

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES DE ENSINO NO  
CAMPUS DARCY RIBEIRO - UNB**

**VINÍCIUS OLIVEIRA ROCHA**

**ORIENTADOR: ARTHUR TAVARES SCHLEICHER**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL EM ENGENHARIA  
CIVIL II**

**BRASÍLIA/DF: NOVEMBRO/2021**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E  
AMBIENTAL**

**CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES DE ENSINO NO  
CAMPUS DARCY RIBEIRO - UNB**

**VINÍCIUS OLIVEIRA ROCHA**

**MONOGRAFIA DE PROJETO FINAL SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.**

**APROVADA POR:**

---

**ARTHUR TAVARES SCHLEICHER, Msc (ENC - UnB)  
(ORIENTADOR)**

---

**CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE ALVES, PhD (ENC - UnB)  
(EXAMINADORA INTERNA)**

---

**DANIEL RICHARD SANT'ANA, PhD (FAU - UnB)  
(EXAMIDANOR EXTERNO)**

**DATA: BRASÍLIA/DF, 5 DE NOVEMBRO DE 2021.**

## FICHA CATALOGRÁFICA

ROCHA, VINÍCIUS

CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES DE ENSINO NO CAMPUS DARCY RIBEIRO - UNB.

xi, 72 p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2021)

Monografia de Projeto Final – Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. CONSUMO DE ÁGUA

2. PERDAS NAS INSTALAÇÕES

3. REGRESSÃO LINEAR

4. PRESSÃO EM EDIFICAÇÕES

I. ENC/FT/UnB

II. Título (bacharel)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ROCHA, V. O. (2021). *CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES DE ENSINO NO CAMPUS DARCY RIBEIRO - UNB*. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 72 p.

## CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Vinícius Oliveira Rocha

TÍTULO: Consumo de água em edificações de ensino no Campus Darcy Ribeiro – UnB.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil/ 2021

É concedida à Universidade de Brasília a permissão para reproduzir cópias desta monografia de Projeto Final e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte desta monografia de Projeto Final pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

---

Vinícius Oliveira Rocha  
viniciusrochao04@gmail.com

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço à Dona Ceíça e Seu Zé por me proporcionarem a oportunidade de seguir meu trajeto com a tranquilidade de quem sabe que tem a quem recorrer ao se deparar com qualquer problema. Sem o amor e carinho desses, a vida não teria a mesma leveza.*

*Ao meu irmão Daniel por sempre me dar uma mãozinha quando preciso.*

*À toda minha família que desde a minha infância me ensinou o que é união, amizade e afeto.*

*Aos grandes amigos que fiz durante essa graduação que foram capazes de transformar momentos simples desses anos em memórias inesquecíveis.*

*Aos amigos que me acompanham por longos anos e nunca deixaram de me apoiar.*

*A todos que passaram e me influenciaram positivamente durante esse período.*

*À Universidade de Brasília por me moldar como engenheiro e ajudar a desenvolver minha consciência sobre meus ideais e minha posição no mundo.*

*A todos os professores com os quais tive o prazer de aprender, em especial ao meu orientador Arthur pela parceria durante a realização desse projeto.*

## RESUMO

O consumo de água nos edifícios é modificado de acordo com diferentes variáveis como as relacionadas às características culturais locais, à destinação do espaço e sua composição física e à quantidade de frequentadores do local. Dada a importância da água, é relevante que sejam realizadas análises qualitativas e quantitativas do consumo para o entendimento dele, a mitigação de ineficiências do sistema hidráulico e projeções futuras do consumo.

A análise descritiva do estudo foi realizada com base nas informações históricas de consumo disponibilizadas pela Prefeitura do Campus para os anos de 2015 a 2019, período no qual havia funcionamento pleno das edificações - antes da pandemia de COVID-19. Além disso, a análise foi endossada por dados obtidos em campo para consumo - por meio de balanço hídrico realizado durante uma semana no mês de setembro/2020 com duas coletas diárias - e pressão, com monitoramento em dois dias distintos separados por 7 dias (outubro/2020) utilizando manômetros de registro instantâneo. Para a análise quantitativa, optou-se por investigar a existência de regressão linear entre algumas das variáveis mais relevantes para o consumo de água e o consumo observado nas edificações de ensino pelo método de regressão dos mínimos quadrados para equações lineares.

Constatou-se que as pressões nos edifícios estão altas, mas ainda dentro do recomendado pela NBR 5626/2020, como esperado para período com baixo consumo, e a relevância do sistema de abastecimento indireto para não haver a propagação dos problemas gerados por pressões elevadas para as instalações hidráulicas prediais. Ademais, foram observados indícios de perdas de água nas instalações do Pavilhões Anísio Teixeira e João Calmon pela comparação entre consumo histórico de água e os volumes medidos em campo, uma vez que durante o ensino remoto apresentaram médias de consumo superiores aos anos com aulas presenciais. As regressões lineares não geraram coeficientes de determinação satisfatórios, de modo a indicar que há a necessidade de se utilizar métodos multivariados a fim de se obter uma equação representativa para consumo de água em edificações de ensino.

Palavras-chave: Consumo de água; Perda de água em instalações hidráulicas; Pressão; Regressão linear.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>2</b>
2.1. OBJETIVO GERAL.....	2
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..3</b>	
3.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	3
3.2. INSTALAÇÕES PREDIAIS .....	4
3.3. CONSUMO DE ÁGUA .....	7
3.4. PERDAS .....	11
3.5. HISTÓRICO DE TRABALHOS SOBRE CONSUMO DE ÁGUA NO CAMPUS DARCY RIBEIRO - UNB .....	14
<b>4. METODOLOGIA.....</b>	<b>17</b>
4.1. OBJETO DE ESTUDO .....	17
4.2. DADOS.....	21
4.3. ESTATÍSTICA DESCRITIVA.....	23
4.3.1. FERRAMENTA BOXPLOT PARA ORGANIZAÇÃO DE DADOS.....	23
4.4. REGRESSÃO LINEAR ENTRE CONSUMO DE ÁGUA E SUAS VARIÁVEIS	25
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>27</b>
5.1. PRESSÕES OBTIDAS EM CAMPO .....	27
5.2. CONSUMO DE ÁGUA HISTÓRICO E CONSUMO OBTIDO EM CAMPO.....	29
5.3. CONSUMO HISTÓRICO DE ÁGUA E REGRESSÃO LINEAR ENTRE O CONSUMO E SUAS VARIÁVEIS .....	36
<b>6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>46</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>48</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Esquema de abastecimento de água pela rede pública (Veról <i>et al.</i> , 2021). .....	5
Figura 3.2 Esquema do sistema direto de água. A, Sistema direto sem bombeamento. B, Sistema direto com bombeamento (Veról <i>et al.</i> , 2021). .....	6
Figura 3.3 Esquema do sistema indireto de água. A, Sistema indireto sem bombeamento. B, Sistema indireto com bombeamento. C, Sistema indireto com reservatório inferior e superior com bombeamento (Veról <i>et al.</i> , 2021).....	6
Figura 3.4 Esquema do sistema indireto hidropneumático de água. A, Sistema indireto hidropneumático sem bombeamento. B, Sistema indireto hidropneumático com bombeamento. C, Sistema indireto hidropneumático com reservatório inferior e superior com bombeamento (Veról <i>et al.</i> , 2021).....	7
Figura 3.5 Volume consumido anual por categoria no Distrito Federal (Adasa, 2021). .....	9
Figura 3.6 Consumo médio anual de água por região administrativa (Adasa, 2021).....	10
Figura 3.7 Consumo anual de água por estabelecimentos de ensino públicos (Adasa, 2021). .....	11
Figura 3.8 Mapa de índice de perdas na distribuição (IN049) em 2019. (SNIS – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto).....	13
Figura 3.9 Determinação do nível eficiente de perdas. (United States Environmental Protection Agency - Control and mitigation of drinking water losses in distribution systems) .....	14
Figura 4.1 Mapa do Campus Darcy Ribeiro. (Universidade de Brasília) .....	17
Figura 4.2 Localização do Pavilhão João Calmon (Google Earth, 2021). .....	18
Figura 4.3 Localização do Pavilhão Anísio Teixeira (Google Earth, 2021). .....	18
Figura 4.4 Localização do Bloco de Salas de Aula Norte (Google Earth, 2021).....	19
Figura 4.5 Localização do Bloco de Salas de Aula Sul (Google Earth, 2021).....	20
Figura 4.6 Manômetro Registrador (Fonte: ZURICH - Manual Z.10.) .....	21
Figura 4.7 Representação das informações do <i>Boxplot</i> . (Neto <i>et al.</i> , 2017) .....	24
Figura 5.1 Pressão da torneira de jardim externa do BSAS – Leitura 1. ....	28
Figura 5.2 Pressão da torneira de jardim externa do BSAS – Leitura 2. ....	28
Figura 5.3 Boxplot do volume de água consumido no Pavilhão João Calmon nos anos de 2015 a 2019. ....	29
Figura 5.4 Boxplot do volume de água consumido no Pavilhão Anísio Teixeira nos anos de 2015 a 2019. ....	30

Figura 5.5 Boxplot do volume de água consumido no Bloco de Salas de Aula Norte nos anos de 2016 a 2019.....	30
Figura 5.6 Boxplot do volume de água consumido no Bloco de Salas de Aula Sul nos anos de 2015 a 2019.....	31
Figura 5.7 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários - 2017.....	37
Figura 5.8 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários - 2019.....	37
Figura 5.9 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários - 2017. ....	38
Figura 5.10 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários - 2015.....	38
Figura 5.11 Regressão linear entre consumo de água e área construída - 2017.....	39
Figura 5.12 Regressão linear entre consumo de água e área construída - 2015.....	39
Figura 5.13 Regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula - 2017.....	40
Figura 5.14 Regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula - 2018.....	41
Figura 5.15 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores dos edifícios - 2016. ....	42
Figura 5.16 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores dos edifícios - 2017.....	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Estimativa de consumo diário de água (Macintyre, 2010).....	8
Tabela 4.1 Dados das edificações. ....	20
Tabela 5.1 Pressões medidas nas edificações. ....	27
Tabela 5.2 Meses com consumo discrepante. ....	31
Tabela 5.3 Média do consumo mensal de água dos edifícios. ....	31
Tabela 5.4 Meses de aulas e férias na universidade para os anos de 2015 a 2019. ....	32
Tabela 5.5 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Pavilhão João Calmon. ....	32
Tabela 5.6 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Pavilhão Anísio Teixeira. ....	32
Tabela 5.7 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Bloco de Salas de Aula Norte. ....	32
Tabela 5.8 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Bloco de Salas de Aula Sul.....	33
Tabela 5.9 Leitura do hidrômetro do Pavilhão João Calmon.....	33
Tabela 5.10 Diferença entre leituras do hidrômetro do Pavilhão João Calmon.....	33
Tabela 5.11 Leituras do hidrômetro do Pavilhão Anísio Teixeira.....	34
Tabela 5.12 Diferença entre leituras do hidrômetro do Pavilhão Anísio Teixeira. ....	34
Tabela 5.13 Leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Norte. ....	35
Tabela 5.14 Diferença entre leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Norte. ....	35
Tabela 5.15 Leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Sul. ....	35
Tabela 5.16 Diferença entre leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Sul.....	36

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 4.1 Limite inferior do <i>boxplot</i> .....	24
Equação 4.2 Limite superior do <i>boxplot</i> .....	24
Equação 4.3 Equação da reta de mínimos quadrados. ....	25
Equação 4.4 Equação normal da reta de mínimos quadrados .....	25
Equação 4.5 Equação normal da reta de mínimos quadrados. ....	25
Equação 5.1 Equação de regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários - 2017.....	37
Equação 5.2 Equação de regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários - 2019.....	37
Equação 5.3 Equação de regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários - 2017.....	38
Equação 5.4 Equação de regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários - 2015.....	39
Equação 5.5 Equação de regressão linear entre consumo de água e área construída - 2017.....	40
Equação 5.6 Equação de regressão linear entre consumo de água e área construída - 2015.....	40
Equação 5.7 Equação de regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula - 2017.....	41
Equação 5.8 Equação de regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula 2018.....	42
Equação 5.9 Equação de regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores dos edifícios - 2016.....	43
Equação 5.10 Equação de regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores dos edifícios – 2017.....	43

## LISTA DE SIGLAS

AAP	Aproveitamento de Água Pluvial
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal.
BSAN	Bloco de Salas de Aula Norte
BSAS	Bloco de Salas de Aula Sul Luiz Fernando Gouvêa Labouriau
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
ICC	Instituto Central de Ciências
LPD	Litros por pessoa por dia
NBR	Norma Brasileira
PAT	Pavilhão Anísio de Teixeira
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PJC	Pavilhão João Calmon
PRC	Prefeitura do Campus
RA	Regiões Administrativas
RAC	Reuso de Águas Cinzas
REUNI	Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais
SAA	Secretaria de Administração Acadêmica
SIA	Setor de Indústrias e Abastecimento
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UAEU	Universidade dos Emirados Árabes Unidos
UNB	Universidade de Brasília

## 1. INTRODUÇÃO

A água deve ser consumida de forma racional para que haja preservação do recurso e, em consonância com isso, faz-se necessária a conscientização das pessoas e a eficiência nas redes de transporte de água. A previsibilidade de cenários relacionados ao consumo da água é fundamental para que sejam traçados planos efetivos na preservação desse recurso natural e para o dimensionamento de sistemas de abastecimento e reservação. Dessa forma, quanto melhores forem os critérios de avaliação e entendimento do desempenho das redes, espere-se uma melhoria na antecipação de adversidades acerca do assunto.

O consumo de água muda de acordo com algumas variáveis, logo é primordial compreender quais fatores influenciam nas variações de consumo. Deve-se destacar, dentre os principais fatores, a quantidade de consumidores, condições climáticas da região, características socioeconômicas, finalidade de uso da água, valor da tarifa, propriedades das instalações e equipamentos hidráulico-sanitários (Yassuda *et al.*, 1976). A quantificação de variáveis relacionadas ao consumo de água possibilita que comparações sejam realizadas acerca de diversos aspectos de diferentes conjuntos da sociedade. Além disso, a visão sistêmica sobre o consumo gera uma compreensão de grande relevância principalmente para os gestores responsáveis pela água na comunidade.

Ao comparar o consumo em diferentes locais que possuem características de consumo semelhante – como a mesma finalidade da utilização, por exemplo -, é possível que se avalie com nitidez qual é a influência das variáveis de consumo e compreender o comportamento esperado para a situação avaliada. Cabe destacar, então, que no *Campus* Universitário Darcy Ribeiro, na Universidade de Brasília, existem edificações exclusivas para salas de aula que podem ter seus consumos comparados a partir de equações obtidas por regressões entre o consumo de água e algumas variáveis relativas às edificações.

O diagnóstico do consumo de água facilita a identificação de problemas nas instalações. Dessa forma, dentre outras possibilidades, podem ser realizados apontamentos sobre prováveis ineficiências nos sistemas, como as perdas por vazamento.

