicada: conceitos e abordagens. **Anuário de pesquisa 2016-2017 FGV-EAESP**. São Paulo, SP. 2017.

FONTANELLA, B. J. B.; LUCHESI, B. M.; SAIDEL, M. G. B.; MELO, D. G.; RICAS, J.; TURATO, E. R. Amostragem em pesquisas qualitativas: proposta de procedimentos para constatar saturação teórica. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.27, n.2, p. 389-394, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2011000200020>.

FONTANELLA, B. J. B.; RICAS, J.; TURATO, E. R. Amostragem por saturação em pesquisas qualitativas em saúde: contribuições teóricas. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.24, n.1, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2008000100003>.

FOX, J.; WEISBERG, S. (2019). **An R Companion to Applied Regression**, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA. <<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>>. pacote car e funções.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 3º ed. São Paulo, SP: Atlas, 1991.

GOTTSCHÉ, J.; KELLY, M. Assessing the impact of resource efficiency on selected case studies in Ireland. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - **Waste and Resource management**, v.173, 2020. DOI: 10.1680/jwarm.20.00006.

HAIR, J. F.; BLACK, W. C.; BABIN, B. J.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L. **Análise Multivariada de Dados**. 6 ed. São Paulo: Bookman, 2009.

HARIHARAN, J.; MOUD, H. I.; SANDS, K.; CAPANO, C.; STOCKINGER, K.; VOWELS, J. **Benchmarking Drinking Water Consumption during Construction Phase**. Construction Research Congress 2022. American Society of Civil Engineers. Flórida, EUA. 2022. DOI:10.1061/9780784483954.058.

HERAVI, G.; ABDOLVAND, M. M. Assessment of water consumption during production of material and construction phases of residential building projects. **Sustainable Cities and Society**, v.51, 2019. DOI: 10.1016/j.scs.2019.101785.

HYNDMAN, R. J.; ATHANASOPOULOS G.; BERGMER, C.; CACERES, G.; CHHAY, L.; O'HARA-WILD, M.; PETROPOULOS, F.; RAZBASH, S.; WANG, E.; YASMEENS, F. forecast: Forecasting functions for time series and linear models. **R package version 8.17.0**. 2022. <<https://pkg.robjhyndman.com/forecast/>>.

HYNDMAN, R. J.; KHANDAKAR, Y. "Automatic time series forecasting: the forecast package for R." **Journal of Statistical Software**, v.26, n.3, p.1-22, 2008. DOI:10.18637/jss.v027.i03

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades e Estados: Joinville (código: 4209102)**. 2023. Disponível em: <Joinville (SC) | Cidades e Estados | IBGE> Acesso em: 03/08/2023.

IGNÁCIO, S. A. Importância da Estatística Para o Processo de Conhecimento e tomada de decisão. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba, n. 118, p.175 – 192, 2010.

JOINVILLE (Santa Catarina). **Decreto N° 26.193 de dezembro de 2015**. Adota normas de prevenção contra incêndio e pânico. Joinville, 2015.

JOINVILLE (Santa Catarina). **Lei municipal 2.027 de janeiro de 1985**. Estabelece normas de proteção contra incêndios. Joinville, 1985.

KABACOFF, R. I. **R in Action: Data analysis and graphics with R**. 2 ed. New York: Manning Publications, 2015.

KUHN, M. **Building Predictive Models in R Using the caret Package**. Journal of Statistical Software, vol. 28, 2008.

KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; NETER, J. **Applied Linear Regression Models**. 4. ed. Nova York: McGraw-Hill/Irwin, 2004.

LAI, S.; HU, X.; XU, H.; REN, Z.; LIU, Z. Multimodal sentiment analysis: A survey. **Displays** 80, 2023.

MAIA, A. G. **ECONOMETRIA: conceitos e aplicações**. São Paulo: Saint Paul Editora, 2017.

MALI, L.; WARUDKAR, A. A. Causes of Delay in the Construction Industry in Pune region of India. **International Journal of Application or Innovation in Engineering & Management**, vol. 5, 2016.

MAHALUÇA, F. A. **Correlação e Regressão Linear**. Higher Institute of Accounting and Audit of Mozambique (ISCAM), Mozambique, 2019.

MARQUES, C. T.; GOMES, B. M. F.; BRANDLI, L. L. Consumo de água e energia em canteiros de obra: um estudo de caso do diagnóstico a ações visando à sustentabilidade. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.17, n. 4, p. 79-90, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1590/s1678-86212017000400186>.

MATEUS, R. F. M. S. **Avaliação da Sustentabilidade da Construção: Propostas para o Desenvolvimento de Edifícios mais Sustentáveis**. Tese de doutorado em Engenharia Civil (ramo do conhecimento Processos de Construção). Universidade do Minho, Braga, Portugal, 2009.

MELLO, L. C. B. B.; AMORIM, S. R. L. O subsetor de edificações da construção civil no Brasil: uma análise comparativa em relação a União Europeia e aos Estados Unidos. **Produção**, v. 19, n. 2, p. 388-399, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-65132009000200013>.

MIOT, H. A. Análise de correlação em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1677-5449.174118>.

MIOT, H. A. Avaliação da normalidade dos dados em estudos clínicos e experimentais. **Jornal Vascular Brasileiro**, 2017. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1677-5449.041117>.

MONTGOMERY, D. C.; RUNGER, G. C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. Tradução e revisão técnica Veronica Calado, Antonio Henrique Monteiro da Fonseca Thomé da Silva. 7. ed. Rio de Janeiro. RJ, 2021.

MYTTENAERE, A.; GOLDEN, B.; GRAND, B; ROSSI, F. Mean Absolute Percentage Error for regression models. **Neurocomputing**, v. 192, p. 38-48, 2016.

NOBRE, F. C.; CORRÊA, D. A.; NEPOMUCENO, L. H.; NOBRE, L. H. N.; SOUSA, A. J.; SIQUEIRA FILHO, V. A. Amostragem na Pesquisa de Natureza Científica em um Campo Multiparadigmático: Peculiaridades do Método Qualitativo. **Revista Espacios**, v.38, n.22, 2017.

ONYUTHA, C. A hydrological model skill score and revised R-squared. **Hydrology Research**, v.53, 2021. DOI: 10.2166/nh.2021.071.

PAES, A. T. Itens essenciais em bioestatística. **Arq Bras Cadiol**, v. 71, n. 4, 1998. DOI: SciELO - Brasil - Itens essenciais em bioestatística Itens essenciais em bioestatística.

PESSARELLO, R. G. **Estudo exploratório quanto ao consumo de água na produção de obras de edifícios: avaliação e fatores influenciadores**. Monografia (MBA em Tecnologia e Gestão na Produção de Edifícios) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Programa de Educação Continuada em Engenharia. São Paulo, 2008.

PONTE, J. X. Artigo: A importância da água para a Arquitetura e Urbanismo. **CAU/GO (Conselho de Arquitetura e Urbanismo de Goiás)**, 2019.

Portaria SSST; Portaria Secretaria Segurança e Saúde no Trabalho. **NR 18 - Condições e Meio Ambiente de Trabalho na Indústria da Construção**. Brasília, Brasil. (Portaria SSST nº 4, de 04 de julho de 1995).

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **IBGE apresenta dados preliminares do Censo 2022 em Joinville, 2023**. Disponível em: <IBGE apresenta dados preliminares do Censo 2022 em Joinville - Prefeitura de Joinville> Acesso em: 03/08/2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **IBGE apresenta balanço do Censo 2022 em Joinville, 2022**. Disponível em: <IBGE apresenta balanço do Censo 2022 em Joinville - Prefeitura de Joinville> Acesso em: 03/08/2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Joinville ultrapassa os 600 mil habitantes, segundo o IBGE, 2021**. Disponível em: <Joinville ultrapassa os 600 mil habitantes, segundo o IBGE - Prefeitura de Joinville> Acesso em: 03/08/2023.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JOINVILLE. **Para abastecer a cidade, Águas de Joinville trata e distribui cerca de 181 milhões de litros de água por dia, 2023**. Disponível em: <Para abastecer a cidade, Águas de Joinville trata e distribui cerca de 181 milhões de litros de água diariamente - Prefeitura de Joinville> Acesso em: 03/08/2023.

PRUNZEL, J.; TOEBE, M.; LOPES, A. B.; MOREIRA, V. S. Modelos de Regressão Linear Múltipla Aplicados à Avaliação de Terrenos Urbanos – Caso do Município de Itaqui-RS. **Boletim de Ciências Geodésicas** (versão online), 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1982-21702016000400037>.

RAHMAN, M. M.; RAHMAN, M. A.; HAQUE, M. M.; RAHMAN, A. **Chapter 8 – Sustainable Water Use in Construction**. Sustainable Construction Technologies, p. 211-235, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811749-1.00006-7>.

R Core Team (2021). **R: A Language and environment for statistical computing**. (Version 4.1) [Computer software]. (R packages retrieved from MRAN snapshot 2022-01-01). Disponível em: < <https://cran.r-project.org/>>.

SANTOS, C. P.; SILVA, S. R.; CERQUEIRA, C. A. Water Consumption in Construction Sites in the City of Recife/PE. **Electronic Journal of Government and Economics (EJGE)**, v.20, n.7, 2015.

SEPUD, Secretaria de Planejamento Urbano e Desenvolvimento Sustentável. **Joinville cidade em dados 2018**. Disponível em: <Joinville-Cidade-em-Dados-2018- Características-Gerais.pdf> Acesso em: 15/08/2023.

SHAMS, M.Y.; TAREK, Z.; EL-KENAWY, ES.M. *et al.* Predicting Gross Domestic Product (GDP) using a PC-LSTM-RNN model in urban profiling areas. **Comput.Urban Sci**, vol.4, n.3, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00116-2>.

SIDRA, Sistema IBGE de Recuperação Automática. **Censo Demográfico 2022 Características dos Domicílios – Resultados do Universo, 2024**.

SOUZA, T. D.; GHISI, E. Harvesting rainwater from scaffolding platforms and walls to reduce potable water consumption at buildings construction sites. **Journal of Cleaner Production**, v.258, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.120909.

TAFAZZOLI, M.; SHRESTHA, P. Factor Analysis of Construction Delays in the U.S. Construction Industry. **International Conference on Sustainable Infrastructure**, 2017. DOI: 10.1061/9780784481196.011.

THE JAMOVI PROJECT (2022). **jamovi**. (Version 2.3) [Computer Software]. Retrieved from <https://www.jamovi.org>.

TIRTH, V.; ALGARNI, S.; AGARWAL, N.; SAXENA, A. Greenhouse gas emissions due to the construction of residential buildings in Moradabad, India. **Applied Ecology and Environmental Research**, v. 17, n. 5, p. 12111-12126, jul. 2019. ALOKI Ltd. DOI: http://dx.doi.org/10.15666/aeer/1705_1211112126.

TRA-EFCT, *Targeted Research action on environmentally friendly construction technologies*. **Objective: TRA Project Overview**, 2001. Disponível em: <<https://cordis.europa.eu/project/id/BRRT975007>> Acesso em: 30/08/2023.

TUCCI, C. E. M. Águas urbanas. **Estudos Avançados**, v.22, n.63, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0103-40142008000200007>.

UNEP, *United Nations Environment Programme*. **2021 Global Status Report for Buildings and Construction**. Disponível em: <GABC_Buildings-GSR-2021_BOOK.pdf (globalabc.org)> Acesso em: 17/08/2023.

VIERO, L. M. D. Água: Recurso Natural Indispensável ao Ambiente Urbano. Periódicos UFN: **VIDYA**, v.24, 2015.

WAIDYASEKARA, K. G. A. S.; SILVA, L.; RAMEEZDENN, R. Application of “R” principles to enhance the efficiency of water usage in construction sites. **Built Environment Project and Asset Management**, v.7, 2017. DOI: 10.1108/BEPAM-01-2017-0006.

XU, Z.; LV, Z.; CHU, B.; SHENG, Z.; LI, J. Progress and prospects of future urban health status prediction. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, v.129, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2023.107573>.

ZANETTA, D. M. T. **Etapas do Método Estatístico**. USP/Univesp: Licenciatura em Ciências, 2010.

ZEILEIS, A.; GROTHENDIECK, G. zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. **Journal of Statistical Software**, v.14, n.6, p.1-27, 2005. DOI:10.18637/jss.v014.i06.

ZEULE, L. O.; SERRA, S. M. B.; TEIXEIRA, J. M. C. Best practices for the rational use of water in construction sites in Brazil. **Environmental Quality Management**, v. 29, n. 4, p. 73-85, jun. 2020. Wiley. DOI: <https://doi.org/10.1002/tqem.21693>.

APÊNDICE A

TABELA DE FREQUÊNCIA DA NUVEM DE PALAVRAS DA REVISÃO
SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Palavra	Extensão	Contagem	Palavras similares
water	5	222	water
construction	12	202	construction, constructions
building	8	108	building, buildings
site	4	67	site, sites
consumption	11	63	consumption
study	5	46	studied, studies, study
materials	9	41	material, materials
sustainability	14	41	sustainability, sustainable
energy	6	33	energy
activity	8	32	active, activities, activity
efficiency	10	31	efficiency, efficient
project	7	31	project, projects
using	5	30	used, uses, using
embodied	8	29	embodied
environmental	13	29	environmental
management	10	24	management
system	6	24	system, systems
analysis	8	23	analysis
practices	9	22	practice, practices
resource	8	22	resource, resources
assessment	10	21	assess, assessed, assesses, assessing, assessment
based	5	20	based
impact	6	20	impact, impacted, impacting, impacts
methods	7	20	method, methods
results	7	20	result, resultant, resulted, resulting, results
dust	4	19	dust
measures	8	19	measure, measurement, measures
research	8	18	research
development	11	17	develop, developed, developing, development
residential	11	17	residential

performance	11	16	perform, performance, performances, performed
virtual	7	16	virtual
data	4	15	data
footprint	9	15	footprint, footprints
production	10	15	production, products
conserve	8	14	conservation, conserve
suppressant	11	14	suppressant, suppressing, suppression
total	5	14	total
case	4	13	case, cases
cost	4	13	cost, costs
economic	8	13	economic, economically
effective	9	13	effective, effectively, effectiveness, effects
emissions	9	13	emission, emissions
green	5	13	green
implementing	12	13	implement, implementation, implemented, implementing
industry	8	13	industries, industry
evaluate	8	12	evaluate, evaluated, evaluates, evaluating, evaluation
reduce	6	12	reduce, reduced, reducing
spray	5	12	spray, spraying
strategies	10	12	strategies

APÊNDICE B

QUESTIONÁRIO SOBRE CONSUMO DE ÁGUA EM CANTEIROS DE OBRAS DA CIDADE DE JOINVILLE/SC

Você está sendo convidado a participar de uma pesquisa de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).

Este questionário será utilizado na Dissertação de Mestrado intitulada “Consumo de Água em Canteiros de Obras da cidade de Joinville/SC”. Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa “Investigação de fatores relacionados ao consumo de água no ambiente construído”, aprovado no Comitê de Ética da Universidade do Estado de Santa Catarina (CAAE 14122819.4.0000.0118).

Para sua anuência, antes de responder às perguntas deste questionário, está disponível o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido fornecido por meio do link abaixo: https://drive.google.com/file/d/1uTP3mC5M2zUD-uMPnsg_iPEwKCy-C0BZ/view?usp=drive_link

Essa pesquisa leva aproximadamente 10 minutos e abrange questões relacionadas à identificação, aspectos do edifício, método construtivo, mão de obra e gestão do uso da água em obras de edifícios habitacionais verticais multifamiliares finalizadas entre os anos de 2020 e 2023 na cidade de Joinville - SC.

As informações que os profissionais que trabalham com construção civil podem fornecer são fundamentais para a pesquisa. Ao concordar com a pesquisa, você afirma ser maior de 18 anos e aceita participar da pesquisa. Os dados de consumo de água serão coletados diretamente com o órgão responsável. Ao preencher este formulário, você concorda com a disponibilização dos dados de consumo de água.

Para o preenchimento da pesquisa, por favor preencha uma vez o formulário para cada canteiro de obra com atividades construtivas finalizadas entre os anos de 2020 e 2023. Lembramos que o formulário se aplica apenas a empreendimentos do tipo residencial multifamiliar vertical (prédio de apartamentos) em Joinville (SC).

Agradecemos sua colaboração com a pesquisa!

*** Indica uma pergunta obrigatória**

1. Nome (de quem está preenchendo):

2. Nome da empresa:

3. Endereço (rua e número) da obra: *

4. Data de início da construção: *

Exemplo: 7 de janeiro de 2019

5. Data de término da construção: *

Exemplo: 7 de janeiro de 2019

6. Houve atraso no tempo de construção da obra? Se sim, quanto tempo? *

7. Padrão construtivo: *

Marcar apenas uma oval.

baixo padrão

médio baixo padrão

médio padrão

médio alto padrão

alto padrão

8. Possui áreas comuns? Se sim, quais? (é possível assinalar mais de uma opção) *

Marque todas que se aplicam.

Não há áreas comuns

Salão de Festas

Sala de Jogos

Academia

Brinquedoteca

Playground

Quadra

Piscina

Bicicletário

Outro: _____

9. Qual é a área total construída (em m²) do empreendimento? *

10. Qual é o total de área privativa (em m²) do empreendimento?

11. Qual é o número total de torres do empreendimento? *

12. Qual é o número total de pavimentos do empreendimento? *

13. Qual é o número total de unidades habitacionais do empreendimento? *

14. Quantos tipos diferentes de apartamentos existem no empreendimento? *
Marcar apenas uma oval.

1 (todos os apartamentos são iguais)

2

3

4

5

6

7

8

9

10

+ 10

15. Quantidade total de banheiros incluindo os lavabos do empreendimento: *

16. Quantidade total de dormitórios incluindo as suítes do empreendimento: *

17. Quais áreas operacionais e de vivência existiram no canteiro de obras (é possível assinalar mais de uma opção): *

Marque todas que se aplicam.

- Almojarifado
- Depósito de materiais ou estoque
- Sanitários
- Vestiários
- Refeitório
- Escritório
- Ambulatório
- Alojamento (dormitórios)
- Alojamento (lavanderia)
- Alojamento (cozinha)

18. Tipo de método construtivo utilizado (é possível assinalar mais de uma opção): *

Marque todas que se aplicam.

- concreto armado
- alvenaria convencional
- alvenaria estrutural
- pré moldado
- Outro: _____

19. Usou algum sistema pré-fabricado? *

Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não

20. Se a resposta foi sim para o uso de sistemas pré-fabricado. Qual foi o sistema utilizado?

21. Tipo de concreto: *
Marcar apenas uma oval.

- usinado
- feito no local
- não utilizou concreto

22. Tipo de concreto: se a mistura foi feita na obra, houve uso de silo?
Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- N/A (não se aplica)

23. Massa para reboco: *
Marcar apenas uma oval.

- massa pronta
- feita no local (obra)
- não utilizou

24. Massa para reboco: se a mistura foi feita na obra, houve uso de silo?
Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- N/A (não se aplica)

25. Massa para contrapiso: *
Marcar apenas uma oval.

- massa pronta
- feita no local (obra)
- não utilizou

26. Massa para contrapiso: se a mistura foi feita na obra, houve uso de silo?
Marcar apenas uma oval.

- Sim
- Não
- N/A (não se aplica)

27. Cerâmica: as superfícies foram molhadas antes da aplicação dos revestimentos com *

argamassa?
Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

28. Impermeabilização: foi realizado esse tipo de serviço na obra? *
Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

29. Se a resposta foi sim para o serviço de impermeabilização. Quais áreas foram impermeabilizadas? (é possível assinalar mais de uma opção)
Marque todas que se aplicam.

- Box de banheiros
 Sacadas
 Terraços
 Piscinas
 Marquises
 Outro: _____

30. Vedação interna: *
Marcar apenas uma oval.

- alvenaria comum
 gesso acartonado
 Outro: _____

31. Havia lava rodas na obra? *
Marcar apenas uma oval.

- Sim
 Não

32. Se a resposta foi sim para o uso de lava rodas na obra, qual foi o sistema utilizado:
Marcar apenas uma oval.

sistema mecanizado

sistema manual

N/A (não se aplica)

33. Foi utilizado algum equipamento que use água para evitar a geração de poeira na obra? *
Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

34. Se a resposta foi sim para o uso do equipamento que utiliza água para evitar a geração de poeira, qual foi o equipamento utilizado?

35. Houve lavagem de fachada? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

36. Mão de obra utilizada: *

Marcar apenas uma oval.

própria

terceirizada

ambos

37. Média mensal de trabalhadores (terceirizados + próprios) na obra? *

38. Houve alguma situação de desperdício de água identificada durante a construção? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

39. Se a resposta foi sim, para a situação de desperdício de água, descreva-a:

40. Houve alguma ação de uso racional da água na obra? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

41. Se sim, qual foi a ação de uso racional da água?

42. Houve uso de fonte alternativa de água na obra? *

Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

43. Se sim, qual foi a fonte alternativa de água utilizada? (é possível assinalar mais de uma opção)

Marcar apenas uma oval.

poço

água de chuva

reúso de água

N/A (não se aplica)

Outro: _____

44. O empreendimento em questão pleiteou algum tipo de certificação ambiental? *
Marcar apenas uma oval.

Sim

Não

45. Se sim, qual foi o sistema de certificação pleiteado?

46. Você gostaria de compartilhar alguma informação sobre algo que possa ter impactado o consumo de água neste canteiro de obras? Descrever:

Google Formulários

APÊNDICE C

TABELA DE FREQUÊNCIA DA QUANTIDADE DE PAVIMENTOS (50 OBRAS)

Quantidade de pavimentos	Contagens	% do Total	% acumulada
3	1	2.0 %	2.0 %
4	4	8.0 %	10.0 %
5	8	16.0 %	26.0 %
6	2	4.0 %	30.0 %
7	6	12.0 %	42.0 %
8	3	6.0 %	48.0 %
9	4	8.0 %	56.0 %
10	6	12.0 %	68.0 %
11	6	12.0 %	80.0 %
12	2	4.0 %	84.0 %
13	2	4.0 %	88.0 %
14	2	4.0 %	92.0 %
15	1	2.0 %	94.0 %
18	1	2.0 %	96.0 %
20	2	4.0 %	100.0 %

APÊNDICE D

TABELA DE FREQUÊNCIA DA QUANTIDADE DE UNIDADES HABITACIONAIS
(50 OBRAS)