Dentro desse contexto, o trabalho avaliará o consumo em alguns edifícios da Universidade de Brasília a fim de realizar uma análise descritiva sobre os dados de consumo disponíveis e estabelecer equações a partir regressões entre esses e as características construtivas das edificações e da quantidade de frequentadores dessas instalações. Além disso, pretende-se apontar desvios de consumo indicativos de perdas nas instalações.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar as condições de consumo de água e identificar eventuais perdas de água existentes no Pavilhão João Calmon, Pavilhão Anísio Teixeira, Bloco de Salas de Aula Norte e Bloco de Salas de Aula Sul, localizados no *Campus* Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

### **2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar o consumo de água nas edificações selecionadas entre 2015 a 2019 em termos de estatística descritiva;
- Avaliar a existência de regressão linear entre o consumo de água e as características construtivas das edificações e quantidade de frequentadores dessas instalações;
- Detectar por monitoramento em campo possíveis perdas de água nas instalações hidráulicas das edificações selecionadas e relacionar com a pressão de água nessas instalações.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA**

A fim de prover a sociedade de água adequada para os diversos possíveis consumos que lhe podem ser atribuídos, é fundamental que seja instalado um sistema de abastecimento de água com tecnologia ajustada à realidade do local em que será inserido. Cabe destacar alguns aspectos relevantes que devem ser considerados para a escolha da tecnologia como: ser sanitariamente segura, técnica e cientificamente satisfatória, inócua ao meio ambiente, social e culturalmente aceitável e economicamente viável (Heller e Pádua, 2006).

As redes de distribuição de água são relevantes por serem responsáveis pelo transporte da água que foi captada para os diferentes consumidores - que a utilizam de diferentes maneiras como comercial, industrial e residencial – com segurança e de acordo com normas e recomendações em relação à qualidade, quantidade, pressão e continuidade.

Nas redes é importante que seja observada a NBR 12218/2017 que aponta diretrizes sobre diversos aspectos de projeto de sistemas de abastecimento de água no Brasil. A norma estabelece algumas condições com o objetivo de proporcionar as condições ideais para a distribuição para a população.

Podem-se ressaltar os níveis limítrofes de pressão do sistema, sendo o limite inferior (10 mca) estabelecido para que água atinja o reservatório padrão predial, ou seja, seja capaz de superar os desníveis topográficos existentes e as perdas nas tubulações. O limite superior (40 mca) de pressão deve ser garantido para que as perdas sejam reduzidas nas tubulações visto que essas tendem a aumentar com a elevação da pressão, além de evitar a degradação dos elementos do sistema de abastecimento. As pressões altas na rede de abastecimento de água também geram um aumento no consumo pelos usuários, visto que, em sistemas impactados pela variação de pressão, o aumento da pressão da rede origina o crescimento da vazão de saída de água nos equipamentos hidráulicos.

Outro aspecto relevante são as velocidades máximas e mínimas que são respectivamente de 0,60 e 3,50 m/s. A velocidade mínima objetiva a redução da corrosão interna das tubulações do sistema e o impedimento da deposição de partículas em suspensão na água; e a velocidade máxima foi determinada para se evitar desgaste da tubulação, excesso de corrosão e ruídos incômodos, além de dificultar os efeitos dinâmicos nocivos associados ao escoamento da

água. O fator velocidade pode ser relevante no consumo por, a depender do desgaste, gerar perdas ao sistema que não ocorreriam em condições de uso mais brandas, a exemplo de perdas associadas a deslocamentos ou rompimentos da tubulação. Alguns autores recomendam prudência na criação de projetos com velocidade máxima próxima do limite pela possibilidade de erros nas previsões de adensamento populacional e de consumos *per capita*, além dos transtornos e custos que reformas na rede, mesmo que apenas para ampliação, podem ocasionar (Heller e Pádua, 2006).

### **3.2. INSTALAÇÕES PREDIAIS**

O sistema de instalações prediais de água fria tem como base as recomendações da NBR 5626:2020. Tal norma apresenta condições para que os sistemas sejam projetados no Brasil com o objetivo de todas as instalações atenderem padrões de higiene, conforto, segurança e economia aos usuários. Deve-se observar que o sistema predial de água fria é composto por diversas partes como tubulações, equipamentos, reservatórios e dispositivos para abastecer aparelhos e pontos de água da edificação (Veról *et al.*, 2021).

Alguns quesitos apresentados pela norma são a preservação da potabilidade da água, a possibilidade de manutenção fácil e econômica, a promoção da economia de água e de energia, a garantia do fornecimento contínuo de água com exigências necessárias e a restrição de níveis de ruído inadequados ao ambiente. Além disso, os requisitos normativos aspiram proporcionar conforto aos usuários ao preverem peças localizadas corretamente, de operação simples e vazões satisfatórias.

O abastecimento de água das edificações é realizado com o auxílio de um ramal predial que é conectado ao sistema público de abastecimento (Figura 3.1). Em seguida, a água é direcionada para um hidrômetro - aparelho que mede o consumo de água - e então continua pelo alimentador predial até o local apropriado de reservação ou diretamente para os pontos de utilização de água do projeto, a depender do sistema de abastecimento predial utilizado.

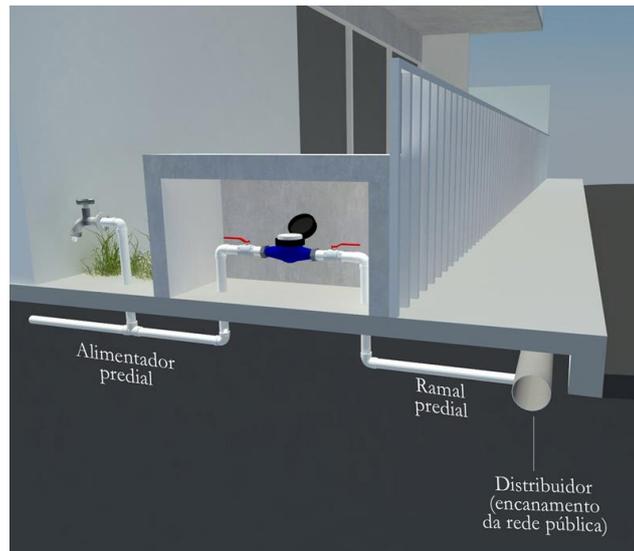


Figura 3.1 Esquema de abastecimento de água pela rede pública (Veról *et al.*, 2021).

A escolha do sistema de abastecimento é distinta para cada situação estudada pelas diferenças entre os locais em que serão aplicados em aspectos como a topografia do terreno, a cultura existente e a condição financeira dos moradores. É possível escolher entre os sistemas de abastecimento direto, indireto, indireto hidropneumático e misto (Veról *et al.*, 2021).

O sistema direto, apresentado na Figura 3.2, não utiliza reservatórios, assim a água presente na rede pública é diretamente direcionada para os pontos de utilização. Tal sistema pode ser empregado sem ou com bombeamento, sendo este realizado quando a pressão oferecida pela rede pública não possui pressão suficiente para ser utilizada em toda a edificação. Cabe ressaltar que a implementação do sistema direto gera economia na construção e nesse sistema é obrigatório o uso de dispositivo de proteção para evitar que a rede pública seja contaminada por refluxo no ramal predial.

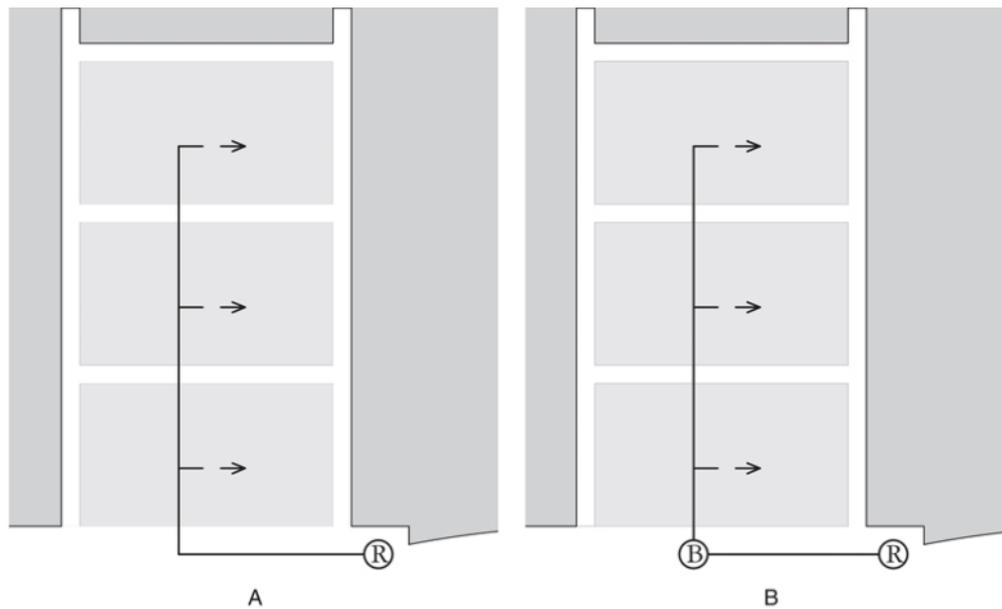


Figura 3.2 Esquema do sistema direto de água. A, Sistema direto sem bombeamento. B, Sistema direto com bombeamento (Veról *et al.*, 2021).

O sistema indireto possui um reservatório superior que é utilizado para o abastecimento da edificação. Este reservatório permite que os usuários do sistema fiquem menos dependentes da distribuição pública por reterem uma quantidade de água para uso. A água pode guarnecer o reservatório de três maneiras: sem bombeamento, com bombeamento ou com sistema de reservatório inferior e superior com bombeamento, que é o sistema mais utilizado em edifícios no Brasil (Veról *et al.*, 2021). As diferentes soluções para o suprimento de água para o nível superior são apresentadas na Figura 3.3.

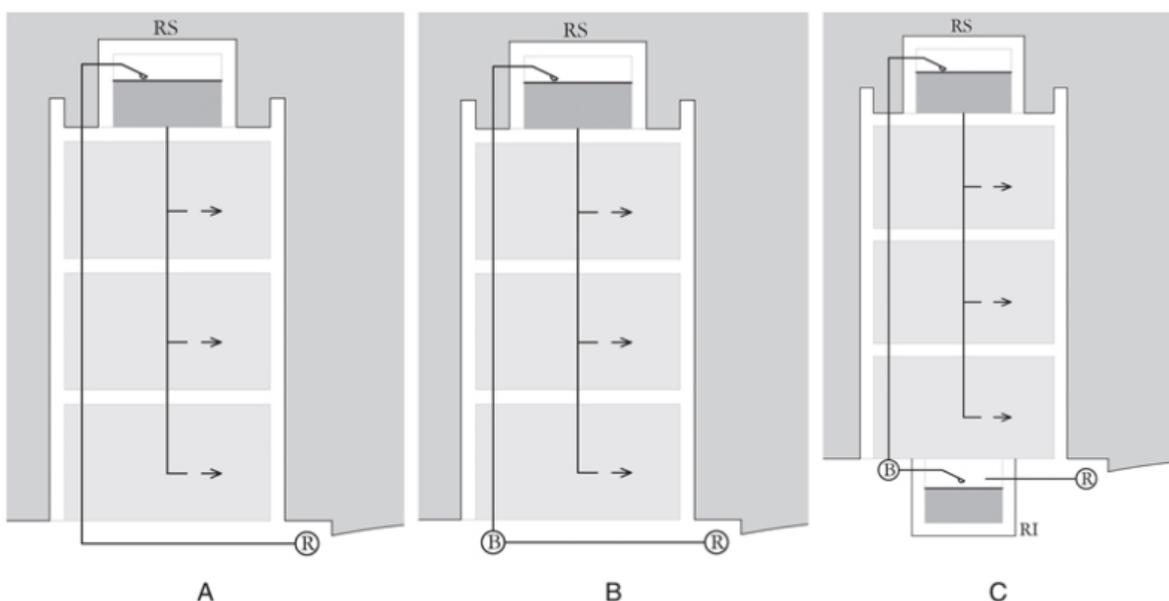


Figura 3.3 Esquema do sistema indireto de água. A, Sistema indireto sem bombeamento. B, Sistema indireto com bombeamento. C, Sistema indireto com reservatório inferior e superior com bombeamento (Veról *et al.*, 2021).

O sistema indireto hidropneumático é composto, necessariamente, por tanque de pressão que contém ar e água que pressuriza a rede de distribuição predial. Este sistema é caro, portanto, recomenda-se que seja utilizado quando não é viável realizar a instalação de reservatório superior devido a limitações técnicas ou econômicas. Outro aspecto a ser analisado é que o sistema indireto hidropneumático pode ficar inoperante em situações de falta de energia e requer manutenções com frequência maior do que os outros sistemas apresentados. Como exposto na Figura 3.4, o sistema hidropneumático pode ser concebido sem bombeamento, com bombeamento ou com reservatório inferior e bombeamento.

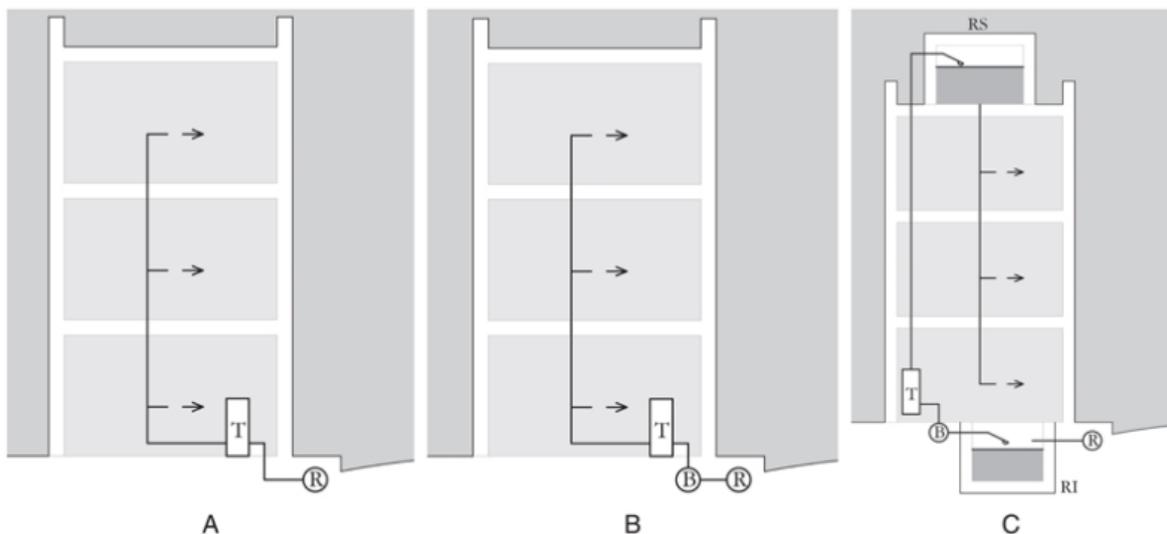


Figura 3.4 Esquema do sistema indireto hidropneumático de água. A, Sistema indireto hidropneumático sem bombeamento. B, Sistema indireto hidropneumático com bombeamento. C, Sistema indireto hidropneumático com reservatório inferior e superior com bombeamento (Veról *et al.*, 2021).

Outra formatação possível para o abastecimento predial é o sistema misto, no qual uma parte da edificação utiliza do sistema indireto e alguns pontos são abastecidos pelo sistema direto. Tem-se como exemplo casas que possuem reservatório de água superior para alimentar a residência e pontos de utilização, como torneiras nos jardins, que são abastecidas diretamente pela rede pública.

### 3.3. CONSUMO DE ÁGUA

A demanda de água varia de acordo com o uso ao qual está sujeito o sistema de abastecimento, são exemplos de modos de consumo: o doméstico, o comercial, o público e o industrial. Desse modo, é fundamental conhecer os diferentes destinos dados à água e compreender quais fatores influenciam nas variações de consumo.

O consumo doméstico é considerado prioritário na rede de abastecimento de água e considera atividades relacionadas à higiene e limpeza, à ingestão e ao preparo de alimentos. Esse consumo varia de acordo com a renda per capita dos moradores - rendas maiores geram consumos mais altos de água-; características físicas das habitações e as condições das instalações existentes que podem influenciar na perda de água pelo sistema da resistência; peculiaridades físicas do local no qual a habitação está localizada; características do abastecimento de água como a qualidade desta e a pressão na rede; formas de gerenciamento do sistema; e o aspecto cultural da comunidade (Heller e Pádua, 2006).

O consumo observado em estabelecimentos comerciais varia consideravelmente de acordo com o tipo do estabelecimento, como apresentado na Tabela 3.2, que podem ser desde hospitais até oficinas mecânicas. A mesma observação quanto ao tipo de estabelecimento pode ser feita sobre o consumo industrial; um ponto a destacar é o funcionamento de algumas indústrias durante o período noturno que faz com que a demanda permaneça alta durante o dia inteiro.

Tabela 3.1 Estimativa de consumo diário de água (Macintyre, 2010)

Tipo de Prédio	Unidade	Consumo (l/dia)
Apartamentos	<i>per capita</i>	200
Apartamentos de luxo	por dormitório por quarto de empregada	300 a 400 200
Residências de luxo	<i>per capita</i>	300 a 400
Residências de médio valor	<i>per capita</i>	150
Residências populares	<i>per capita</i>	120 a 150
Alojamentos provisórios de obra	<i>per capita</i>	80
Edifícios de escritórios	por ocupante efetivo	50 a 80
Escolas, internatos	<i>per capita</i>	150
Escolas, externatos	por aluno	50
Escolas, semi-internato	por aluno	100
Hospitais e casas de saúde	por leito	250
Hotéis com coz. e lavanderia	por hóspede	250 a 350
Hotéis sem coz e lavanderia	por hóspede	120

Lavanderias	por kg de roupa seca	30
Restaurantes	por refeição	25
Mercados	por m <sup>2</sup> de área	5
Creches	<i>per capita</i>	50

A demanda de água destinada para espaços públicos é relativa ao abastecimento de prédios públicos, a exemplo das universidades federais, além de áreas que necessitam de manutenção por parte do Estado e pontos de prevenção de incêndios. Além disso, segundo Nakagawa (2009), é importante notar o perfil de consumo praticado para a produção de medidas gerenciais que visem o aumento da conscientização dos usuários e consequente racionalização do consumo em espaços públicos.

No Distrito Federal, o consumo de água anual em 2020 foi de aproximadamente 156,2 milhões de metros cúbicos de água (Adasa, 2021). A partir do valor do consumo anual, considerando todos os modos de consumo, foi calculado um consumo *per capita*, em litros por pessoa por dia (LPD), de 137. Na Figura 3.5 fica evidenciado que o consumo, a exemplo dos anos anteriores, foi predominantemente destinado às residências, seguido, respectivamente, pelo consumo comercial, público e industrial.

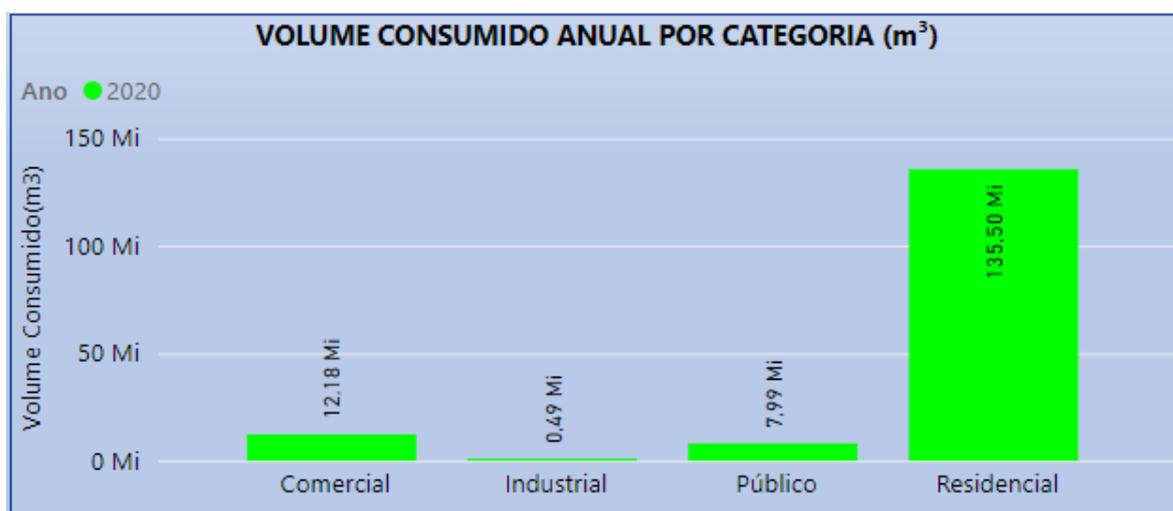


Figura 3.5 Volume consumido anual por categoria no Distrito Federal (Adasa, 2021).

Ao se observar as informações de consumo sob o espectro das regiões administrativas (RA), foi notado um volume total de água consumida maior nas regiões mais populosas como esperado. Entretanto, cabe destacar que nas regiões nas quais residem as pessoas com maior renda *per capita* houve um consumo maior de água por habitantes. Ao excluir o Setor de

Indústrias e Abastecimento (SIA) que possui alto consumo de água pela concentração de unidades de grande consumo, destacam-se como maiores consumidores *per capita*: Lago Sul, Park Way, Jardim Botânico, Lago Norte e Plano Piloto. Tal fato é evidenciado na Figura 3.6.

Região Administrativa	Consumo Médio (m <sup>3</sup> /und)	Ano	População Atendida	Qtde Unid. Consumo (n)	Consumo per capita (L/hab.dia)
Águas Claras	12,0	2020	184.088	63.604	136
Amiqueira	12,6	2020	39.747	14.243	149
Brazlândia	10,0	2020	47.649	16.464	113
Candangolândia	10,6	2020	16.342	5.754	123
Coilândia	9,2	2020	357.483	127.296	107
Cruzeiro	12,2	2020	33.930	12.031	142
Fercal	9,6	2020	6.629	2.215	105
Gama	10,1	2020	138.378	50.961	122
Guará	11,5	2020	160.741	57.489	135
Itapoá	9,7	2020	61.386	20.723	108
Jardim Botânico	20,5	2020	54.700	18.292	225
Lago Norte	19,8	2020	41.059	14.177	225
Lago Sul	30,0	2020	30.011	11.846	389
Núcleo Bandeirante	9,6	2020	28.994	11.545	126
Paranoá	9,3	2020	61.039	21.265	106
Park Way	21,6	2020	23.189	7.655	234
Planaltina	10,0	2020	179.374	62.124	114
Plano Piloto	10,7	2020	308.863	179.387	204
Pôr do Sol	9,8	2020	81.984	27.252	108
Recanto das Emas	9,9	2020	128.941	44.416	112
Riacho Fundo	10,4	2020	47.833	16.642	119
Riacho Fundo II	9,8	2020	61.559	20.629	108
Samambaia	9,8	2020	245.521	85.001	112
Santa Maria	11,1	2020	123.894	42.492	125
São Sebastião	9,0	2020	68.732	23.966	103
SCIA/Estrutural	10,1	2020	23.781	8.825	123
SIA	15,9	2020	3.610	5.162	747
Sobradinho	11,3	2020	71.121	26.157	136
Sobradinho II	11,1	2020	72.615	24.818	124
Sudoeste/Octogonal	10,5	2020	75.655	32.026	147
Taguatinga	10,3	2020	260.298	99.804	130
Varjão	9,5	2020	8.761	3.131	112
Vicente Pires	13,5	2020	81.463	28.483	155
<b>Total</b>	<b>11,0</b>		<b>3.129.370</b>	<b>1.185.874</b>	<b>137</b>

Figura 3.6 Consumo médio anual de água por região administrativa (Adasa, 2021).

Em relação aos estabelecimentos públicos de ensino, o volume de água consumida obteve pequenas variações no período de 2015 a 2019, sendo notoriamente reduzido em 2020, diminuição de 30,8% comparado com o ano anterior, em decorrência da pandemia. Esse consumo dos estabelecimentos públicos de ensino, observado na Figura 3.7, correspondeu a aproximadamente 14% do consumo público em 2020.

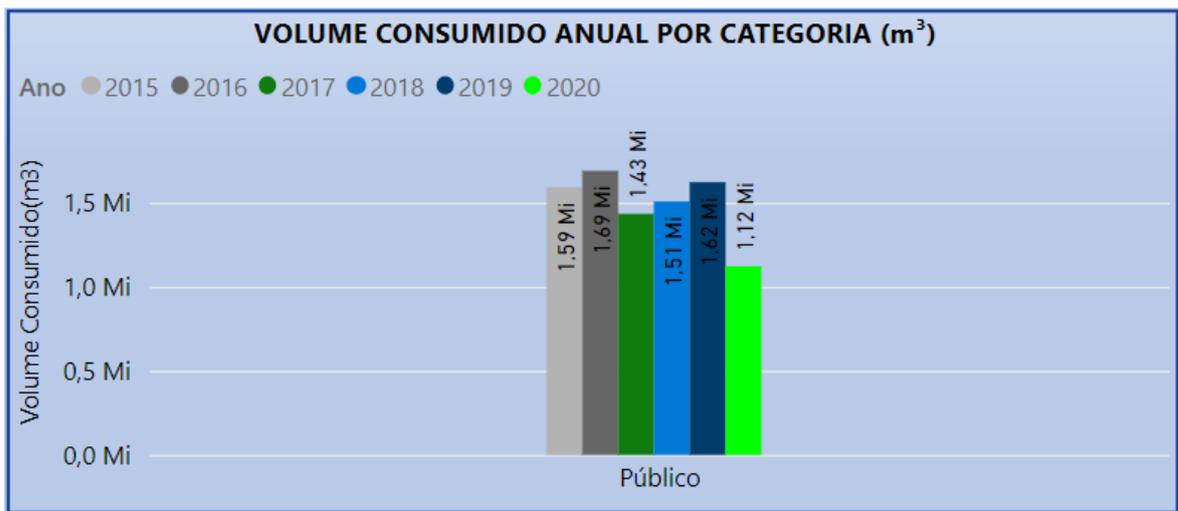


Figura 3.7 Consumo anual de água por estabelecimentos de ensino públicos (Adasa, 2021).

Yagoub *et al.* (2019) apresentaram uma comparação da quantidade de água consumida em algumas universidades internacionais. A Universidade dos Emirados Árabes Unidos (UAEU) atingiu a média de 40 litros por pessoa por dia, em 2017, (LPD) ao se avaliar todas as edificações da universidade em conjunto, valor próximo da Universidade de Bordeaux, na França, que possui um consumo de 38,4 LPD. Enquanto isso a Universidade de Keele, no Reino Unido, possui um consumo de 129 LPD, em 2015 e 2016, que se justifica pela presença de dormitórios para os estudantes e funcionários da instituição, mas ainda é alto ao se comparar com o valor de consumo nos dormitórios da UAEU que é de 81,7 LPD. Outros consumos relevantes são a média dos dormitórios nos Estados Unidos da América e da Europa que são de, respectivamente, 121 e 143 LPD.

### 3.4. PERDAS

As perdas são compreendidas como a diferença entre o volume de água que é introduzido no sistema e o entregue para serem consumidos pelos usuários, sendo encontradas em diversas formas de consumo de água. Ao se avaliar operacionalmente, as perdas são consideradas como o somatório das perdas reais e das perdas não físicas, também denominadas como perdas aparentes.

As perdas físicas são decorrentes de situações operacionais como descargas de redes de distribuição e limpeza de reservatórios, além de possíveis extravasamentos de reservatórios ou vazamentos nas tubulações tanto de distribuição como prediais. Essas perdas podem ser causadas por déficits no gerenciamento dos sistemas - como no caso da falta de manutenção na rede dificultando, por exemplo, a detecção de vazamentos - mas apresentam maior

representatividade as situações de perdas relacionadas às pressões elevadas nas tubulações, principalmente em momentos de menor consumo nos quais a pressão disponível na rede praticamente se iguala à estática (Heller e Pádua, 2006).

A água que está incluída nas perdas aparentes se refere a questões não operacionais da empresa de distribuição. Essas perdas são observadas quando existem ligações clandestinas, conexões irregulares no ramal das ligações, entre outros problemas relacionados à micromedição como erros de leitura, hidrômetros defeituosos ou descalibrados e fraudes de usuários.

O gerenciamento das perdas de água apresenta-se como primordial para controle e diminuição do impacto dessas no volume de água disponibilizado à sociedade, principalmente diante do contexto atual brasileiro. A situação problemática observada no Brasil é evidenciada ao se observar o índice IN049 - indicador volumétrico da água na distribuição perdida, em relação à água produzida - apresentado pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) em 2019 que expõe uma perda de 39,2%. Destaca-se ainda que nenhum estado brasileiro apresentou valores de perda abaixo dos 20% e o índice mais alto foi Amapá com 73,6%, a distribuição de perdas pelos estados é perceptível na Figura 3.8.