QTD de unidades habitacionais	Contagens	% do Total	% acumulada
6	1	2.0 %	2.0 %
7	1	2.0 %	4.0 %
9	1	2.0 %	6.0 %
10	1	2.0 %	8.0 %
11	1	2.0 %	10.0 %
12	1	2.0 %	12.0 %
14	1	2.0 %	14.0 %
15	1	2.0 %	16.0 %
16	1	2.0 %	18.0 %
17	2	4.0 %	22.0 %
18	2	4.0 %	26.0 %
19	1	2.0 %	28.0 %
22	2	4.0 %	32.0 %
24	1	2.0 %	34.0 %
25	4	8.0 %	42.0 %
26	1	2.0 %	44.0 %
27	1	2.0 %	46.0 %
28	1	2.0 %	48.0 %
29	1	2.0 %	50.0 %
30	1	2.0 %	52.0 %
32	1	2.0 %	54.0 %
35	1	2.0 %	56.0 %
36	1	2.0 %	58.0 %
37	1	2.0 %	60.0 %
40	1	2.0 %	62.0 %
41	1	2.0 %	64.0 %
42	2	4.0 %	68.0 %
45	1	2.0 %	70.0 %
46	1	2.0 %	72.0 %
50	1	2.0 %	74.0 %
54	1	2.0 %	76.0 %
69	2	4.0 %	80.0 %
72	1	2.0 %	82.0 %
80	2	4.0 %	86.0 %
84	1	2.0 %	88.0 %
104	1	2.0 %	90.0 %
120	1	2.0 %	92.0 %
144	1	2.0 %	94.0 %
176	2	4.0 %	98.0 %
400	1	2.0 %	100.0 %

APÊNDICE E

TABELA DE FREQUÊNCIA DA QUANTIDADE DE TIPOS DE APARTAMENTOS DIFERENTES (50 OBRAS)

Quantidade de tipos de apartamentos diferentes	Contagens	% do Total	% acumulada
1	7	14.0 %	14.0 %
2	11	22.0 %	36.0 %
3	7	14.0 %	50.0 %
4	6	12.0 %	62.0 %
5	6	12.0 %	74.0 %
6	5	10.0 %	84.0 %
8	3	6.0 %	90.0 %
9	1	2.0 %	92.0 %
10	4	8.0 %	100.0 %

APÊNDICE F

TABELA DE FREQUÊNCIA DA QUANTIDADE DE BANHEIROS E LAVABOS
(50 OBRAS)

QTD de banheiros e lavabos	Contagens	% do Total	% acumulada
7	1	2.0 %	2.0 %
10	1	2.0 %	4.0 %
15	1	2.0 %	6.0 %
16	2	4.0 %	10.0 %
29	1	2.0 %	12.0 %
30	2	4.0 %	16.0 %
33	1	2.0 %	18.0 %
34	1	2.0 %	20.0 %
37	1	2.0 %	22.0 %
39	2	4.0 %	26.0 %
40	1	2.0 %	28.0 %
51	1	2.0 %	30.0 %
52	1	2.0 %	32.0 %
53	1	2.0 %	34.0 %
54	1	2.0 %	36.0 %
55	1	2.0 %	38.0 %
56	1	2.0 %	40.0 %
59	1	2.0 %	42.0 %
64	1	2.0 %	44.0 %
67	1	2.0 %	46.0 %
74	1	2.0 %	48.0 %
80	2	4.0 %	52.0 %
84	1	2.0 %	54.0 %
86	1	2.0 %	56.0 %
87	2	4.0 %	60.0 %
88	1	2.0 %	62.0 %
92	1	2.0 %	64.0 %
97	1	2.0 %	66.0 %
102	1	2.0 %	68.0 %
113	1	2.0 %	70.0 %
114	1	2.0 %	72.0 %
116	1	2.0 %	74.0 %
120	2	4.0 %	78.0 %
121	1	2.0 %	80.0 %
131	1	2.0 %	82.0 %
141	1	2.0 %	84.0 %
144	2	4.0 %	88.0 %
146	1	2.0 %	90.0 %
176	2	4.0 %	94.0 %
188	1	2.0 %	96.0 %
208	1	2.0 %	98.0 %
400	1	2.0 %	100.0 %

APÊNDICE G

TABELA DE FREQUÊNCIA DA QUANTIDADE DE DORMITÓRIOS E SUÍTES
(50 OBRAS)

QTD de dormitórios e suítes	Contagens	% do Total	% acumulada
12	1	2.0 %	2.0 %
14	1	2.0 %	4.0 %
18	2	4.0 %	8.0 %
20	1	2.0 %	10.0 %
30	1	2.0 %	12.0 %
32	2	4.0 %	16.0 %
36	1	2.0 %	18.0 %
37	1	2.0 %	20.0 %
43	1	2.0 %	22.0 %
44	2	4.0 %	26.0 %
46	1	2.0 %	28.0 %
48	1	2.0 %	30.0 %
50	1	2.0 %	32.0 %
51	1	2.0 %	34.0 %
54	1	2.0 %	36.0 %
60	2	4.0 %	40.0 %
62	1	2.0 %	42.0 %
67	1	2.0 %	44.0 %
70	1	2.0 %	46.0 %
72	1	2.0 %	48.0 %
75	2	4.0 %	52.0 %
76	1	2.0 %	54.0 %
81	2	4.0 %	58.0 %
83	1	2.0 %	60.0 %
84	1	2.0 %	62.0 %
86	1	2.0 %	64.0 %
92	1	2.0 %	66.0 %
97	1	2.0 %	68.0 %
100	1	2.0 %	70.0 %
105	1	2.0 %	72.0 %
111	1	2.0 %	74.0 %
136	1	2.0 %	76.0 %
138	1	2.0 %	78.0 %
144	2	4.0 %	82.0 %
160	2	4.0 %	86.0 %
173	1	2.0 %	88.0 %
240	1	2.0 %	90.0 %
260	1	2.0 %	92.0 %
288	1	2.0 %	94.0 %
352	2	4.0 %	98.0 %
800	1	2.0 %	100.0 %

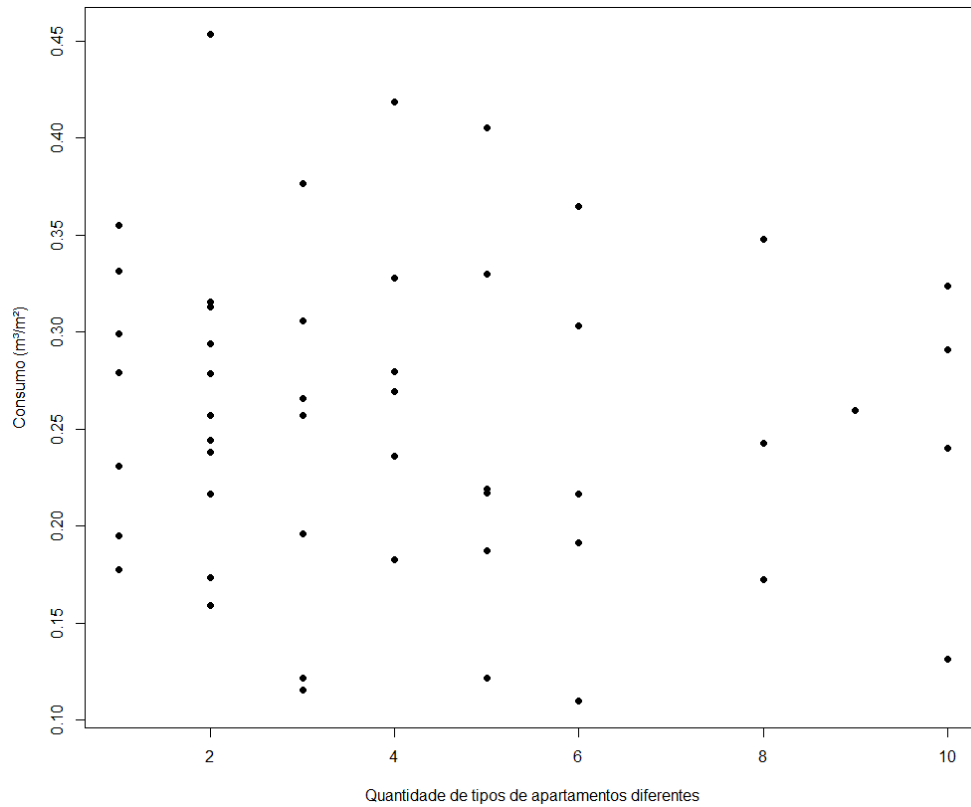
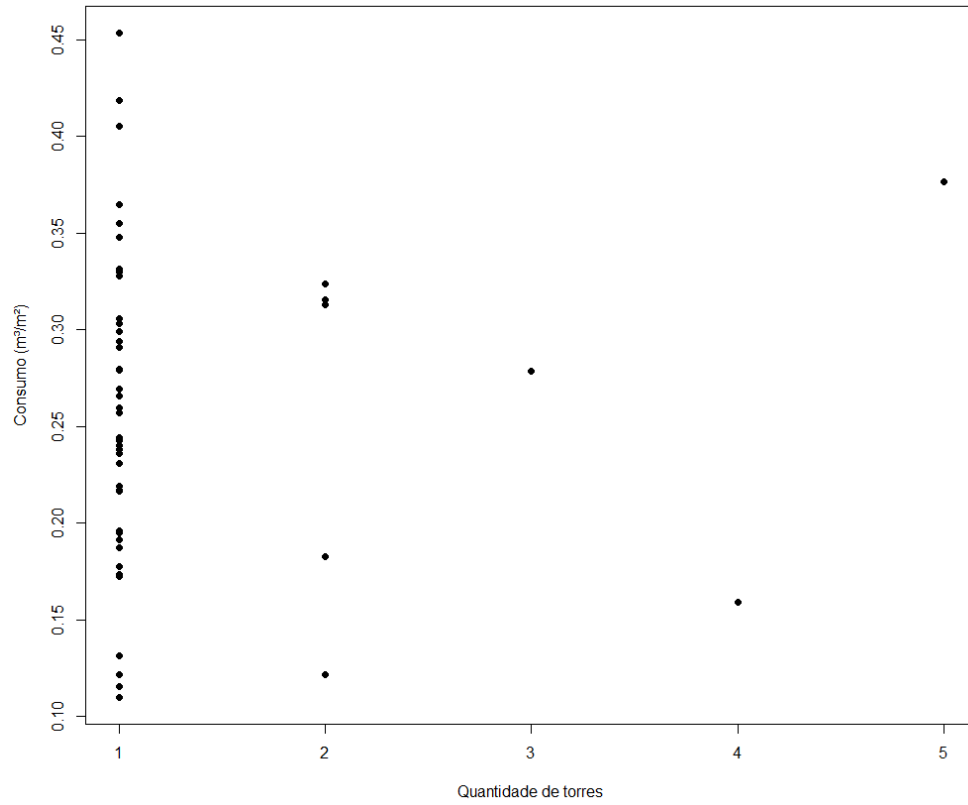
APÊNDICE H