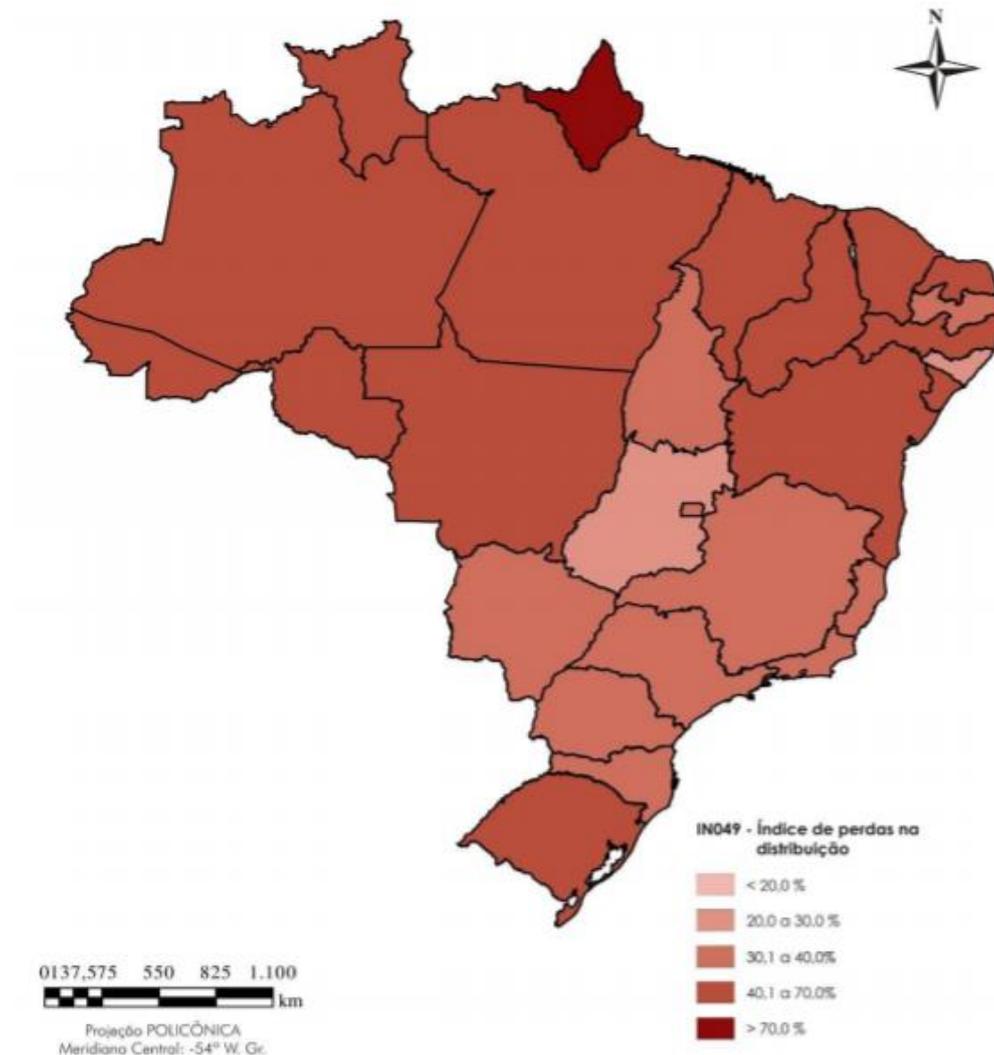


Figura 3.8 Mapa de índice de perdas na distribuição (IN049) em 2019. (SNIS – Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto)

Diante das informações apresentadas cabe destacar ainda a impossibilidade de atingir 0% de perdas no sistema de abastecimento de água seja por capacidade técnica ou econômica, dessa forma existe um limite para a diminuição das perdas de água e um nível econômico ótimo de vazamentos, este pode ser observado na Figura 3.9.

O limite econômico está relacionado ao fato de que a partir de certo ponto o valor do volume de água não desperdiçado passa a ser menor do que o valor para reduzir as perdas e o limite técnico é associado à limitação das tecnologias disponíveis, como materiais e ferramentas. Ao se estipular os custos da água e os custos de detecção e reparo dos sistemas de abastecimento, é possível se observar qual será o vazamento que gerará menores gastos totais.

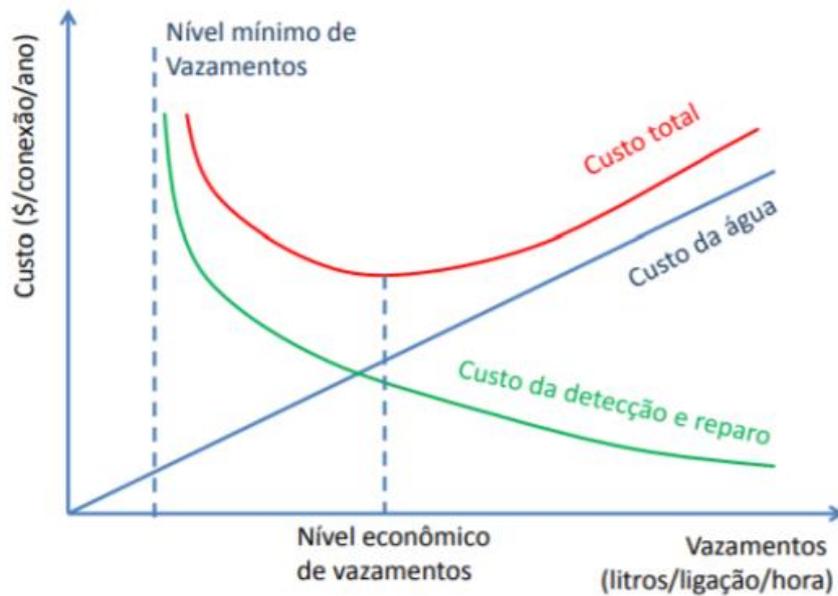


Figura 3.9 Determinação do nível eficiente de perdas. (United States Environmental Protection Agency - Control and mitigation of drinking water losses in distribution systems)

### 3.5. HISTÓRICO DE TRABALHOS SOBRE CONSUMO DE ÁGUA NO CAMPUS DARCY RIBEIRO - UNB

Araújo e Virgolim (2010) examinaram a pressão de abastecimento de água no *campus*. Valores elevados foram encontrados, dentre outros motivos, pelo abastecimento de água pelo sistema direto e idade elevada das tubulações de alguns prédios. Em análise específica sobre o Instituto Central de Ciências (ICC), foi proposto o controle da pressão da água pela substituição da válvula redutora de pressão existente por uma condizente com os valores apresentados em campo, verificação e solução para amenizar queda brusca de pressão em horário de pico pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), redistribuição das linhas de abastecimento de água no ICC e mudança da tubulação que segue para prédios de cota mais alta para reduzir as instabilidades do sistema.

Em 2016, Matos e Lopes propuseram uma análise de dados - série histórica de contas de água da Universidade de Brasília, leituras dos hidrômetros nos períodos de consumos máximo e mínimo e medições de pressão em pontos críticos dos prédios - em conjunto com modelagem utilizando o programa EPANET para a identificação das variações de pressões em alguns prédios do campus, além de conclusões sobre indícios de perdas nos edifícios. Por fim, apontou-se a urgência em verificações e reparos nas instalações da Faculdade de

Tecnologia e SG12, e uma estimativa de gastos gerados pelos vazamentos excessivos de R\$ 133.457,60.

Oliveira (2018) avaliou as edificações presentes no Campus Darcy Ribeiro que possuem abastecimento de água pelo sistema direto. A partir de uma análise histórica do consumo de água nos prédios foi realizada uma análise com a técnica *boxplot* para detecção de possíveis *outliers* que são indicativos de consumo excessivo e/ou perdas no sistema. Então, concluiu-se que o abastecimento do Instituto Central de Ciências (ICC) pelo reservatório Castelo D'água seria viável, sendo necessária a instalação de válvulas redutoras de pressão e o monitoramento de perdas em alguns prédios do campus.

Barbosa *et al.* (2018) caracterizaram os usos-finais de água em algumas edificações do Campus Darcy Ribeiro e, então, realizaram uma análise comparativa entre os desempenhos dos sistemas voltados ao aproveitamento de água pluvial (AAP) e dos sistemas de reuso de águas cinzas (RAC). Levantaram-se dados de consumo predial de água dos edifícios, populações e áreas construídas e de cobertura, assim foram gerados indicadores de consumo *per capita*, em litros por pessoa por dia, entre 3,89 e 48,61; e *per área*, em litros por área construída por dia, entre 0,48 e 3,83. Ademais, as descargas sanitárias, que foi a atividade de maior consumo de água, representou 68% a 28% do consumo predial e a análise comparativa entre os sistemas AAP e RAC indicaram que o aproveitamento de águas pluviais tem maior capacidade de gerar economia.

Martins, em 2019, gerou um modelo computacional a partir do programa EPANET para realização de avaliações do sistema predial de água fria do Instituto Central de Ciências, com base em dados de pressão e vazão obtidos em campo, com o objetivo de propor opções para equalizar pressões ao longo do prédio e, assim, reduzir tanto consumo de água como possíveis perdas. A partir disso, recomendou-se a abertura de uma nova entrada de água para abastecimento exclusivo do ICC Norte e mudança de tubulações em ferro fundido para tubos de Polietileno de Alta Densidade (PEAD) para melhorar a distribuição das pressões de água no edifício. Além disso, foi vislumbrada a possibilidade de incremento na precisão e controle do monitoramento das vazões e pressões no ICC, pela instalação de hidrômetro com sistema de telemetria, para acompanhamento do consumo e indícios de perdas de água.

Rabelo (2020) utilizou medições de pressões e vazões realizadas no Instituto Central de Ciências, além de dados históricos de consumo disponibilizados pela Prefeitura do Campus

(PRC), para realização de comparações entre os consumos observados em situação de atividades remotas em razão da pandemia de COVID-19 (abril a outubro de 2020) e anos anteriores com atividades presenciais normais. Com base nessas informações, gerou-se uma estimativa de perda, em 7 meses analisados durante o ano de 2020, de 32 mil m<sup>3</sup>, que acarretaram um prejuízo estimado de aproximadamente 1 milhão de reais. Então, foi recomendada a utilização de válvulas redutoras de pressão - dado que a pressão é relevante para o aumento de perdas nas tubulações - e uma ação de gerenciamento e controle das perdas nas instalações prediais.

## 4. METODOLOGIA

### 4.1. OBJETO DE ESTUDO

O *Campus* Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília, apresentado na Figura 4.1, está localizado na Asa Norte e possui um conjunto de prédios que se distribuem em uma área construída total de 599.468 m<sup>2</sup>, que compõem parte da área física total do *Campus* de 3.950.579 m<sup>2</sup>. Cabe destacar que o *Campus* utiliza majoritariamente o sistema de abastecimento direto de água, ou seja, o ramal predial conectado à rede pública abastece diretamente os pontos de utilização.



Figura 4.1 Mapa do Campus Darcy Ribeiro. (Universidade de Brasília)

Dentre as edificações, existem algumas que são destinadas, majoritariamente, ao uso como salas de aulas. Ao considerar essa característica, destacam-se o Pavilhão João Calmon (PJC), o Pavilhão Anísio de Teixeira (PAT), o Bloco de Salas de Aula Norte (BSAN) e o Bloco de Salas de Aula Sul Luiz Fernando Gouvêa Labouriau (BSAS).

O Pavilhão João Calmon e o Pavilhão Anísio Teixeira foram construídos entre os anos de 1999 e 2000, estes pavilhões estão localizados na região da Gleba A do *Campus*, como destacado na Figura 4.2 e na Figura 4.3. Ambos possuem abastecimento de água por sistema direto, e cabe destacar ainda que um reservatório metálico foi construído para reserva técnica de combate a incêndios.

O PJC é constituído de 31 salas de aula de uso comum disponíveis aos diversos cursos da Universidade, além de 3 salas para funcionários, 4 sanitários, 1 cantina, 1 copa e 2 vestiários para os funcionários.

As áreas das salas de aula foram obtidas pela leitura da planta baixa do edifício e seu somatório corresponde a 1732 metros quadrados. Já a área construída é de aproximadamente 2950 metros quadrados, valor obtido pela ferramenta de medir área do Google Earth.



Figura 4.2 Localização do Pavilhão João Calmon (Google Earth, 2021).

O PAT possui finalidade comum à do PJC, a diferença é observada somente em sua composição de ambientes. Essa edificação possui 30 salas de aula, 5 salas para a administração, 1 sala para docentes e 4 sanitários.

Como feito para o PJC, a área construída foi estimada, com a utilização do Google Earth, em 2895 metros quadrados. E, a partir da leitura dos projetos, calculou-se um total de área de salas de aula de 1699 metros quadrados.



Figura 4.3 Localização do Pavilhão Anísio Teixeira (Google Earth, 2021).

O Bloco de Salas de Aula Norte, ressaltado na Figura 4.4, também está localizado na Gleba A do Campus Darcy Ribeiro e possui uma área construída de 4.795 m<sup>2</sup>. A construção do prédio, que integrou o Programa de Apoio a Planos de Reestruturação e Expansão das Universidades Federais (Reuni), iniciou-se em janeiro de 2011 e foi concluída em abril de 2015.

A edificação é composta por dois pavimentos. No pavimento térreo existem 6 salas de aula, 1 sala de estudos 24 horas, 2 laboratórios (um de informática e um de vocalidade e cena), 6 salas para a administração, 1 copa, 2 vestiários e 4 sanitários. O primeiro pavimento tem 12 salas de aula, 1 depósito, 1 auditório (com 1 sala de som, 1 sala de videoconferência e 1 depósito), 5 salas sem uso e 4 sanitários. O somatório das áreas das salas de aula é igual a 2053 metros quadrados.

Além disso, o BSAN possui reservatório de água próprio que é abastecido pela rede pública por gravidade, dado que a pressão no ramal de entrada é suficiente para encher o reservatório, e a distribuição do reservatório para os ramais e sub-ramais dentro da edificação também é feita por gravidade.



Figura 4.4 Localização do Bloco de Salas de Aula Norte (Google Earth, 2021).

O Bloco de Salas de Aula Sul Luiz Fernando Gouvêa Labouriau (BSAS) foi construído, como o BSAN, com recursos provenientes do Reuni e durou 3 anos, de dezembro de 2009 a novembro de 2012.

O BSAS possui três pavimentos com uma área construída de 7500 m<sup>2</sup>. O pavimento térreo é composto por 1 auditório (com 2 salas de apoio, 1 depósito, 2 sanitários, 1 copa e 1 sala de apoio para a equipe de limpeza), 13 salas de aula, 4 sanitários, 3 salas para a administração. O primeiro pavimento possui 17 salas de aula e 4 sanitários; e o segundo pavimento tem 21

salas de aula, 1 sala para a administração, 1 copa, 1 sala para equipe de limpeza e 4 sanitários. Por fim, as salas de aula totalizam uma área de 3173 metros quadrados.

O sistema de abastecimento da edificação é indireto, a água disponibilizada pela rede pública possui pressão suficiente para o enchimento do reservatório por gravidade, que é o mesmo princípio utilizado para a distribuição da água para os ramais e sub-ramais internos do prédio.

As informações das edificações são apresentadas, resumidamente, na Tabela 4.1.



Figura 4.5 Localização do Bloco de Salas de Aula Sul (Google Earth, 2021).

Tabela 4.1 Dados das edificações.

Edificação	Sistema de Abastecimento de Água	Área de Sala de Aula (m <sup>2</sup> )	Área Construída (m <sup>2</sup> )	Vasos Sanitários	Total de equipamentos (pias, torneiras, vasos sanitários, mictórios, chuveiros e bebedouros)
Pavilhão João Calmon	Direto	1732	2950	21	67
Pavilhão Anísio Teixeira	Direto	1699	2895	14	42
Bloco de Salas de Aula Norte	Indireto	2053	4795	36	110
Bloco de Salas de Aula Sul	Indireto	3173	7500	36	105

## 4.2. DADOS

### 4.2.1. PRESSÃO OBTIDA EM CAMPO

Os dados referentes à pressão foram obtidos pela instalação de manômetros nos prédios avaliados no presente estudo. A utilização desses equipamentos permite a obtenção de valores instantâneos de pressão em metros de coluna de água (mca). O modelo de equipamento utilizado será o Z.10.B da marca Zürich, apresentado na Figura 4.6, e é capaz de realizar medições entre 0 e 100 mca.



Figura 4.6 Manômetro Registrador (Fonte: ZURICH - Manual Z.10.)

Devido à conjuntura mundial atual, com a pandemia do Covid-19, os prédios estão sem uso por serem destinados, majoritariamente, a salas de aula. Então, com os valores de pressão obtidos, será possível realizar uma avaliação quanto à pressão que, usualmente, é observada apenas em finais de semana, feriados e período de férias. Além disso, cabe ressaltar que os dados de pressão serão mais relevantes para os prédios abastecidos pelo sistema direto - PAT e PJC - visto que suas instalações hidráulicas são submetidas constantemente à pressão da rede e suas variações, enquanto os edifícios que possuem reservatórios - BSAN e BSAS - não são igualmente impactados por essas situações.