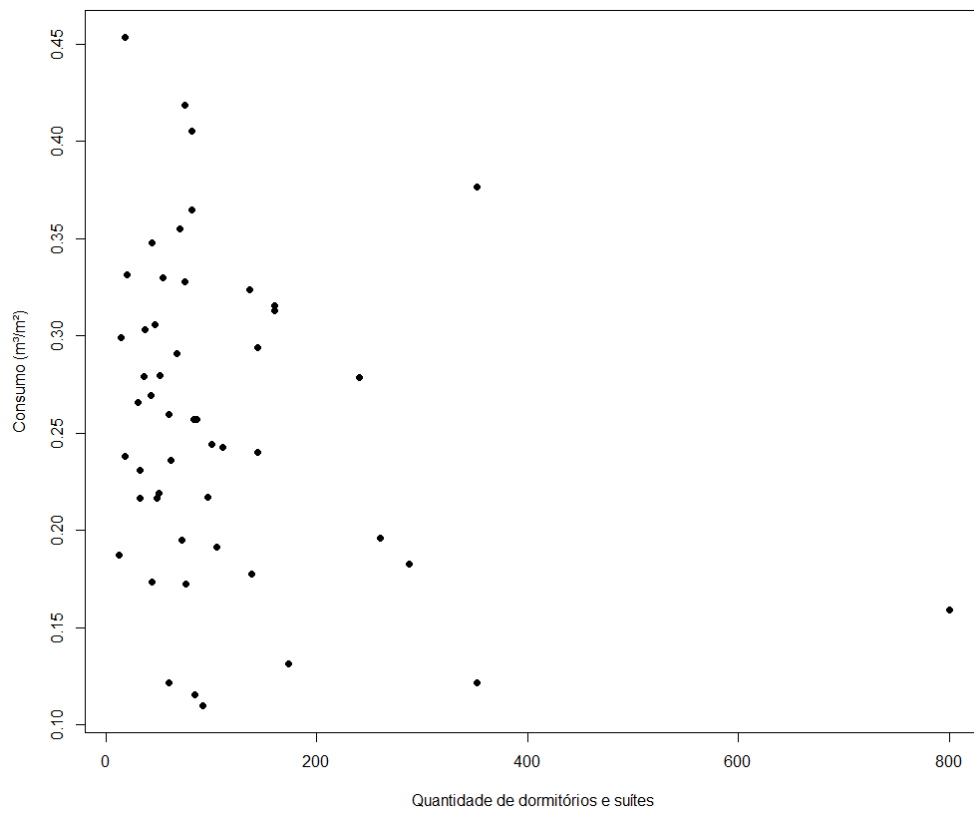
TABELA DE FREQUÊNCIA DA MÉDIA DE COLABORADOS (TERCEIRIZADOS E PRÓPRIOS) MENSAL NA OBRA (50 OBRAS)

Quantidade média mensal de colaboradores	Contagens	% do Total	% acumulada
5	3	6.0 %	6.0 %
6	1	2.0 %	8.0 %
7	2	4.0 %	12.0 %
8	1	2.0 %	14.0 %
10	2	4.0 %	18.0 %
12	2	4.0 %	22.0 %
15	7	14.0 %	36.0 %
16	1	2.0 %	38.0 %
18	1	2.0 %	40.0 %
20	6	12.0 %	52.0 %
25	4	8.0 %	60.0 %
28	1	2.0 %	62.0 %
30	4	8.0 %	70.0 %
35	2	4.0 %	74.0 %
38	1	2.0 %	76.0 %
40	1	2.0 %	78.0 %
45	1	2.0 %	80.0 %
60	2	4.0 %	84.0 %
80	3	6.0 %	90.0 %
90	1	2.0 %	92.0 %
100	2	4.0 %	96.0 %
110	1	2.0 %	98.0 %
190	1	2.0 %	100.0 %

APÊNDICE I

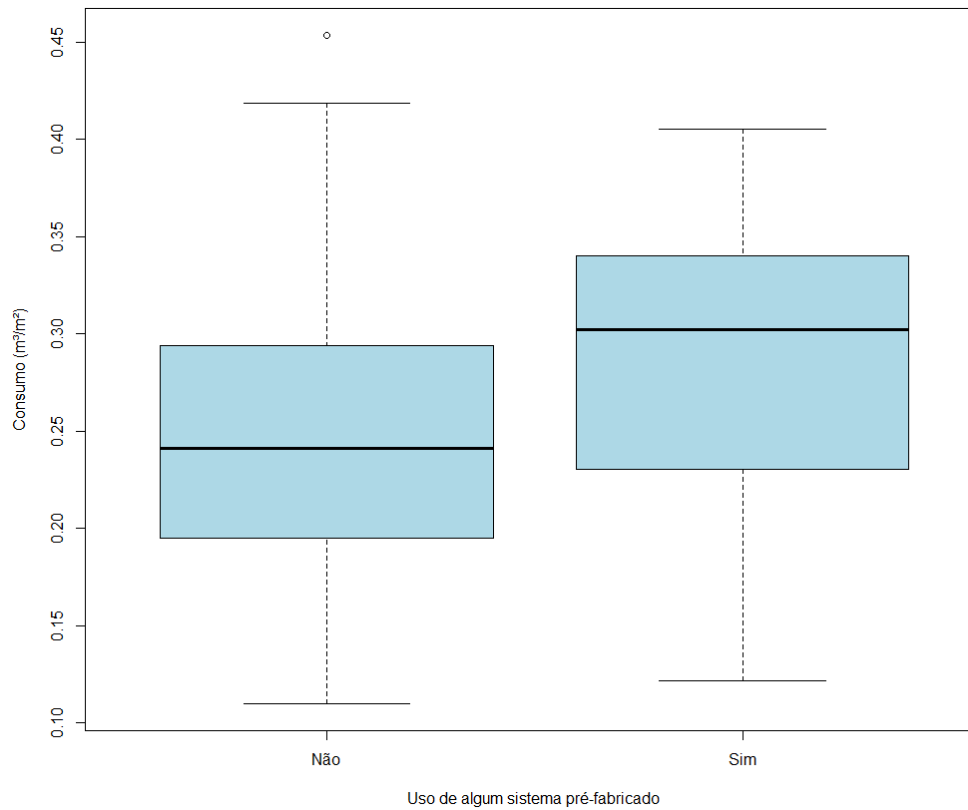
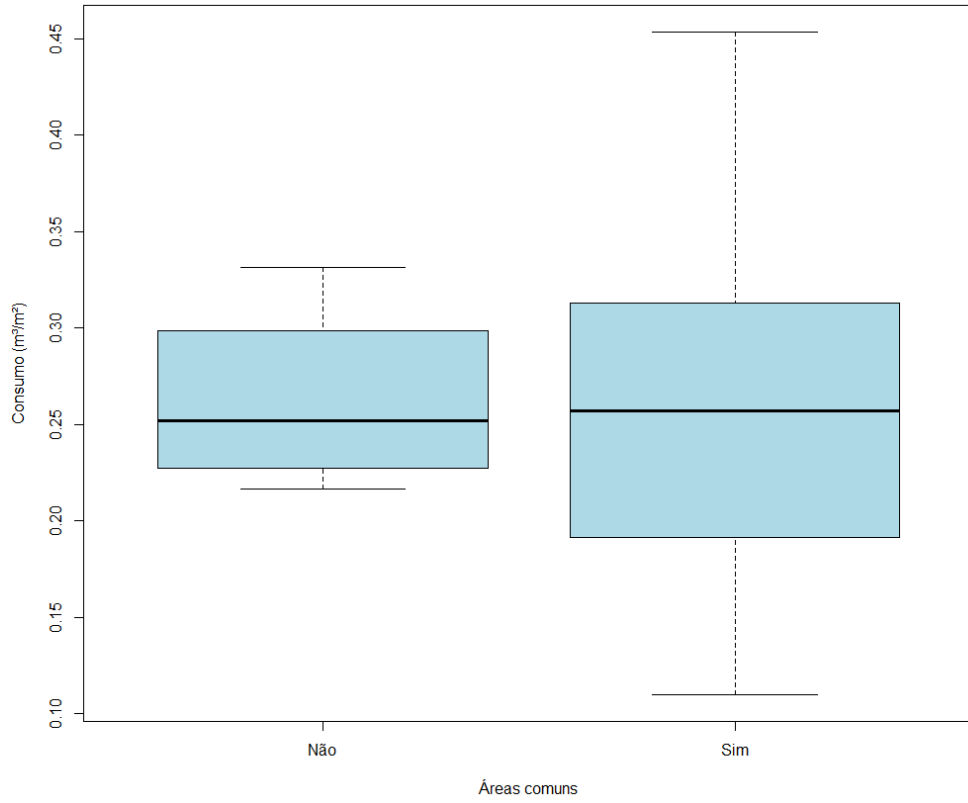
GRÁFICO DE DISPERSÃO ENTRE O INDICADOR DE CONSUMO (M^3/M^2) E VARIÁVEIS QUANTITATIVAS

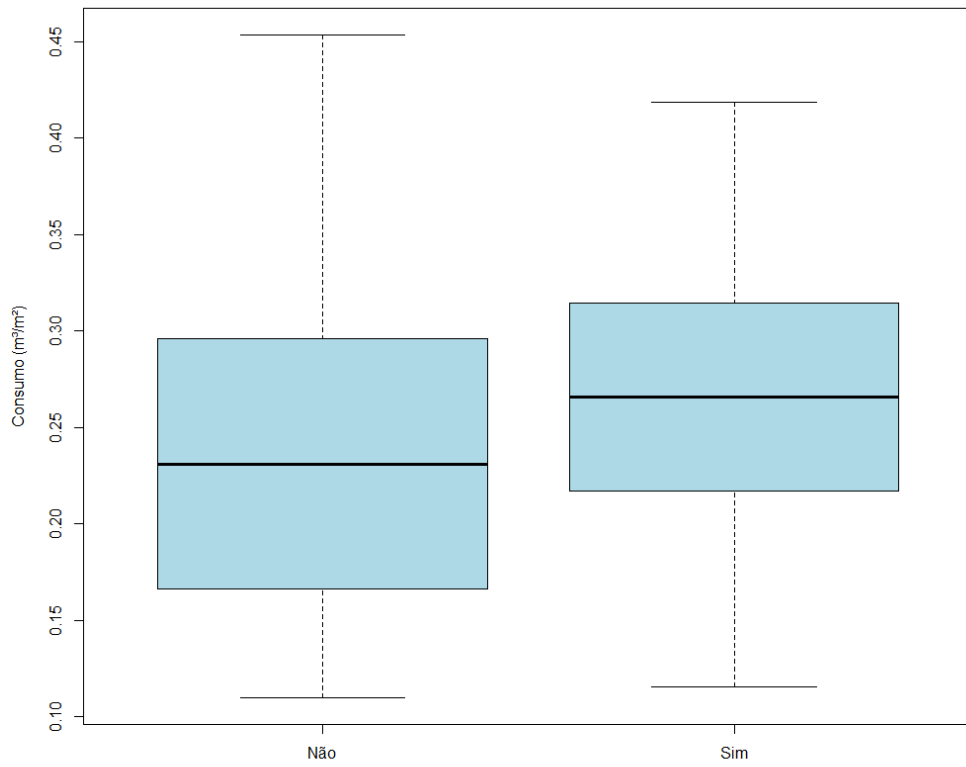




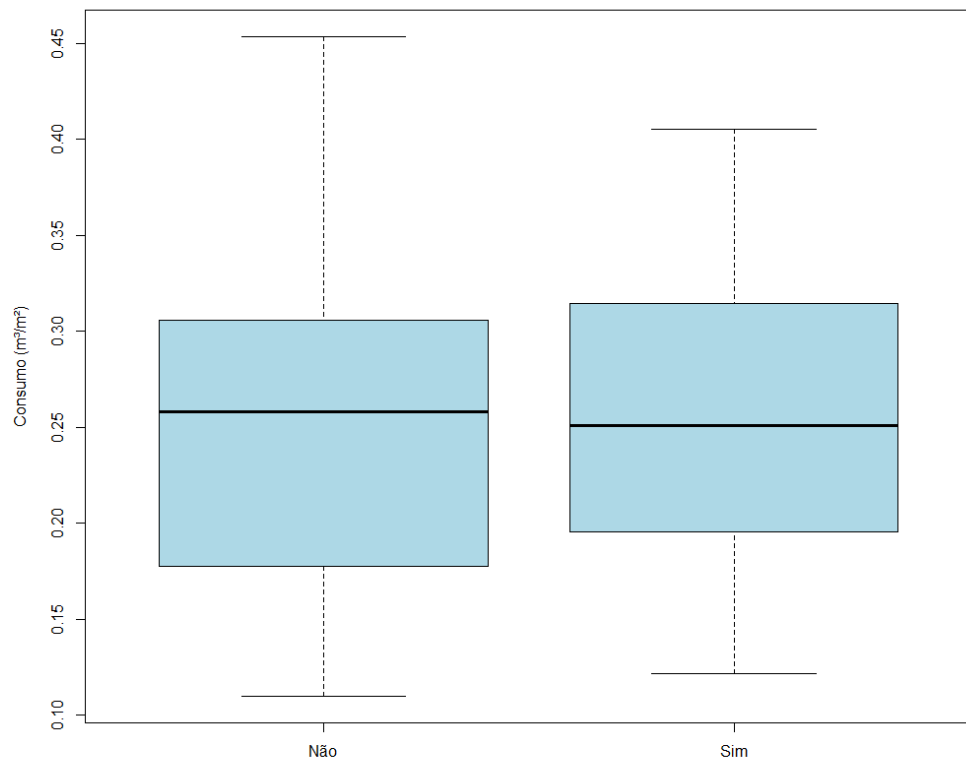
APÊNDICE J

GRÁFICO DE *BOXPLOT* ENTRE O INDICADOR DE CONSUMO (M^3/M^2) E VARIÁVEIS QUALITATIVAS DE 2 CATEGORIAS

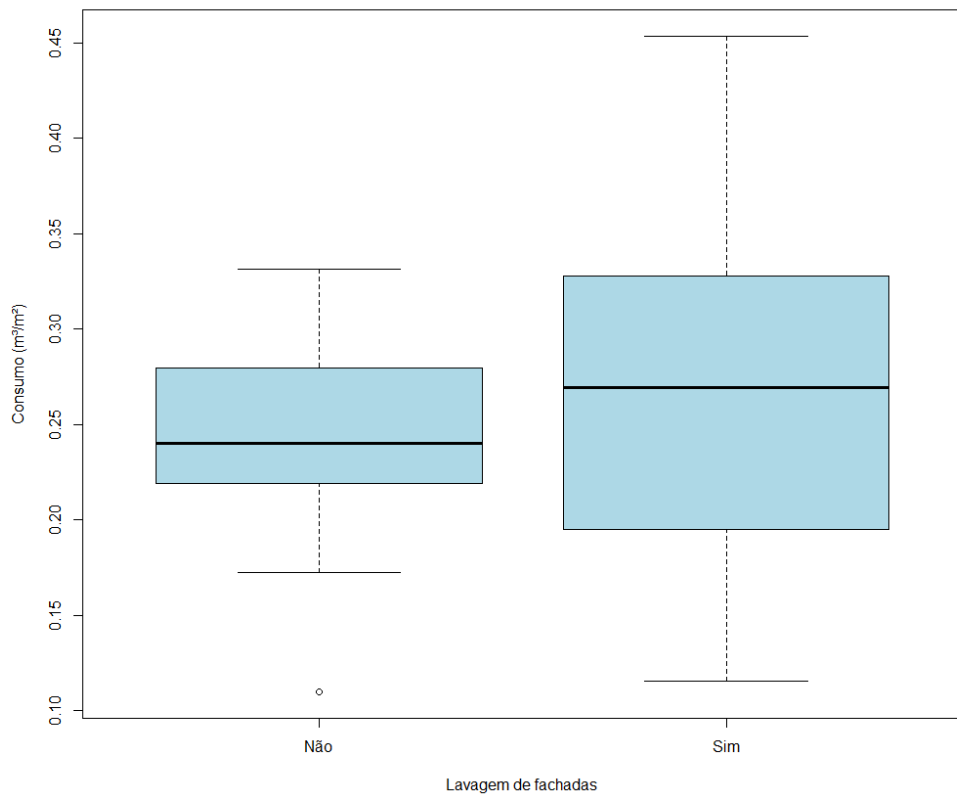
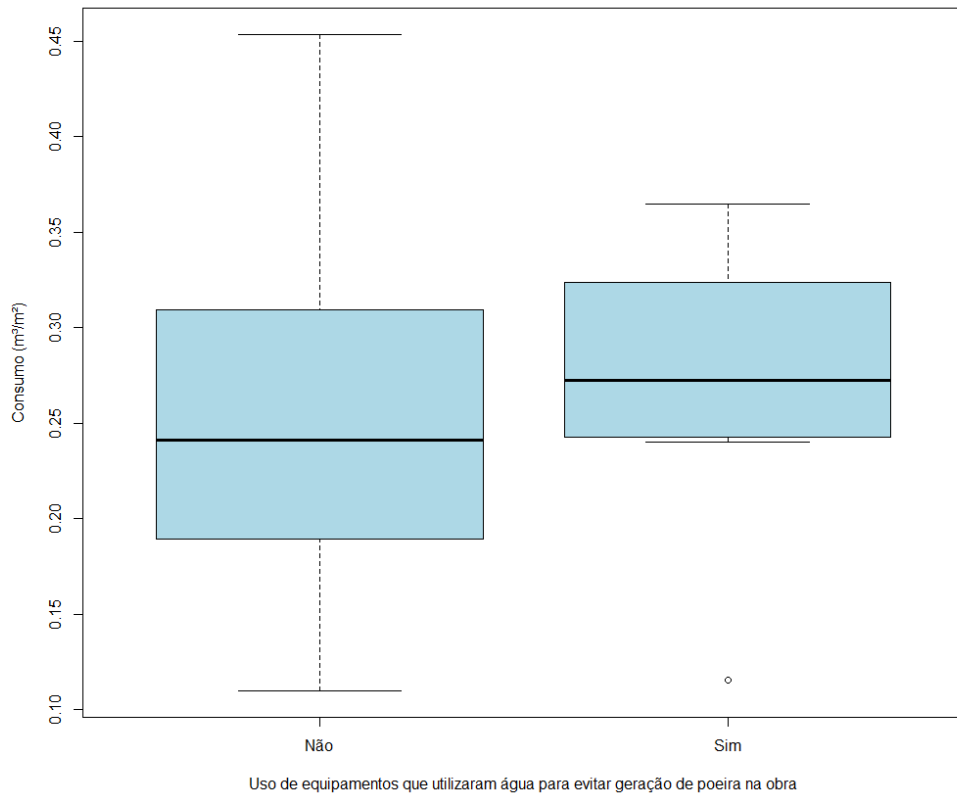