Como é esperada a constância dos valores por causa da situação supracitada dos prédios avaliados, foram realizadas duas medições em cada um dos prédios para avaliar a pressão à qual o sistema está submetido durante o período sem uso. A partir desses resultados, torna-se possível a realização de análises sobre a coerência dos valores de pressão e a correlação desses com possíveis perdas nas instalações.

#### **4.2.2. CONSUMO HISTÓRICO E CONSUMO OBTIDO EM CAMPO**

Quanto às informações sobre volumes consumidos, foram utilizados dados disponibilizados pela Prefeitura do Campus (PRC) acerca dos anos de 2015 a 2019 por meio do histórico de faturas de água do período.

Além disso, foi realizado um balanço hidrométrico – medição *in loco* do consumo de água - , em cada uma das edificações, utilizando os hidrômetros já presentes nos locais. As medições foram realizadas durante uma semana completa para que fosse possível abranger todos os dias, e em dois horários diferentes (uma medição durante o dia e outra durante a noite) para avaliar os volumes consumidos nesse intervalo de tempo e assim possibilitar a identificação de possíveis perdas ativas no sistema hidráulico na edificação, uma vez que praticamente desocupadas não seria esperado consumos de água expressivos.

Com base nos dados obtidos pela leitura dos equipamentos apresentados, seriam feitas comparações dos valores de consumo de água gerados pelas leituras *in loco* com os de faturamento de água disponibilizados pela PCR. Desse modo, seriam feitos apontamentos dos desvios de consumo, caracterizando prováveis indicativos de perdas nas instalações prediais.

#### **4.2.3. QUANTIDADE DE FREQUENTADORES DOS EDIFÍCIOS**

Outro dado relevante para a avaliação do consumo dos prédios e comparação entre esses é a quantidade de alunos que os frequentaram por semana em média. Foi utilizado o Sistema Integrado de Gestão de Atividades Acadêmicas (SIGAA) para obtenção do número de alunos matriculados nas disciplinas ministradas em cada um dos prédios analisados. Para isso, foi necessário acessar o SIGAA – Menu Discente e escolher, respectivamente, as abas Ensino, Consultas e Turmas; então foram informados alguns critérios como: o ano-período, o local, a situação e o tipo de turmas, o procedimento adotado foi semelhante ao apresentado por Fernandes (2017) em trabalho realizado na Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Logo, foram gerados arquivos apresentando todas as turmas e a quantidade de alunos por turma para cada um dos semestres escolhidos em cada uma das edificações estudadas. Por fim, foi somada a quantidade de alunos de cada uma das turmas e o valor do somatório dobrado para se obter a estimativa da quantidade de pessoas que circularam nos edifícios por semana, dado que a maioria das turmas possuem duas aulas por semana mesmo que existam algumas turmas com uma ou até três aulas semanais.

Cabe ressaltar que o valor obtido representa apenas uma estimativa visto que podem acontecer inúmeras intercorrências que gerem discrepância no valor como a ausência de alunos e o cancelamento de aulas. As discrepâncias supracitadas também justificam o fato de não ser acrescida a quantidade de funcionários da universidade que circulam e contribuem para o consumo dessas edificações.

#### **4.2.4. PERÍODOS DO CALENDÁRIO ACADÊMICO**

A identificação dos meses em que os prédios receberam ou não estudantes é fundamental para que as comparações de volume de água consumida com outros anos sejam equilibradas e não distorcidas por consumos de meses sem equivalência de uso e movimentação de pessoas nos edifícios.

Os meses nos anos anteriores nos quais os estudantes da universidade estavam de férias correspondem ao período com baixa movimentação de pessoas no *campus*, situação comparável à atual em razão da pandemia do COVID-19. Enquanto isso, os meses letivos foram os meses com funcionamento completo das atividades desenvolvidas nos edifícios, logo a média de consumo durante os meses letivos torna-se a ideal para tentativas de estabelecer regressões lineares entre o consumo e as variáveis que influenciam em sua modificação. Os meses com aulas somente em algumas semanas foram denominados mistos, por não representarem de maneira autêntica o que se pretende avaliar para cada um dos períodos.

Assim, para a correta avaliação e utilização nas análises realizadas, foi considerado que os meses com o semestre em andamento eram meses letivos, os meses em que houve aulas somente em parte do mês eram mistos e meses sem aulas como meses de férias.

### **4.3. ESTATÍSTICA DESCRITIVA**

#### **4.3.1. FERRAMENTA BOXPLOT PARA ORGANIZAÇÃO DE DADOS**

*Boxplot* é um desenho esquemático que permite a visualização de elementos chave de uma distribuição como: o valor central, a dispersão, a assimetria, a cauda e os *outliers*. Com essa representação gráfica, apresentada na Figura 4.7, é facilitada a identificação dos valores discrepantes e uma análise mais precisa e sucinta acerca dos dados disponíveis, além disso pode ser utilizada para realizar comparações entre várias distribuições. Dessa maneira, a

ferramenta foi útil na organização dos dados de consumo, visto que foi avaliada uma série histórica de dados.

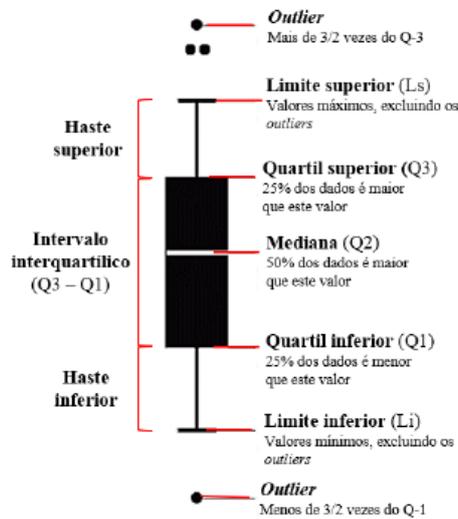


Figura 4.7 Representação das informações do *Boxplot*. (Neto *et al.*, 2017)

O valor central é a mediana, a dispersão é representada pela distância interquartil, a cauda é dada pelo comprimento das linhas laterais, a assimetria formada pela cauda e pela parte do retângulo formada pela linha da mediana e do quartil, e os valores discrepantes por pontos (Akanime e Yamanoto, 2013).

Os outliers são obtidos pelos cálculos dos limites inferior e superior apresentados, respectivamente, na Equação 4.1 e na Equação 4.2.

$$L_i = Q_1 - 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \quad \text{Equação 4.1}$$

$$L_s = Q_3 + 1,5 \cdot (Q_3 - Q_1) \quad \text{Equação 4.2}$$

Sendo:  $L_i$ = Limite inferior;

$L_s$ = Limite superior;

$Q_1$ = Quartil inferior ou primeiro quartil;

$Q_3$ = Quartil superior ou terceiro quartil;

$Q_3 - Q_1$ = Intervalo interquartilício.

Assim, quando o valor foi maior que o limite superior ou menor que o limite inferior foi considerado discrepante e, então, excluído da avaliação para que os dados analisados não fossem influenciados por excepcionalidades.

#### **4.4. REGRESSÃO LINEAR ENTRE CONSUMO DE ÁGUA E SUAS VARIÁVEIS**

As edificações foram escolhidas devido às atividades desenvolvidas em seus ambientes; todas são, essencialmente, ocupadas por salas de aulas. A existência dessa atividade singular possibilita que comparações sejam realizadas entre os consumos existentes em cada prédio ponderados por outros fatores como: área edificada, número de estudantes, área de sala de aula e número de equipamentos hidráulicos e sanitários.

As regressões relacionam o consumo aos fatores supracitados que foram obtidos pelo uso do método de regressão de mínimos quadrados e pelo coeficiente de determinação ( $R^2$ ). No método de regressão de mínimos quadrados, é gerado, por meio de estimativas, um modelo que correlaciona os valores das variáveis em questão. Enquanto o coeficiente de determinação é uma medida da proporção da variância da variável dependente que pode ser prevista pela utilização da variável independente, a correlação é considerada perfeita quando  $R^2$  é igual a 1 (Spiegel e Stephens, 2009).

No projeto, será utilizada a reta de mínimos quadrados. Esta se ajusta ao conjunto de pontos pela Equação 4.3.

$$Y = a_0 + a_1 \cdot X \quad \text{Equação 4.3}$$

Sendo:  $Y$  = Variável dependente;

$X$  = Variável independente;

$a_0, a_1$  = Constantes.

As constantes apresentadas são determinadas pela utilização do sistema de equações composto pela Equação 4.4 e Equação 4.5, estas denominadas de equações normais da reta de mínimos quadrados.

$$\sum Y = a_0 \cdot N + a_1 \cdot \sum X \quad \text{Equação 4.4}$$

$$\sum XY = a_0 \cdot \sum X + a_1 \cdot \sum X^2$$

Equação 4.5

Sendo:  $Y$  = Variável dependente;

$X$  = Variável independente;

$a_0, a_1$  = Constantes;

$N$  = Quantidade de pontos avaliados.

Assim, determinou-se a reta de mínimos quadrados e análise acerca da existência de correlação entre os consumos existentes nas edificações e algumas características físicas e a quantidade de frequentadores dessas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. PRESSÕES OBTIDAS EM CAMPO

Os valores de pressão obtidos em campo, apresentados na Tabela 5.1, foram elevados, fato coerente com o esperado para edifícios com baixo consumo. Entretanto, observou-se que no PJC, PAT e BSAN o resultado foi próximo do limite estabelecido em norma, de 40 mca, que visa mitigar problemas relacionados a perdas nas instalações e degradação dessas. Além disso, na torneira de jardim externa do BSAS, que é abastecida de forma direta, foi registrada uma pressão média de 60,7 mca.

Tabela 5.1 Pressões medidas nas edificações.

Prédio	Local	Pressão (mca) - Leitura 1	Pressão (mca) - Leitura 2	Pressão Média (mca)
PJC	Banheiro BT-115	34,7	34,7	34,7
PAT	Banheiro AT-077	34,8	35,5	35,2
BSAN	Banheiro AT – 07/29	17,0	17,3	17,2
BSAN	Torneira de jardim interna	36,2	36,7	36,5
BSAS	Torneira de piso pavimento térreo	19,3	19,3	19,3
BSAS	Torneira de jardim externa	60,7	60,7	60,7

No BSAN e BSAS, os efeitos da pressão elevada são reduzidos por causa do sistema de abastecimento indireto. Assim, os efeitos negativos que poderiam ser causados nas instalações prediais pela pressão elevada medida nos equipamentos que são abastecidos diretamente no prédio, apresentadas nas Figuras 5.1 e 5.2, não são transferidos para as instalações com as pressões equalizadas pelo reservatório de água como evidenciado pelas medições realizadas com resultados médios iguais a 17,2 mca para o BSAN e 19,3 mca para o BSAS.



Figura 5.1 Pressão da torneira de jardim externa do BSAS – Leitura 1.



Figura 5.2 Pressão da torneira de jardim externa do BSAS – Leitura 2.

Já nos pavilhões, a pressão elevada afeta toda a rede, como observado nas leituras realizadas no interior dos edifícios. Com isso, as ineficiências das instalações prediais são evidenciadas como possíveis vazamentos que aumentam à medida que a pressão na rede cresce.

## 5.2. CONSUMO DE ÁGUA HISTÓRICO E CONSUMO OBTIDO EM CAMPO

Ao utilizar a ferramenta *boxplot* torna-se possível a interpretação mais fidedigna dos dados e exclusão dos *outliers* por esses não representarem o conjunto de dados avaliados, ou seja, são pontos discrepantes. A partir disso, com os dados de consumo mensal das edificações nos anos de 2015 a 2019, exceto para o ano de 2015 no BSAN, foi possível realizar uma análise dos pontos discrepantes por ano. Essa análise foi feita desse modo devido às mudanças expressivas de consumo observadas após o início do racionamento de água em janeiro de 2017 em Brasília. Os *boxplots* para os edifícios avaliados no estudo podem ser observados nas Figuras 5.3 a 5.6.

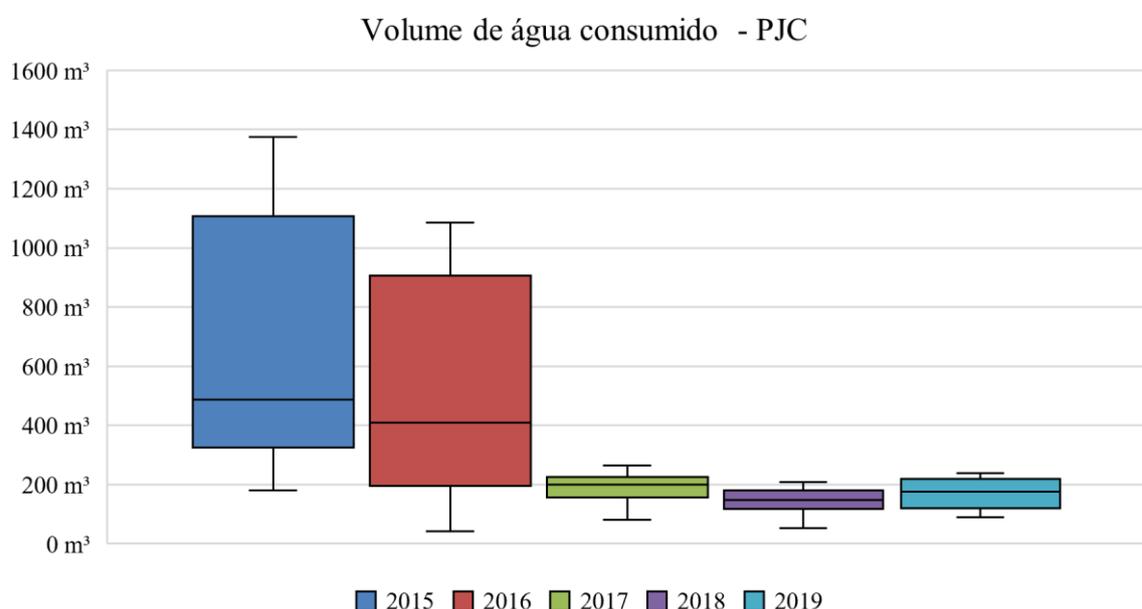


Figura 5.3 Boxplot do volume de água consumido no Pavilhão João Calmon nos anos de 2015 a 2019.

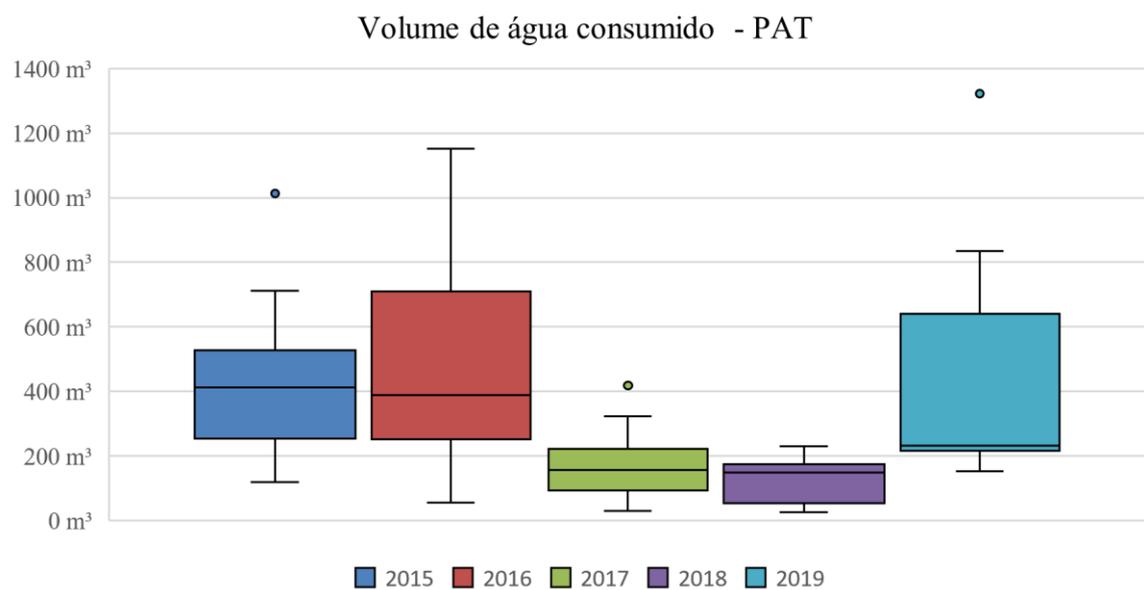


Figura 5.4 Boxplot do volume de água consumido no Pavilhão Anísio Teixeira nos anos de 2015 a 2019.

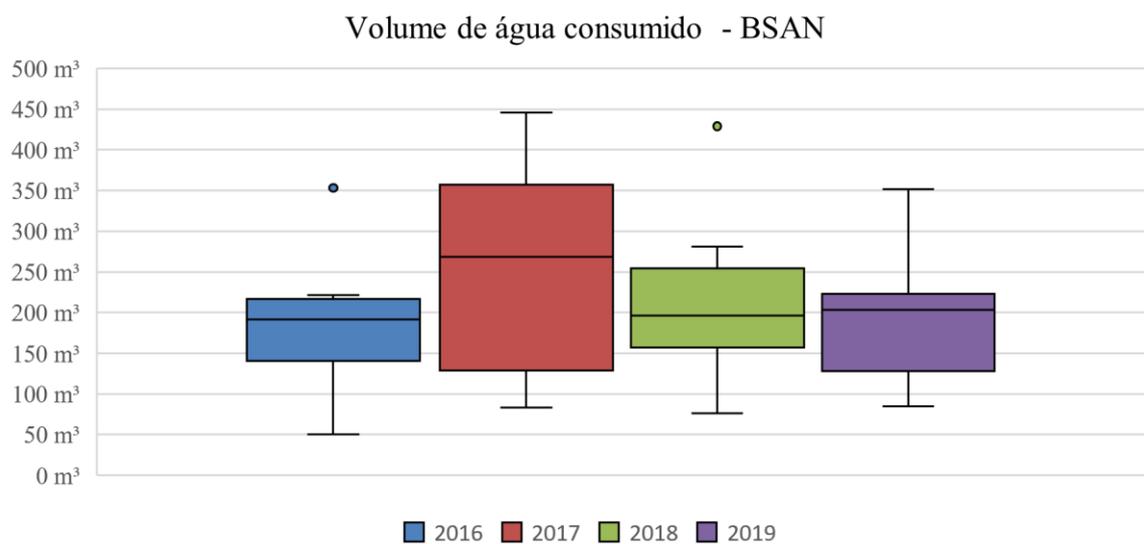


Figura 5.5 Boxplot do volume de água consumido no Bloco de Salas de Aula Norte nos anos de 2016 a 2019.

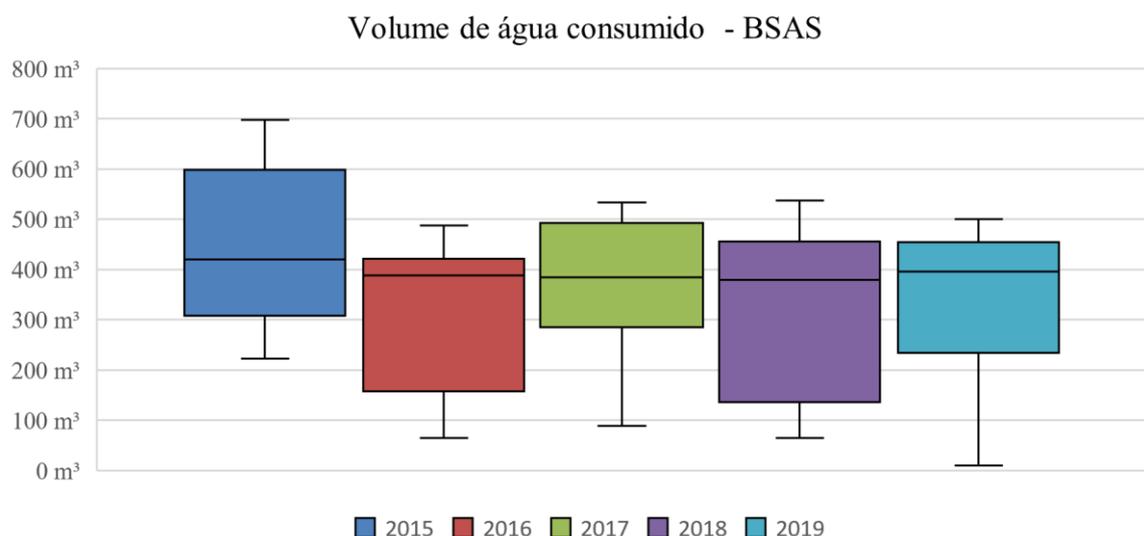


Figura 5.6 Boxplot do volume de água consumido no Bloco de Salas de Aula Sul nos anos de 2015 a 2019.

Assim, foram excluídos dos cálculos para a média de consumo mensal nos edifícios os meses identificados como outliers, apresentados na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Meses com consumo discrepante.

Meses com Consumo Discrepante
Setembro 2015 - PAT
Outubro 2016 - BSAN
Mai 2017 - PAT
Junho 2017 - PAT (Não recebido)
Dezembro 2018 - BSAN
Abril 2019 - PAT
Mai 2019 - PAT

Com a exclusão dos meses expostos na Tabela 5.2, foi calculada a média de consumo dos edifícios por mês para cada um dos anos em análise nesse projeto. As médias estão apresentadas na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 Média do consumo mensal de água dos edifícios.

Ano	Volume - PJC (m³)	Volume - PAT (m³)	Volume - BSAN (m³)	Volume - BSAS (m³)
2015	666	387	-	442
2016	515	480	168	308
2017	188	155	255	370
2018	144	127	190	321
2019	171	316	195	330

Para possibilitar a realização de análises mais realistas, foi feito o estudo de período do calendário para cada um dos meses dos anos avaliados. A situação dos meses em todos os anos, apresentada na Tabela 5.4, foi igual.

Tabela 5.4 Meses de aulas e férias na universidade para os anos de 2015 a 2019.

JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Férias	Férias	Misto	Letivo	Letivo	Letivo	Misto	Misto	Letivo	Letivo	Letivo	Misto

Logo, foi realizado o cálculo de consumo médio tanto para o período de aulas como para o período de férias por prédio por ano. Os resultados para cada prédio são apresentados nas Tabelas 5.5 a 5.8.

Tabela 5.5 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Pavilhão João Calmon.

Ano	Volume - Letivo (m <sup>3</sup> )	Volume - Férias (m <sup>3</sup> )
2015	954	260
2016	592	92
2017	219	199
2018	169	104
2019	212	105

Tabela 5.6 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Pavilhão Anísio Teixeira.

Ano	Volume - Letivo (m <sup>3</sup> )	Volume - Férias (m <sup>3</sup> )
2015	453	128
2016	511	217
2017	200	62
2018	176	48
2019	394	212

Tabela 5.7 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Bloco de Salas de Aula Norte.

Ano	Volume - Letivo (m <sup>3</sup> )	Volume - Férias (m <sup>3</sup> )
2015	-	-
2016	206	136
2017	285	102
2018	231	196
2019	254	93

Tabela 5.8 Consumo médio mensal nos períodos letivo e de férias para o Bloco de Salas de Aula Sul.

Ano	Volume - Letivo (m <sup>3</sup> )	Volume - Férias (m <sup>3</sup> )
2015	538	233
2016	417	198
2017	465	194
2018	394	182
2019	441	135

Por fim, foi realizada a leitura em campo dos hidrômetros para avaliação do consumo atual. Assim, torna-se possível uma comparação entre as informações adquiridas em campo e os resultados provenientes do estudo do histórico de consumos faturados. Essa comparação é viável ao se projetar o consumo mensal utilizando os dados observados durante uma semana nos edifícios, visto que não se esperava que o consumo observado no período de aulas remotas mudasse ao longo do mês. Deve-se observar que os consumos devem ser extrapolados com base em uma análise do consumo semanal que indica continuidade ou não da quantidade de água utilizada em cada prédio. Além disso, esses valores podem ser validados a partir dos dados fornecidos pela PRC com as informações de volume medido pela CAESB no mês de setembro.

A partir das leituras para o Pavilhão João Calmon, apresentados na Tabela 5.9, fica nítido um consumo extrapolado no edifício e pode ser observado que este é relevante durante as 24 horas do dia, conforme exposto na Tabela 5.10.

Tabela 5.9 Leitura do hidrômetro do Pavilhão João Calmon.

Dia	Leitura (Manhã)		Leitura (Tarde)	
20/set	06h32	29010,39 m <sup>3</sup>	18h51	29024,53 m <sup>3</sup>
21/set	06h34	29026,27 m <sup>3</sup>	18h25	29055,53 m <sup>3</sup>
22/set	06h40	29075,41 m <sup>3</sup>	18h28	29095,16 m <sup>3</sup>
23/set	06h44	29096,32 m <sup>3</sup>	18h17	29112,11 m <sup>3</sup>
24/set	06h45	29124,27 m <sup>3</sup>	19h25	29144,24 m <sup>3</sup>
25/set	06h46	29144,67 m <sup>3</sup>	18h06	29145,09 m <sup>3</sup>
26/set	07h38	29145,57 m <sup>3</sup>	18h13	29145,93 m <sup>3</sup>

Tabela 5.10 Diferença entre leituras do hidrômetro do Pavilhão João Calmon.

Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia
14,140 m <sup>3</sup>	1,740 m <sup>3</sup>	29,260 m <sup>3</sup>	19,880 m <sup>3</sup>	19,750 m <sup>3</sup>	1,160 m <sup>3</sup>	15,790 m <sup>3</sup>	12,160 m <sup>3</sup>	19,970 m <sup>3</sup>	0,430 m <sup>3</sup>	0,420 m <sup>3</sup>	0,480 m <sup>3</sup>	0,360 m <sup>3</sup>

Ao se realizar a projeção dos dados para o mês de setembro completo, obteve-se um volume de 580,886 m<sup>3</sup> e os dados fornecidos pela CAESB para o mês de setembro de 2021 indicam um consumo de 404 m<sup>3</sup>. Os valores observados são maiores do que as médias dos períodos de férias de todos os anos avaliados no estudo e superam o volume do período letivo de 2017, 2018 e 2019. Assim, tem-se indícios expressivos que existiam perdas de água ativas nas instalações hidráulicas da edificação.

Os dados da pesquisa de campo do PAT, apresentados na Tabela 5.11, atingiram para a projeção simples para o período mensal um volume de 254,42 m<sup>3</sup> e a fatura da CAESB para setembro de 2021 indicou o consumo de 285 m<sup>3</sup>. Esses valores são superiores a qualquer período de férias dos anos estudados e aos anos letivos de 2017 e 2018. Além disso, ao se calcular o consumo a cada 12 horas no prédio, Tabela 5.12, nota-se um consumo alto, inclusive nos finais de semana, que corrobora para a hipótese de que haja perdas de água nas instalações do prédio.

Tabela 5.11 Leituras do hidrômetro do Pavilhão Anísio Teixeira.

Dia	Leitura (Manhã)		Leitura (Tarde)	
	Horário	Valor (m <sup>3</sup> )	Horário	Valor (m <sup>3</sup> )
20/set	06h34	23021,31 m <sup>3</sup>	18h53	23028,80 m <sup>3</sup>
21/set	06h35	23032,23 m <sup>3</sup>	18h24	23036,49 m <sup>3</sup>
22/set	06h39	23040,04 m <sup>3</sup>	18h27	23048,03 m <sup>3</sup>
23/set	06h42	23051,61 m <sup>3</sup>	18h16	23055,56 m <sup>3</sup>
24/set	06h46	23059,20 m <sup>3</sup>	19h24	23066,95 m <sup>3</sup>
25/set	06h44	23070,45 m <sup>3</sup>	18h07	23073,70 m <sup>3</sup>
26/set	07h39	23077,63 m <sup>3</sup>	18h15	23080,73 m <sup>3</sup>

Tabela 5.12 Diferença entre leituras do hidrômetro do Pavilhão Anísio Teixeira.

Dia	Noite	Dia										
7,490 m <sup>3</sup>	3,430 m <sup>3</sup>	4,260 m <sup>3</sup>	3,550 m <sup>3</sup>	7,990 m <sup>3</sup>	3,580 m <sup>3</sup>	3,950 m <sup>3</sup>	3,640 m <sup>3</sup>	7,750 m <sup>3</sup>	3,500 m <sup>3</sup>	3,250 m <sup>3</sup>	3,930 m <sup>3</sup>	3,100 m <sup>3</sup>

Para o BSAN, as informações acerca das leituras dos hidrômetros e a diferenças entre essas estão apresentadas, respectivamente, nas Tabelas 5.13 e 5.14. O volume mensal projetado foi de 135,531 m<sup>3</sup> e o medido para setembro de 2021 pela CAESB foi de 111 m<sup>3</sup>, esses valores foram maiores que as médias do período férias de 2017 e 2019, mas inferiores aos meses de 2016 e 2018. Além disso, foram menores que os apresentados nos meses letivos.

Esses dados indicam que o a situação no Bloco de Salas de Aula Norte é condizente com outros anos e as instalações provavelmente não apresentam perdas ativas.

Tabela 5.13 Leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Norte.

Dia	Leitura (Manhã)		Leitura (Tarde)	
	20/set	06h29	11854,466 m <sup>3</sup>	18h56
21/set	06h32	11857,617 m <sup>3</sup>	18h28	11859,372 m <sup>3</sup>
22/set	06h37	11859,888 m <sup>3</sup>	18h30	11861,695 m <sup>3</sup>
23/set	06h41	11861,896 m <sup>3</sup>	18h19	11882,808 m <sup>3</sup>
24/set	06h43	11883,054 m <sup>3</sup>	19h27	11885,588 m <sup>3</sup>
25/set	06h42	11885,760 m <sup>3</sup>	18h04	11885,867 m <sup>3</sup>
26/set	07h37	11886,011 m <sup>3</sup>	18h19	11886,090 m <sup>3</sup>

Tabela 5.14 Diferença entre leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Norte.

Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia	Noite	Dia
2,674 m <sup>3</sup>	0,477 m <sup>3</sup>	1,755 m <sup>3</sup>	0,516 m <sup>3</sup>	1,807 m <sup>3</sup>	0,201 m <sup>3</sup>	20,912 m <sup>3</sup>	0,246 m <sup>3</sup>	2,534 m <sup>3</sup>	0,172 m <sup>3</sup>	0,107 m <sup>3</sup>	0,144 m <sup>3</sup>	0,079 m <sup>3</sup>

Cabe ressaltar ainda que no dia 23 de setembro houve um consumo alto de 20,912 m<sup>3</sup>. Esse consumo, como pode ser observado na Tabela 5.12, não corresponde, provavelmente, a problemas nas instalações, logo deve ser considerado como um consumo extraordinário, por exemplo uma descarga de reservatório para manutenção. Essa análise vai ao encontro da indicação de que não existem problemas graves de perdas de água no BSAN.