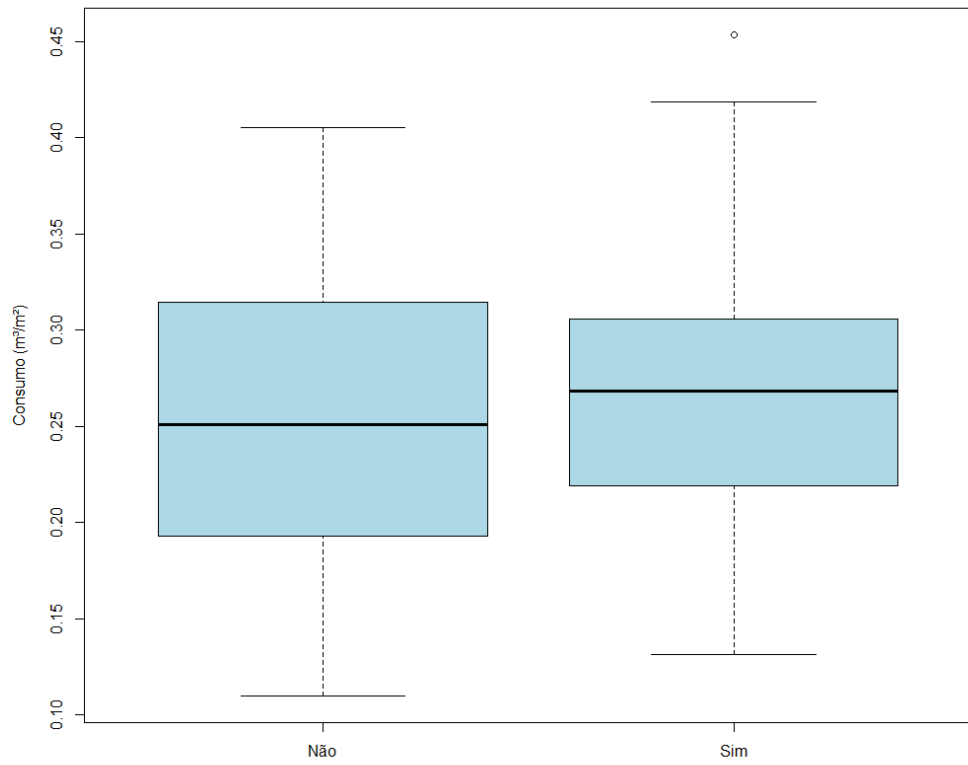


Superfícies que foram molhadas antes da aplicação de revestimentos com argamassa

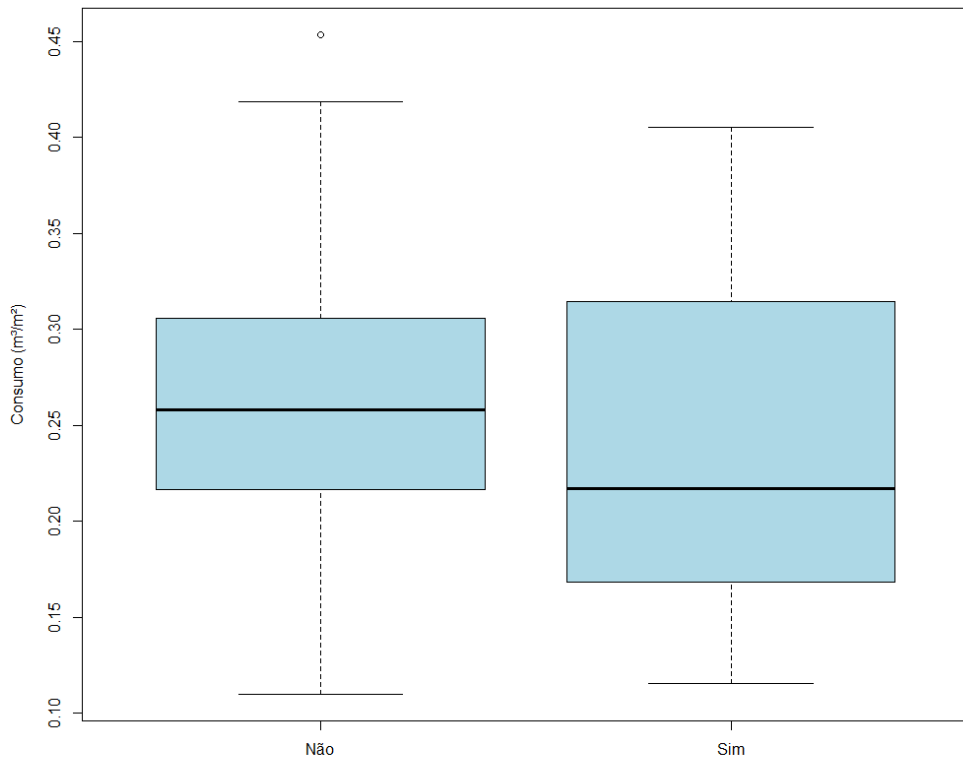


Existência de lava rodas na obra

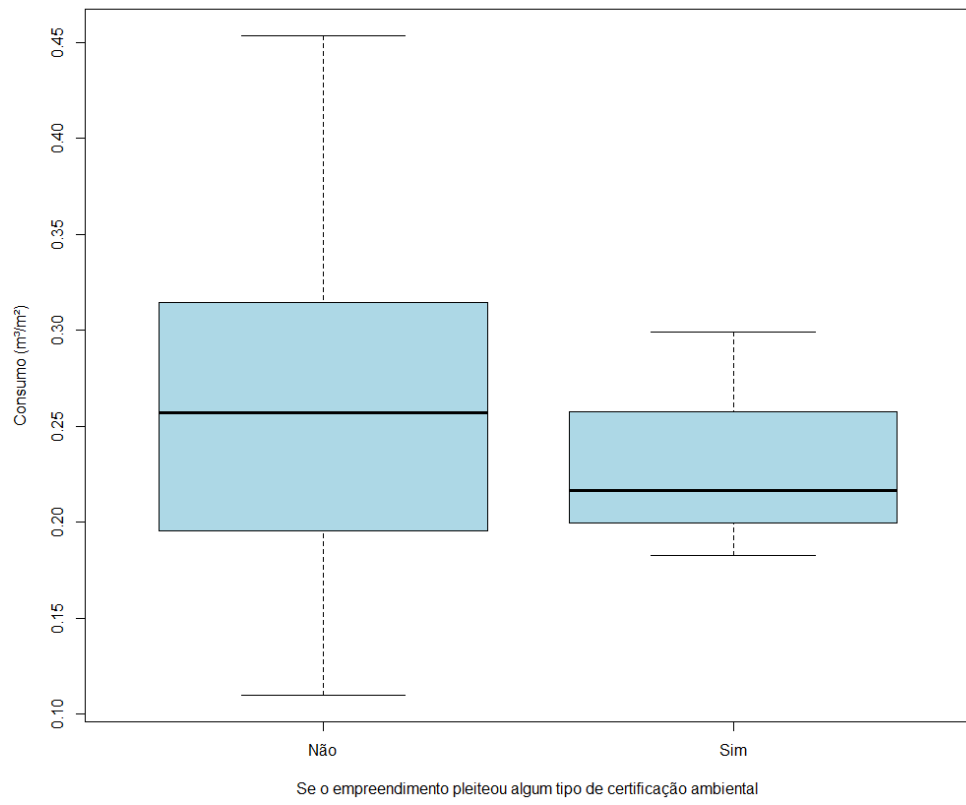




Relato de situações de desperdício de água identificadas durante a construção

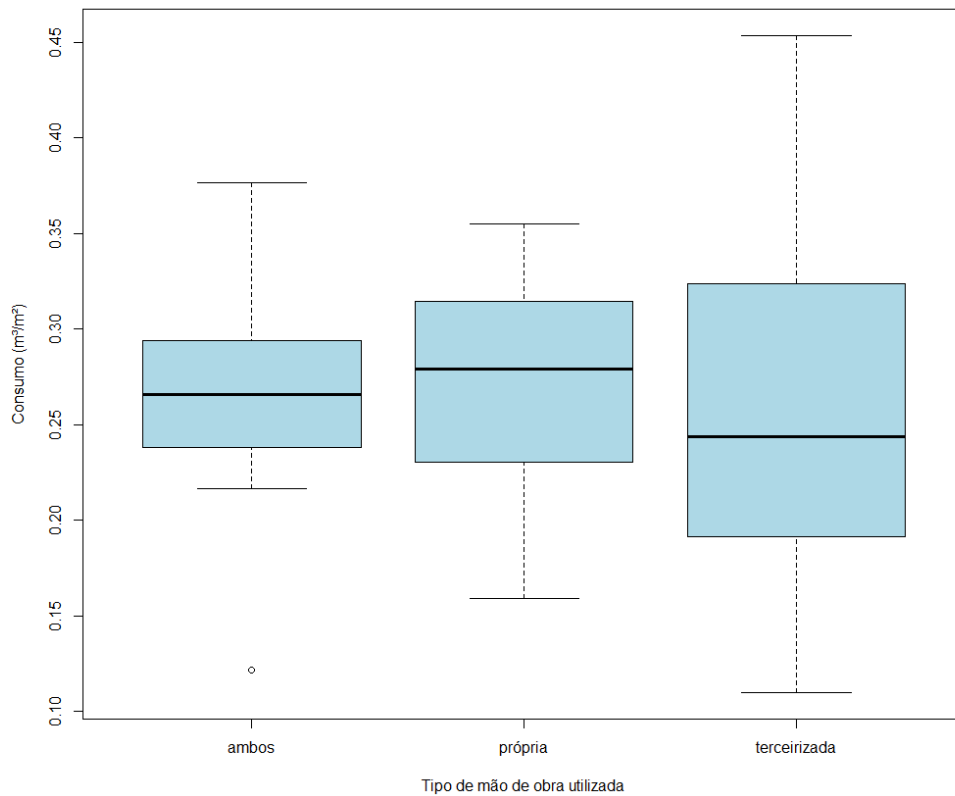
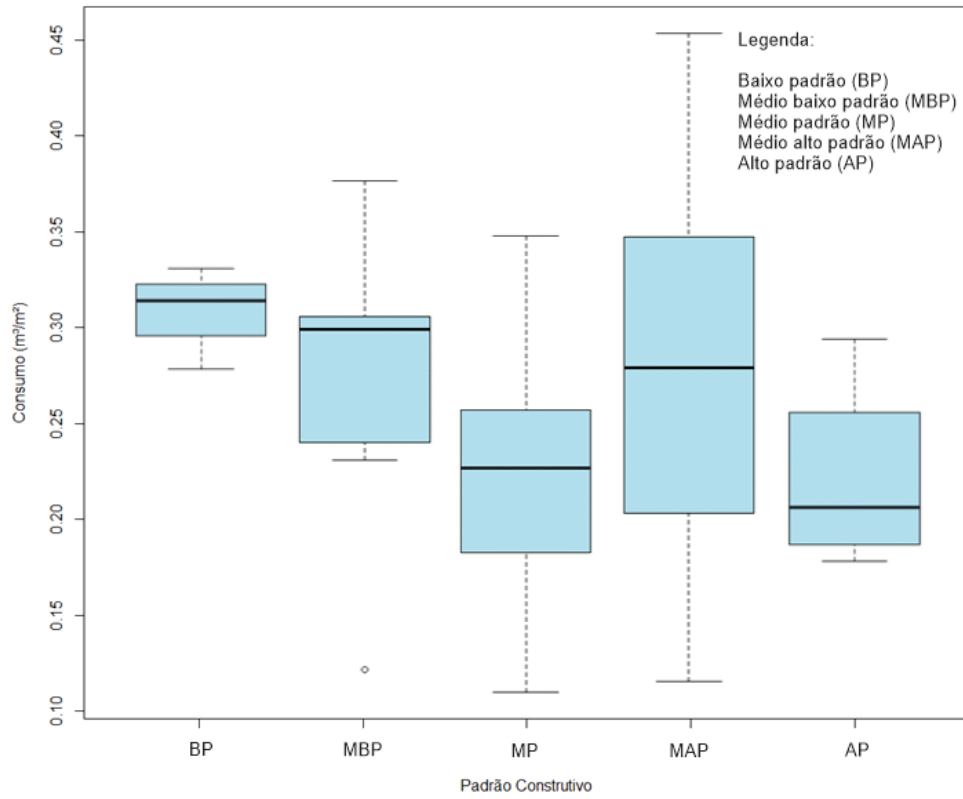


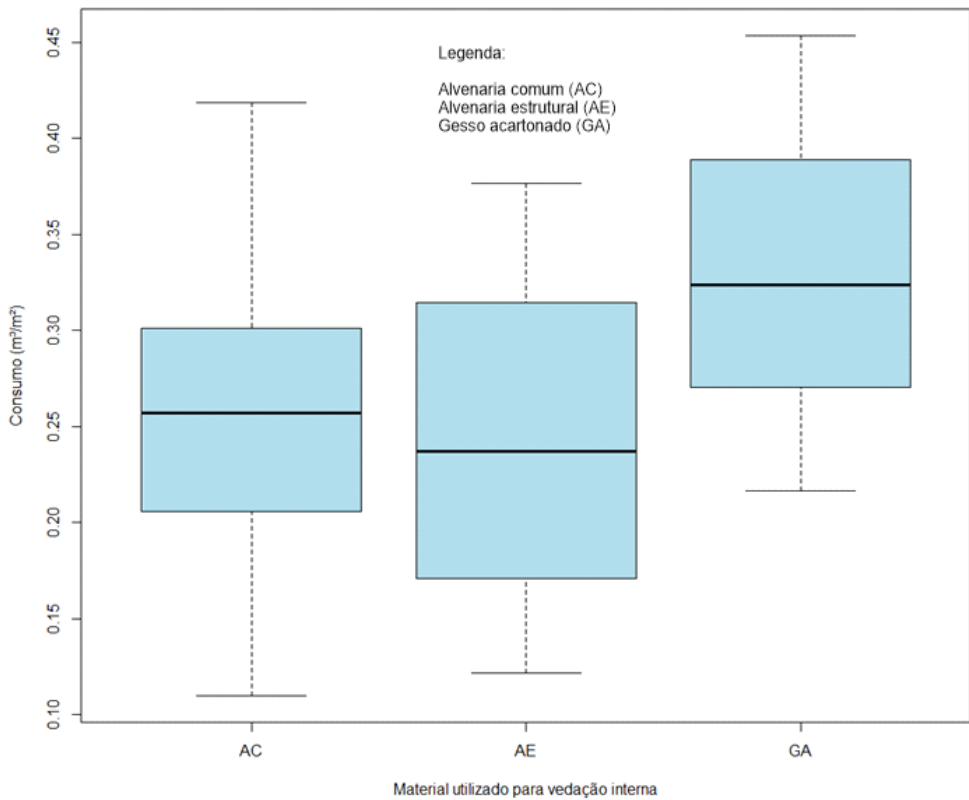
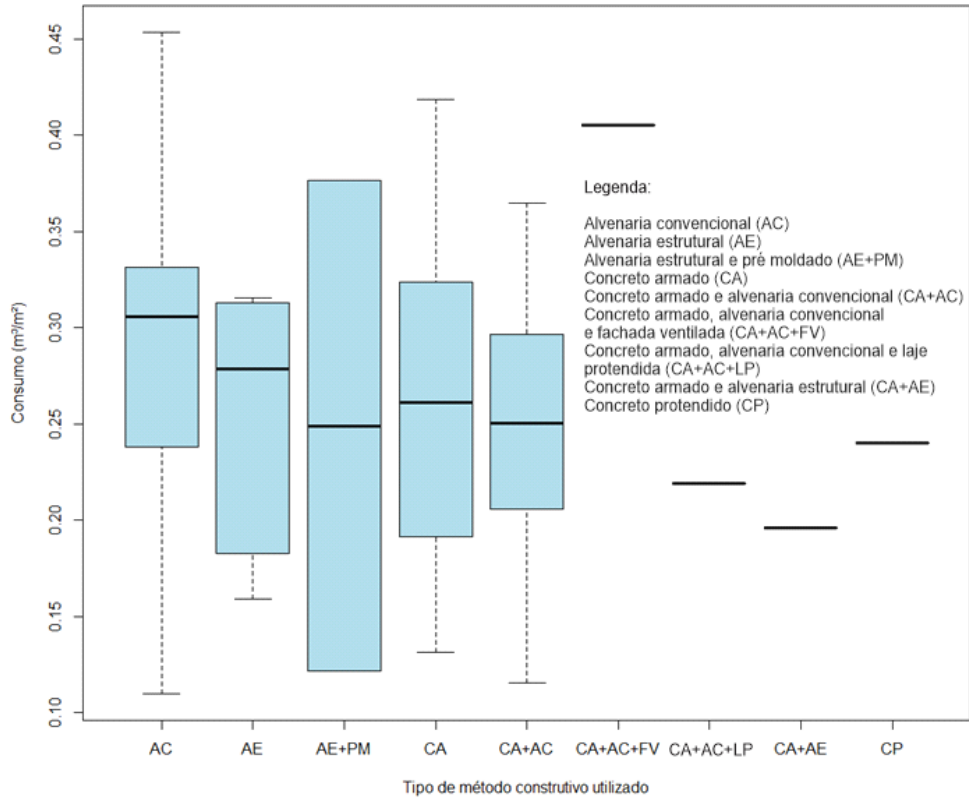
Ação de uso racional de água durante a construção