No BSAS, observou-se um consumo como esperado para edificação que não possui demanda expressiva, sendo somente a necessária para manutenção e conservação dos prédios e para consumo dos funcionários responsáveis pela segurança e vigilância do local. Os dados das leituras do hidrômetro são apresentados na Tabela 5.15 e a diferença entre as leituras na Tabela 5.16.

Tabela 5.15 Leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Sul.

Dia	Leitura (Manhã)		Leitura (Tarde)	
	20/set	06h39	5546,526 m <sup>3</sup>	18h46
21/set	06h39	5549,352 m <sup>3</sup>	18h21	5550,561 m <sup>3</sup>
22/set	06h44	5550,932 m <sup>3</sup>	18h23	5551,961 m <sup>3</sup>
23/set	06h47	5552,282 m <sup>3</sup>	18h12	5553,110 m <sup>3</sup>
24/set	06h49	5553,483 m <sup>3</sup>	19h20	5555,583 m <sup>3</sup>
25/set	06h53	5555,802 m <sup>3</sup>	18h11	5555,929 m <sup>3</sup>
26/set	07h43	5556,020 m <sup>3</sup>	18h26	-

Tabela 5.16 Diferença entre leituras do hidrômetro do Bloco de Salas de Aula Sul.

Dia	Noite	Dia										
2,566 m <sup>3</sup>	0,260 m <sup>3</sup>	1,209 m <sup>3</sup>	0,371 m <sup>3</sup>	1,029 m <sup>3</sup>	0,321 m <sup>3</sup>	0,828 m <sup>3</sup>	0,373 m <sup>3</sup>	2,100 m <sup>3</sup>	0,219 m <sup>3</sup>	0,127 m <sup>3</sup>	0,091 m <sup>3</sup>	-

Com esses valores, foi possível realizar a projeção para o mês que foi igual a 40,689 m<sup>3</sup> e a medição do mês de setembro de 2021 foi de 0 m<sup>3</sup>, que pode indicar uma falha no processo de medição dado que foram realizadas leituras em campo no período que apresentam consumo na edificação. Assim, a partir da projeção calculada, pode-se concluir que o consumo no prédio é pequeno como esperado e não há indícios de perdas nas instalações.

### 5.3. CONSUMO HISTÓRICO DE ÁGUA E REGRESSÃO LINEAR ENTRE O CONSUMO E SUAS VARIÁVEIS

A partir dos valores de consumo fornecidos pela PRC também foi possível gerar regressões lineares entre o consumo e algumas características construtivas e número de frequentadores das edificações. As características selecionadas para se observar se o consumo tem relação linear, pela regressão linear dos mínimos quadrados, foram a quantidade de equipamentos hidrossanitários, quantidade de vasos sanitários, área edificada dos prédios, área de salas de aula e número de frequentadores dos prédios (Heller e Pádua, 2006). Cabe ressaltar que para a avaliação desse consumo histórico é relevante a utilização da média do consumo durante o período letivo dos anos, visto que é a época na qual os edifícios estão com o pleno funcionamento de sua atividade principal, do seu espaço, dos seus equipamentos hidrossanitários e com a movimentação de uma quantidade de pessoas mais próxima do estimado no estudo. As equações calculadas, gráficos gerados e valores dos coeficientes de determinação para todas as hipóteses propostas estão apresentados no Apêndice A.

Os equipamentos hidrossanitários considerados para a hipótese de correlação foram as pias, torneiras, vasos sanitários, mictórios, chuveiros e bebedouros. A quantidade de equipamentos hidrossanitários foi selecionada pelo consumo expressivo que esses equipamentos têm em relação ao total do consumo de prédios de sala de aula, visto que esses não possuem, como em laboratórios, outros equipamentos que consumam água expressivamente. Ao se analisar as equações geradas, foram obtidos coeficientes de determinação baixos para a análise dos 5 anos presentes no estudo. O melhor resultado foi do ano de 2017, apresentado na Equação 5.1 e no gráfico exposto na Figura 5.7, com um

valor de coeficiente de determinação de 0,534 e o pior para a Equação 5.2 calculada para o ano de 2019 que obteve um coeficiente de determinação de 0,0013, o gráfico dessa equação pode ser observado na Figura 5.8.

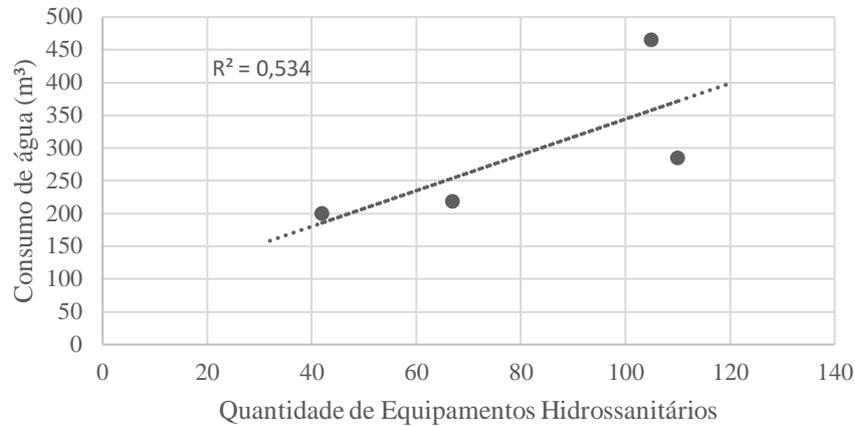


Figura 5.7 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários - 2017.

$$C = 747,72 - 3,904 \cdot X \quad \text{Equação 5.1}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m³; X = Quantidade de equipamentos hidrossanitários.

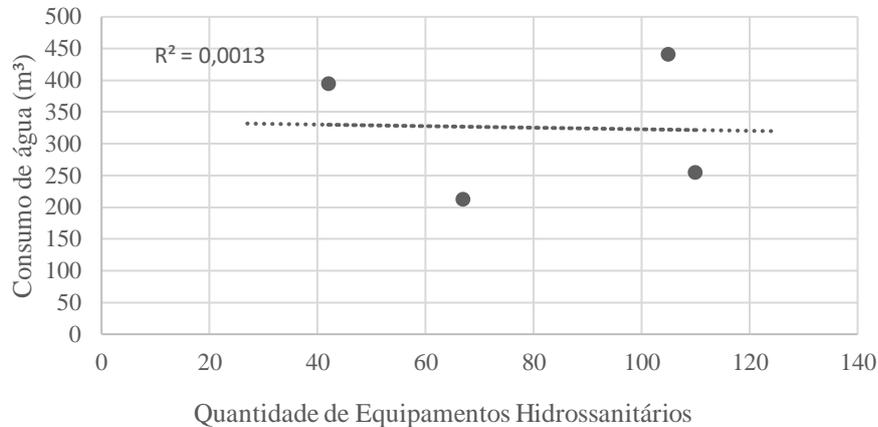


Figura 5.8 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários - 2019.

$$C = 335,17 - 0,1225 \cdot X \quad \text{Equação 5.2}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m³; X = Quantidade de equipamentos hidrossanitários.

Logo, é notório que a quantidade de equipamentos hidrossanitários não tem relação linear com o consumo de água nas edificações.

Dentre os equipamentos hidrossanitários, se destacam os vasos sanitários. A relevância do consumo desses equipamentos faz com que se torne importante uma análise de regressão linear entre o consumo das edificações e os vasos sanitários. Pode-se observar as regressões lineares entre os dois nas Equações 5.3 e 5.4, que correspondem respectivamente aos anos de 2017 e 2015, e nos gráficos expostos nas Figuras 5.9 e 5.10.

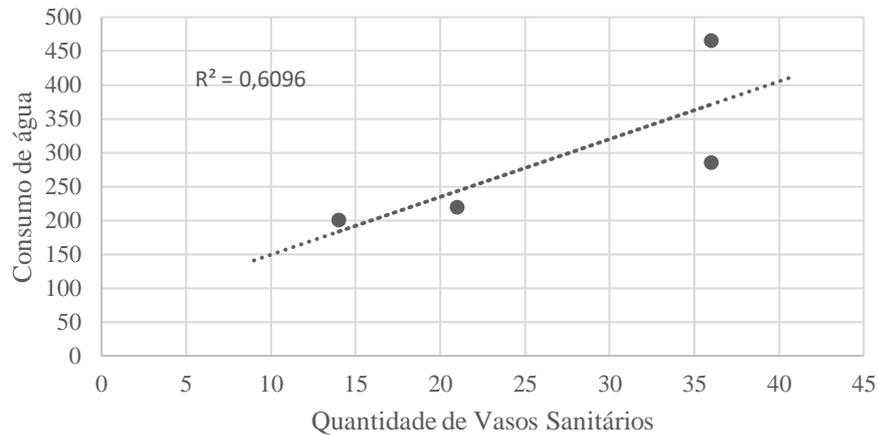


Figura 5.9 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários - 2017.

$$C = 64,082 + 8,5297 \cdot X \quad \text{Equação 5.3}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m<sup>3</sup>; X = Quantidade de vasos sanitários.

O coeficiente de determinação calculado foi de 0,6096, esse foi o maior valor calculado entre os anos avaliados no estudo. Entretanto, não indica que haja uma relação linear entre as variáveis.

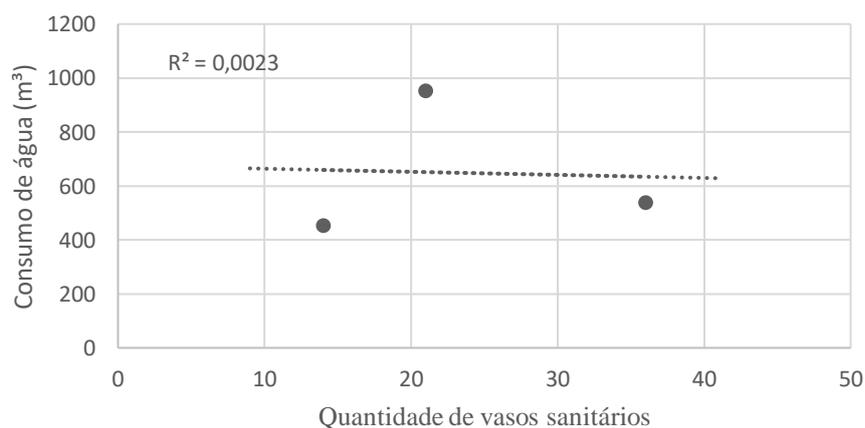


Figura 5.10 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários - 2015.

$$C = 675,28 - 1,1385 \cdot X \quad \text{Equação 5.4}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m<sup>3</sup>; X = Quantidade de vasos sanitários.

A situação com menor coeficiente de determinação foi a do ano de 2015 com 0,0023, então conclui-se que não há relação linear entre a quantidade de vasos sanitários e o consumo de água nas edificações.

A área construída das edificações também é um fator relevante para o consumo de água dos prédios. Além desses prédios naturalmente receberem mais pessoas, demandam maior volume de água para a manutenção do local. A regressão com maior coeficiente de determinação – 0,8866 - é expressa pela Equação 5.5 e representada graficamente na Figura 5.11, essa corresponde ao ano de 2017. Enquanto a Equação 5.6, referente ao ano de 2015, apresenta o coeficiente de determinação igual a 0,1208 e tem seu gráfico exposto na Figura 5.12.

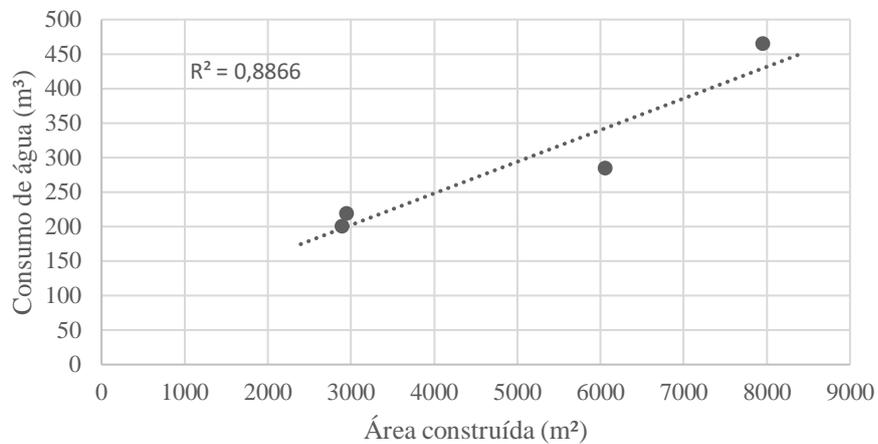


Figura 5.11 Regressão linear entre consumo de água e área construída - 2017.

$$C = 64,623 + 0,0459 \cdot X \quad \text{Equação 5.5}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m³; X = Área construída, em m².

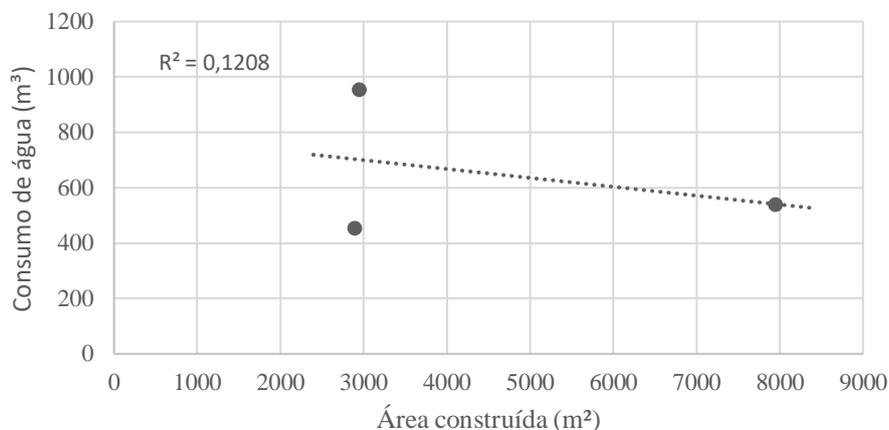


Figura 5.12 Regressão linear entre consumo de água e área construída - 2015.

$$C = -0,0321 \cdot X + 795,93 \quad \text{Equação 5.6}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m<sup>3</sup>; X = Área construída, em m<sup>2</sup>.

Os valores calculados para os coeficientes de determinação dos anos são baixos e indicam a falta de linearidade ao se observar o consumo de água nas edificações frente a variável área construída.

Como as edificações estudadas possuem áreas de convívio e circulação com diferenças expressivas, também é importante que haja uma avaliação das regressões entre o consumo observado e as áreas das salas de aula dado que essas refletem melhor a quantidade de água consumida para a atividade principal das edificações estudadas que são as aulas ministradas para os estudantes. A linearidade entre as variáveis foi expressiva para os anos de 2017 e 2018, com valores de coeficientes de determinação de 0,9958 e 0,9952, respectivamente. A Equação 5.7 e a Figura 5.13 correspondem ao ano de 2017 e a Equação 5.8 e a Figura 5.14 ao ano de 2018.