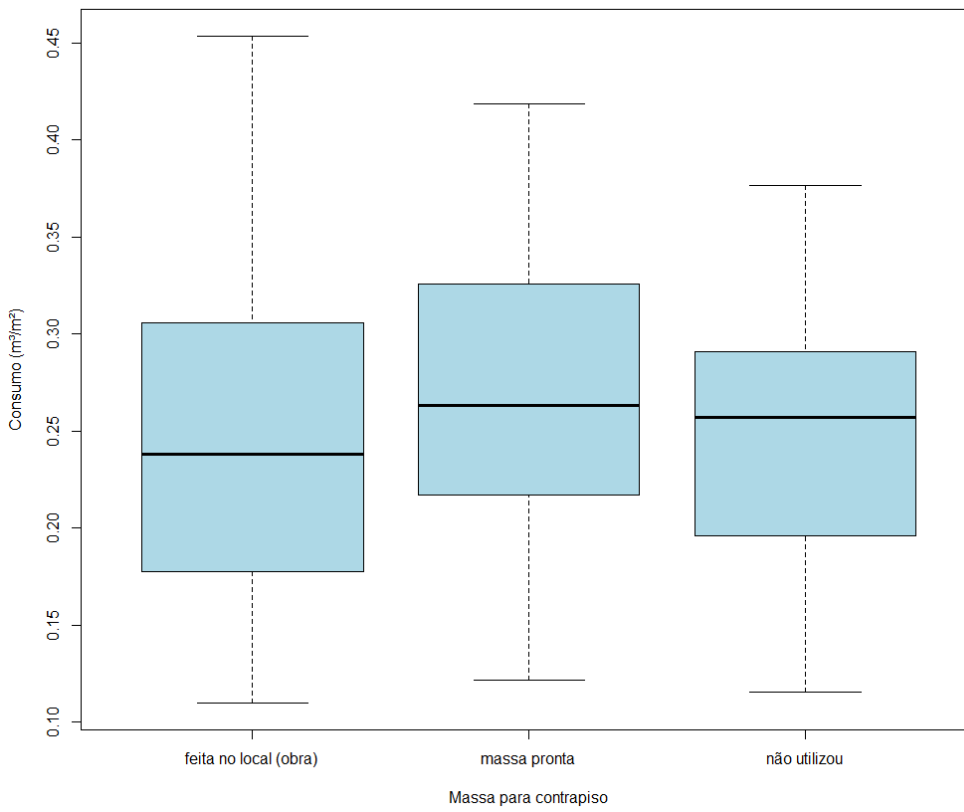
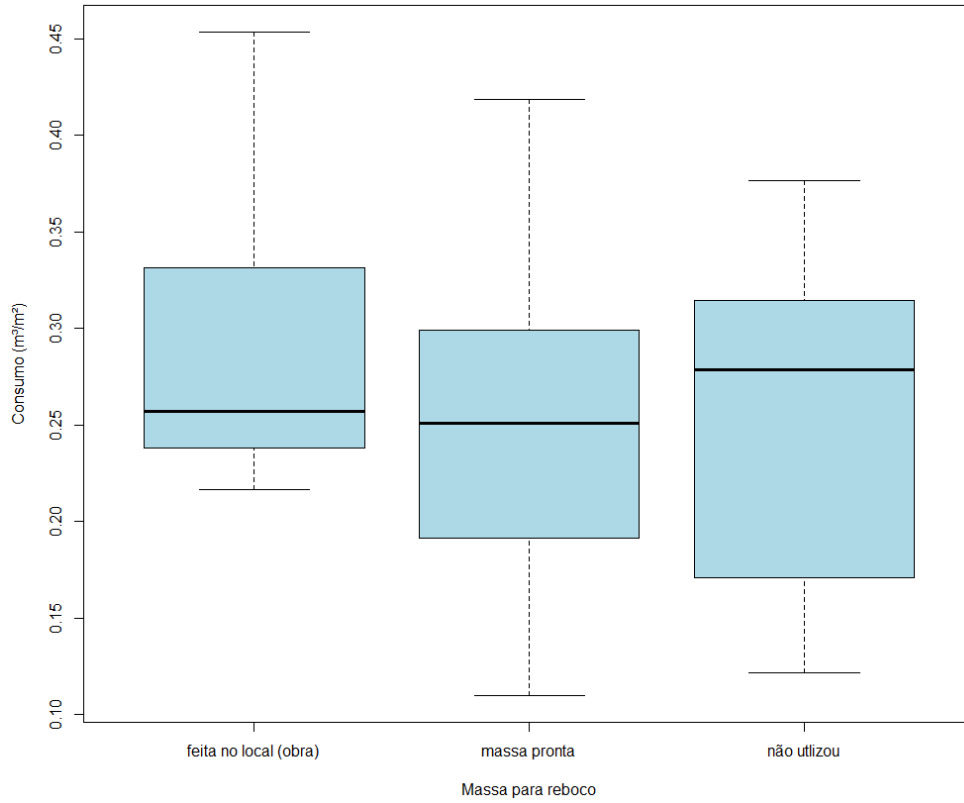


APÊNDICE K

GRÁFICO DE *BOXPLOT* ENTRE O INDICADOR DE CONSUMO (M^3/M^2) E VARIÁVEIS QUALITATIVAS DE 3 OU MAIS CATEGORIAS







APÊNDICE L

TABELA DOS INDICADORES DE CONSUMO DE ÁGUA (M³/M²) DOS VALORES REAIS E PREDITOS COM INTERVALO DE CONFIANÇA DOS 50 CANTEIROS DE OBRAS

ID	Valor real	Valor predito	Intervalo de predição		Erro percentual
			Valor mínimo	Valor máximo	
1	0,4051607	0,3141143	0,161287187	0,4669414	0,224716846
2	0,2690840	0,2467726	0,101295487	0,3922498	0,082915898
3	0,3275808	0,2818027	0,136271151	0,4273342	0,139746159
4	0,2358696	0,2549123	0,109190113	0,4006344	0,080733983
5	0,2940170	0,1996206	0,050052906	0,3491882	0,321057733
6	0,2795267	0,3003646	0,154343410	0,4463859	0,074547215
7	0,1215113	0,2527235	0,107095028	0,3983521	1,079835695
8	0,2988959	0,2654973	0,119036133	0,4119585	0,111739819
9	0,2191476	0,2771779	0,132235776	0,4221200	0,264800194
10	0,2424265	0,2371462	0,091593768	0,3826986	0,021780854
11	0,3647851	0,3383415	0,185491824	0,4911911	0,072491041
12	0,2164286	0,2612590	0,115150503	0,4073676	0,207137479
13	0,3055412	0,2598590	0,113850360	0,4058677	0,149512295
14	0,1098533	0,2423035	0,096840595	0,3877664	1,205700681
15	0,2402075	0,3641799	0,203268823	0,5250910	0,516105608
16	0,2655864	0,3180406	0,170365672	0,4657156	0,197503687
17	0,1723460	0,2458324	0,100365319	0,3912995	0,426388608
18	0,3763550	0,2430106	0,097881391	0,3881398	0,354304959
19	0,1216186	0,2171398	0,067839877	0,3664397	0,785416571
20	0,1960368	0,2352137	0,087762801	0,3826646	0,199844367
21	0,2792761	0,2626608	0,117381721	0,4079399	0,059494072
22	0,1773683	0,1592019	0,001559019	0,3168447	0,102422151
23	0,2379748	0,2637138	0,117410153	0,4100174	0,108158180
24	0,2443726	0,2479890	0,102493223	0,3934848	0,014798858
25	0,3313164	0,2968923	0,150783754	0,4430008	0,103901055
26	0,4187267	0,3047523	0,157564390	0,4519401	0,272192907
27	0,3478800	0,3452022	0,191913238	0,4984912	0,007697417
28	0,4534536	0,2873234	0,141604415	0,4330424	0,366366431
29	0,1731038	0,1965454	0,039716655	0,3533742	0,135419374
30	0,2567500	0,2972408	0,151404635	0,4430771	0,157705346
31	0,1592483	0,1576511	0,022771618	0,3380738	0,010029368
32	0,1823599	0,2099059	0,062015444	0,3577963	0,151052645
33	0,2783697	0,2548114	0,110116508	0,3995064	0,084629272
34	0,3154611	0,2800314	0,135166530	0,4248963	0,112310872
35	0,3130520	0,2720086	0,127293822	0,4167234	0,131107292
36	0,2593701	0,2518188	0,106223030	0,3974146	0,029113836
37	0,3297944	0,2564296	0,110630651	0,4022286	0,222456124
38	0,3547083	0,2145766	0,057323573	0,3718296	0,395061937

39	0,3236963	0,2310814	0,085278647	0,3768842	0,286116508
40	0,2165266	0,2168943	0,069898937	0,3638896	0,001698154
41	0,2907982	0,2517284	0,106135670	0,3973211	0,134353693
42	0,1870349	0,2716495	0,126951852	0,4163472	0,452400359
43	0,1315068	0,1732519	0,016280806	0,3302230	0,317436310
44	0,2309623	0,2942926	0,148454120	0,4401312	0,274201815
45	0,1946702	0,2551532	0,110461985	0,3998445	0,310694655
46	0,2171657	0,2449923	0,099531031	0,3904535	0,128135166
47	0,1153125	0,2084240	0,051437157	0,3654109	0,807471400
48	0,1912364	0,2432447	0,097785920	0,3887035	0,271958548
49	0,3033168	0,2587709	0,112834172	0,4047077	0,146862714
50	0,2569281	0,2701688	0,125144578	0,4151930	0,051534439

ANEXO A

EMIÇÃO DE “HABITE-SE” PELO CORPO DE BOMBEIROS VOLUNTÁRIOS DE JOINVILLE (CBVJ) ENTRE OS ANOS DE 2020 E MAIO DE 2023 DE OBRAS MULTIFAMILIARES VERTICAIS

QTD	BAIRRO	ÁREA CONSTRUÍDA (m ²)	Nº PVTOS	ANO LIBERAÇÃO “HABITE-SE”
1	Costa e Silva	11.365,79	8	2020
2	Costa e Silva	749,73	4	2020
3	Aventureiro	509,04	3	2020
4	Bom Retiro	550,75	3	2021
5	Itaum	585,90	5	2020
6	Comasa	304,87	3	2020
7	Costa e Silva	2.082,58	4	2020
8	Anita Garibaldi	14.976,40	14	2020
9	Floresta	1.445,40	6	2020
10	Costa e Silva	537,57	3	2020
11	Boa Vista	499,17	4	2020
12	Costa e Silva	741,65	5	2020
13	Jardim Paraíso	441,24	4	2022
14	Paranaguamirim	341,20	3	2020
15	Saguaçú	2.447,76	9	2020
16	Saguaçú	4.483,59	14	2020
17	Costa e Silva	576,55	5	2021
18	Costa e Silva	649,94	5	2020
19	Guanabara	891,24	5	2020
20	Aventureiro	6.372,39	7	2020
21	Atiradores	4.504,17	15	2020
22	Santo Antônio	4.536,02	9	2020
23	Vila Nova	830,52	5	2020
24	Costa e Silva	594,00	3	2020
25	Aventureiro	565,85	5	2020
26	Bucarein	3.541,39	8	2020
27	Aventureiro	835,40	5	2020
28	Nova Brasília	674,17	3	2020
29	Iriú	507,91	4	2020
30	Santo Antônio	7.767,91	10	2020
31	Aventureiro	531,59	3	2020
32	Boa Vista	537,29	4	2020
33	Comasa	907,60	4	2020
34	Costa e Silva	691,25	5	2020
35	Costa e Silva	1.047,31	5	2020
36	Adhemar Garcia	472,15	3	2020
37	América	14.608,64	20	2020
38	Saguaçú	3.422,87	6	2020
39	Santo Antônio	4.705,65	10	2020

40	Itinga	382,68	2	2020
41	Floresta	749,92	4	2020
42	Guanabara	1.054,58	6	2021
43	Saguaçú	1.638,63	6	2020
44	Costa e Silva	722,76	5	2020
45	Costa e Silva	627,22	5	2021
46	Bom Retiro	998,18	4	2020
47	Costa e Silva	492,14	4	2020
48	Vila Nova	741,02	3	2020
49	América	2.033,48	5	2020
50	Comasa	575,58	3	2020
51	Costa e Silva	1.480,43	5	2020
52	Costa e Silva	1.999,02	10	2021
53	Atiradores	2.056,59	5	2021
54	Boa Vista	626,70	4	2020
55	Costa e Silva	1.626,10	7	2020
56	Vila Nova	1.337,63	5	2020
57	Aventureiro	597,06	5	2020
58	América	7.420,29	11	2021
59	Iriú	719,04	4	2020
60	Anita Garibaldi	7.866,51	12	2021
61	Vila Nova	1.213,54	5	2020
62	Santo Antônio	2.968,43	8	2020
63	Santo Antônio	619,09	3	2021
64	Iriú	1.107,71	4	2022
65	Vila Nova	495,90	4	2021
66	Iriú	816,89	4	2021
67	Iriú	783,34	4	2021
68	Aventureiro	328,80	3	2021
69	Bom Retiro	353,65	2	2022
70	Comasa	598,00	4	2021
71	Jardim Iriú	523,92	3	2021
72	Aventureiro	2.376,70	5	2021
73	Morro do Meio	562,13	3	2021
74	Bucarein	35.629,90	13	2021
75	Santo Antônio	5.827,19	10	2021
76	Anita Garibaldi	3.853,07	10	2021
77	Fátima	676,23	3	2021
78	Iriú	749,90	4	2021
79	Anita Garibaldi	7.866,51	12	2021
80	Comasa	423,85	3	2021
81	Santo Antônio	1.042,12	4	2021
82	Aventureiro	977,11	4	2021
83	Boa Vista	6.428,75	10	2021
84	Aventureiro	874,96	4	2021
85	Aventureiro	358,77	3	2021

86	Floresta	4.189,36	8	2021
87	Centro	5.831,65	11	2021
88	Bom Retiro	737,45	3	2021
89	Boa Vista	276,93	3	2021
90	Costa e Silva	12.465,79	10	2021
91	Santo Antônio	1.657,35	6	2021
92	Bom Retiro	768,96	5	2021
93	Costa e Silva	3.536,29	10	2021
94	São Marcos	311,95	2	2023
95	Costa e Silva	1.042,84	4	2021
96	Costa e Silva	492,14	4	2021
97	América	3.420,57	9	2021
98	Costa e Silva	799,55	5	2021
99	Iriú	865,25	4	2021
100	Vila Nova	512,21	4	2021
101	Aventureiro	550,72	4	2022
102	Petrópolis	679,30	4	2021
103	Jardim Iriú	681,69	5	2021
104	Costa e Silva	3.809,69	10	2021
105	Iriú	586,83	5	2021
106	Floresta	2.018,99	7	2021
107	Costa e Silva	1.099,94	4	2021
108	Costa e Silva	1.668,70	5	2021
109	Santo Antônio	5.379,40	11	2021
110	Petrópolis	1.759,55	5	2021
111	Saguaçu	2.905,86	7	2021
112	Aventureiro	887,10	5	2021
113	Iriú	610,84	3	2021
114	Boa Vista	1.985,02	4	2021
115	Iriú	1.366,42	5	2021
116	Costa e Silva	639,15	4	2022
117	Santo Antônio	549,02	3	2021
118	Atiradores	4.115,42	6	2021
119	Floresta	1.410,41	3	2022
120	Glória	1.469,35	5	2021
121	Bucarein	1.495,28	6	2021
122	Iriú	854,83	3	2021
123	Costa e Silva	675,00	3	2021
124	Costa e Silva	598,25	5	2021
125	Iriú	648,68	5	2021
126	Vila Nova	742,54	4	2021
127	Costa e Silva	3.330,63	7	2021
128	Costa e Silva	637,94	5	2021
129	Santo Antônio	424,28	3	2021
130	Floresta	1.942,52	5	2021
131	Bom Retiro	6.820,58	10	2022

132	Atiradores	21.511,10	16	2022
133	Costa e Silva	3.442,25	9	2021
134	Boa Vista	494,15	4	2022
135	Santo Antônio	7.308,12	10	2022
136	Anita Garibaldi	6.733,94	12	2022
137	Iriú	413,99	3	2022
138	Glória	1.702,71	5	2022
139	Jarivatuba	584,79	5	2022
140	Costa e Silva	854,37	4	2022
141	João Costa	6.218,35	5	2022
142	Aventureiro	728,38	4	2022
143	Costa e Silva	611,34	5	2022
144	América	7.666,16	12	2022
145	Costa e Silva	867,62	5	2022
146	Vila Nova	714,85	5	2022
147	Vila Nova	639,71	3	2022
148	Costa e Silva	1.392,23	5	2022
149	Costa e Silva	10.800,04	10	2022
150	América	6.498,06	8	2022
151	Vila Nova	1.344,31	5	2022
152	Adhemar Garcia	3.828,58	5	2022
153	Comasa	1.122,33	5	2023
154	Nova Brasília	614,35	3	2022
155	Boa Vista	874,77	4	2022
156	Guanabara	872,55	4	2022
157	Saguaçu	12.404,04	9	2022
158	Vila Nova	611,16	5	2022
159	Espinheiros	579,55	3	2022
160	Iriú	709,95	5	2022
161	Bom Retiro	683,85	3	2022
162	Santo Antônio	3.500,75	9	2022
163	Floresta	533,54	4	2022
164	Bom Retiro	1.463,21	5	2022
165	João Costa	713,07	4	2022
166	Costa e Silva	1.390,19	5	2022
167	Centro	15.101,10	13	2022
168	Boa Vista	479,44	3	2022
169	Comasa	664,20	5	2023
170	Iriú	673,58	5	2022
171	Bom Retiro	746,00	3	2022
172	Bom Retiro	746,00	3	2022
173	Costa e Silva	1.736,80	7	2022
174	Bom Retiro	1.708,83	5	2022
175	Saguaçu	8.592,29	14	2022
176	Centro	34.173,53	20	2022
177	Aventureiro	491,81	4	2022

178	Itaum	629,42	6	2022
179	Iriú	839,30	4	2022
180	América	2.494,54	10	2022
181	Costa e Silva	3.229,21	7	2022
182	Bom Retiro	824,60	3	2022
183	Itaum	2.532,60	5	2022
184	Saguaçu	2.476,17	8	2022
185	América	826,34	5	2022
186	Aventureiro	586,56	5	2022
187	Fátima	946,15	4	2022
188	Costa e Silva	4.243,52	10	2022
189	Espinheiros	592,86	3	2022
190	Aventureiro	1.674,34	4	2022
191	Fátima	970,30	4	2022
192	Comasa	1.826,98	5	2023
193	Bom Retiro	409,49	3	2022
194	Anita Garibaldi	5.658,16	11	2022
195	Costa e Silva	3.167,81	10	2022
196	Costa e Silva	1.876,29	4	2022
197	Costa e Silva	2.422,56	9	2022
198	Costa e Silva	8.695,08	10	2022
199	Costa e Silva	732,34	5	2022
200	Anita Garibaldi	10.906,56	15	2022
201	América	6.318,03	12	2022
202	Aventureiro	448,49	3	2023
203	Jardim Iriú	682,56	3	2022
204	Aventureiro	692,94	5	2023
205	Anita Garibaldi	5.503,13	14	2023
206	Anita Garibaldi	6.566,94	16	2023
207	Bom Retiro	6.839,92	8	2023
208	Bom Retiro	368,19	3	2023
209	Santo Antônio	1.261,63	6	2023
210	Pirabeiraba	660,79	3	2023
211	Bom Retiro	749,34	4	2023
212	Saguaçu	713,53	3	2023
213	Anita Garibaldi	6.447,97	12	2023
214	Anita Garibaldi	1.933,16	6	2023
215	Parque Guarani	8.747,06	5	2023
216	Saguaçu	16.684,66	11	2023
217	Iriú	1.291,32	5	2023
218	Iriú	507,25	4	2023
219	Nova Brasília	931,28	4	2023
220	Glória	763,74	4	2023
221	Anita Garibaldi	13.854,54	15	2023
222	Saguaçu	6.157,52	7	2023
223	Costa e Silva	1.753,79	7	2020

224	Costa e Silva	734,59	5	2020
225	Aventureiro	749,81	4	2020
226	Parque Guarani	3.314,80	7	2020
227	Aventureiro	407,62	3	2020
228	América	575,01	4	2021

Fonte: Corpo de Bombeiros Voluntários de Joinville (2023)