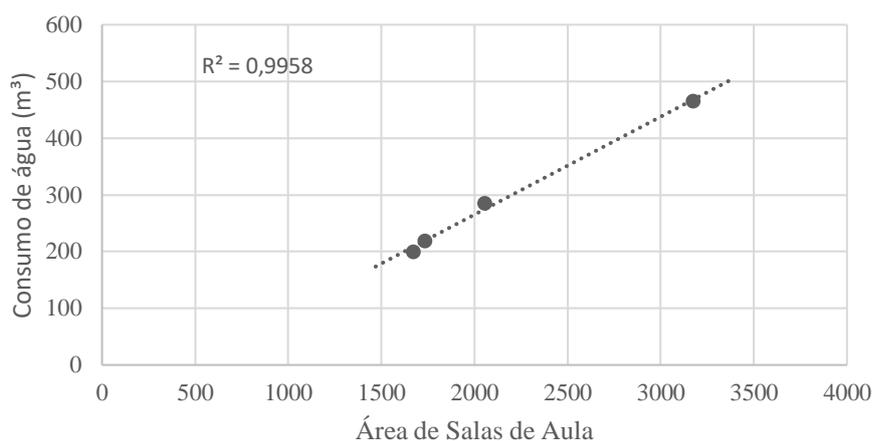


Figura 5.13 Regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula - 2017.

$$C = 80,151 + 0,1727 \cdot X \quad \text{Equação 5.7}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m<sup>3</sup>; X = Área construída, em m<sup>2</sup>.

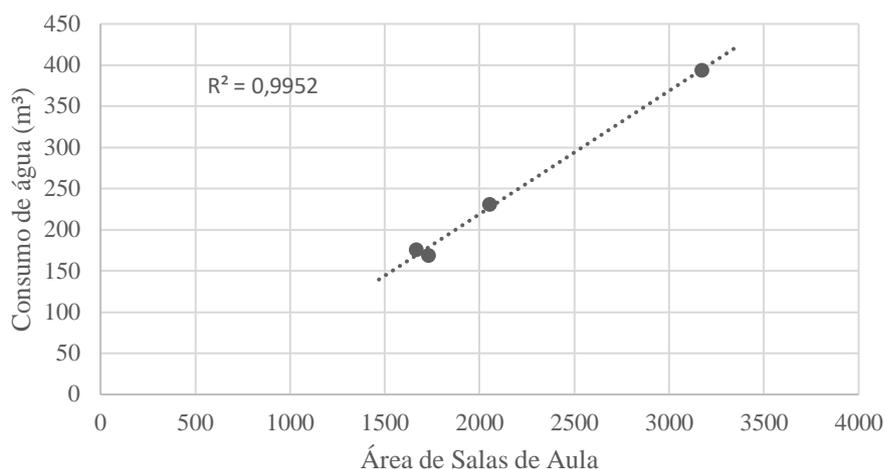


Figura 5.14 Regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula - 2018.

$$C = 80,318 + 0,1497 \cdot X \quad \text{Equação 5.8}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m<sup>3</sup>; X = Área construída, em m<sup>2</sup>.

Nessa análise foram obtidos, para os anos de 2017 e 2018, coeficientes de determinação altos que indicam linearidade entre o consumo dos prédios e a área de salas de aula. Contudo, não foram obtidos os mesmos resultados ao se observar outros anos e a falta de consistência impossibilita a confirmação de linearidade entre as variáveis. Nos anos de 2015 e 2016, por exemplo, os coeficientes de determinação foram, respectivamente, de 0,1034 e 0,0795.

Por fim, outro fator que deve ser considerado é a quantidade de estudantes que frequentam as edificações, dado que o consumo é influenciado pelo número de utilizadores do sistema. Ao se analisar a linearidade dessas duas variáveis, obteve-se como maior coeficiente de determinação 0,7647, para o ano de 2017, e 0,0695 como o menor valor que corresponde ao ano de 2016. A Equação 5.9 e o gráfico exposto na Figura 5.15 correspondem ao ano de 2016 e a Equação 5.10 e o gráfico apresentado na Figura 5.16 ao ano de 2017.

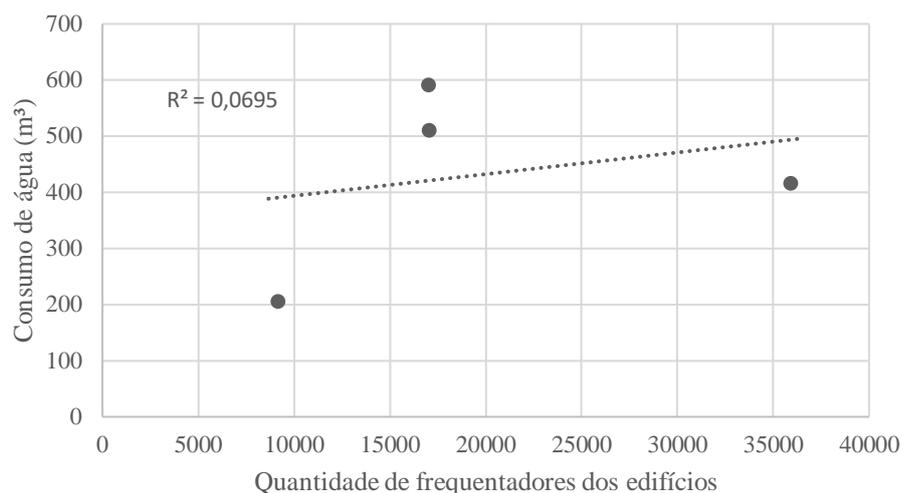


Figura 5.15 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores dos edifícios - 2016.

$$C = 355,16 + 0,0039 \cdot X \quad \text{Equação 5.9}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m³; X = Quantidade de frequentadores dos edifícios.

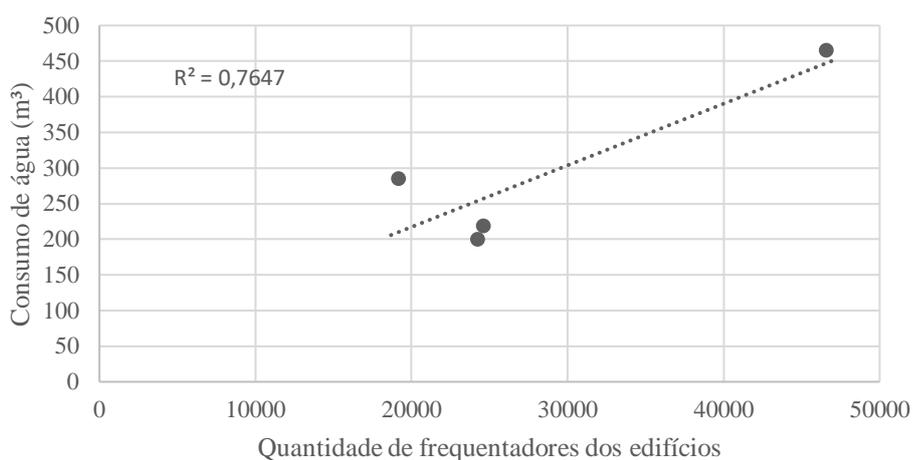


Figura 5.16 Regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores dos edifícios - 2017.

$$C = 44,244 + 0,0087 \cdot X \quad \text{Equação 5.10}$$

Sendo: C = Consumo de água, em m³; X = Quantidade de frequentadores dos edifícios.

Os valores obtidos para os coeficientes de determinação indicam que essa hipótese de linearidade também não foi atendida, ou seja, não se pode afirmar que exista uma relação linear entre o consumo de água nas edificações e sua quantidade de frequentadores.

Por fim, cabe ressaltar que os melhores valores de coeficientes de determinação nos anos avaliados foram, no geral, para os anos de 2017 e 2018. Esses anos foram caracterizados por

uma redução no consumo e maior atenção dos indivíduos e das autoridades responsáveis em relação a perdas e desperdícios de água devido ao racionamento de água instituído no Distrito Federal.

## 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As pressões medidas por manômetros nos prédios foram elevadas, como esperado para um período sem consumo de água nestes. Entretanto, a proximidade com o valor limite de pressão apresentado na norma NBR 12218/2017 no PJC, PAT e BSAN são preocupantes e o limite é ultrapassado na entrada de água do BSAS. Nos Blocos de Salas de Aula, a situação é amenizada pela existência do sistema de abastecimento indireto que mitiga as pressões que são impostas às instalações prediais, mas a pressão elevada nos Pavilhões contribui para que perdas de água nos sistemas de instalações sejam maximizadas.

Ao analisar os dados de consumo disponibilizados pela Prefeitura do Campus, torna-se evidente a necessidade de discriminação dos volumes consumidos de acordo com os períodos de ocupação das edificações e as comparações que se pretende realizar. O alto consumo medido em campo em comparação com o histórico de dados, mesmo com os prédios sem serem utilizados, indica que existam perdas nas instalações desses.

A existência das perdas de água fica evidente ao avaliar o consumo das edificações nos períodos de 12 horas e notar consumos elevados mesmo no período da noite, no qual as atividades de manutenção e conservação, que seguem sendo realizadas nos prédios, não são feitas. Destacam-se, nesse sentido, o PJC que superou o consumo médio do período letivo de 2017 a 2019 e o PAT com o consumo maior do que a média do período letivo de 2017 e 2018. Nos Blocos de Salas de Aula Norte e Sul, o consumo de água apresentou-se dentro dos valores esperados ao se analisar a série histórica durante os meses em que os alunos estavam férias, ou seja, as edificações estavam com sua utilização reduzida como é atualmente.

A avaliação da regressão linear entre os indicadores propostos e o consumo durante o período letivo nos edifícios não comprovou nenhuma das hipóteses propostas. Isso indica que para se obter uma equação que represente bem o consumo de água nas edificações de ensino, devem ser consideradas as diferentes características construtivas e quantidade de frequentadores em conjunto, ou seja, desenvolver uma regressão multivariada que observa as diferentes variáveis que impactam o consumo de água e suas relevâncias para esse.

Como sugestões e recomendações para trabalhos futuros, tem-se a possibilidade de desenvolvimento de regressões multivariadas utilizando as variáveis indicadas pela literatura como as mais relevantes para o consumo de água das edificações. A fim de se obter mais

dados, deve-se utilizar um período histórico maior, para que fiquem mais evidentes as relações entre as variáveis e o consumo. Além disso, deve ser feita uma análise mais fidedigna da quantidade de frequentadores dos edifícios para melhor alinhamento entre dados utilizados e a realidade.

Cabe destacar também que para o melhor entendimento dos padrões de consumo devem ser instalados equipamentos de medição de pressão e volume de água consumido que gerem uma quantidade maior de dados a serem avaliadas.

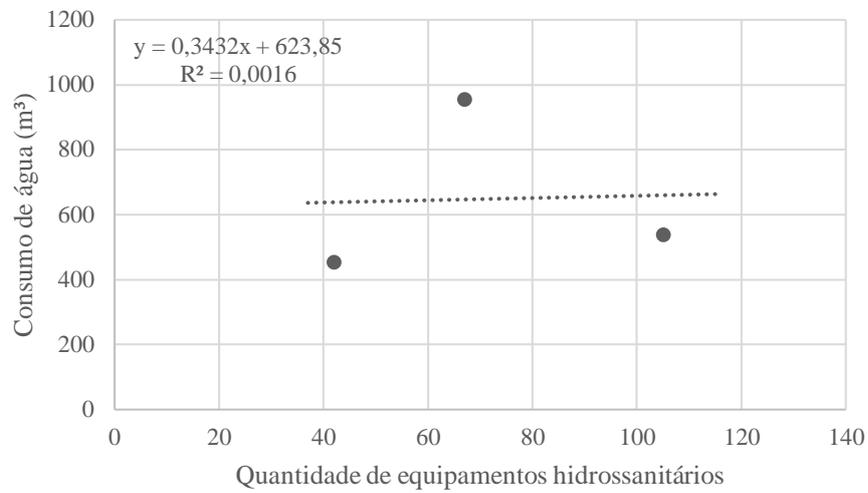
## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público - Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2020). *NBR 5626: Instalação predial de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção*. Rio de Janeiro.
- Adasa - Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal. (2021). *Relatório de Histórico de Consumo de Água Tratada*. Disponível: <[http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area\\_de\\_atuacao/abastecimento\\_agua\\_esgotamento\\_sanitario/Painel\\_BOLETIM\\_RESUMO.pdf](http://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/Painel_BOLETIM_RESUMO.pdf)>. Acesso em: abril de 2021.
- Akanime, C. T., & Yamanoto, R. K. (2013). *Estudo Dirigido de Estatística Descritiva* (3ª ed.). São Paulo: Editora Érica.
- Araújo, G.A.; Virgolim, V.R. (2010). *Análise de consumo de água e perdas no Campus da UnB*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Barbosa, G.G.; Bezerra, S.P.; Sant’Ana, D. (2018). “Indicadores de consumo de água e análise comparativa entre o aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edificações de ensino do *Campus Darcy Ribeiro*.” In: *Paranoá: Cadernos de Arquitetura e Urbanismo*.
- Fernandes, M. J. (2017). “*Estimativa do consumo de água em edificações de um campus universitário, no contexto de uso racional de água.*” In: *XVII Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- Heller, L., & Pádua, V. L. (2010). *Abastecimento de água para consumo humano* (2ª ed., Vol. 1). Belo Horizonte: Editora UFMG.
- Martins, M.M. (2019). *Análise dos padrões de pressão e vazão nas instalações prediais de água do Instituto Central de Ciências no Campus Darcy Ribeiro*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Matos, C.R.; Lopes, T.P.R.M. (2016). *Consumo de água no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília: estudo de medidas para redução de perdas*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Ministério da Saúde (2017). *Portaria de Consolidação Nº 5*.

- Nakagawa, A.K. (2009). *Caracterização Do Consumo De Água Em Prédios Universitários: O Caso Da UFBA*. 183p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia. Salvador.
- Oliveira, R.S. (2018). *Estudo de reservatórios e redução de perdas de água na Universidade de Brasília – Campus Darcy Ribeiro*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- Porto, R. (2006). *Hidráulica Básica* (4ª ed.). São Carlos: EESC USP.
- Rabelo, A.V. (2020). *Análise de consumo e pressão nos ramais prediais do ICC*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2020). *Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos – 2019*. Brasília.
- Spiegel, M. R., & Stephens, L. J. (2009). *Estatística* (4ª ed.). São Paulo: Coleção Schaumm.
- UnB - Universidade de Brasília (2020). Anuário Estatístico 2020, 22ª. Disponível: <<https://anuario-estatistico-unb-2020.netlify.app/geral.html#%C3%A1rea-f%C3%ADsica-do-campus-universit%C3%A1rio-darcy-ribeiro-2019>>. Acesso em: abril de 2021.
- U.S. Environmental Protection Agency Office of Water (2010). *Control and Mitigation of Drinking Water Losses in Distribution Systems*. Washington, D.C., EUA.
- Veról, A. P., Vazquez, E. G., & Miguez, M. G. (2021). *Sistemas prediais hidráulicos e sanitários: projetos práticos e sustentáveis* (1 ed.). Rio de Janeiro: LTC.
- Yagoub, M. M., AlSumaiti, T. S., Ebrahim, L., Ahmed, Y., & Abdulla, R. (16 de dezembro de 2019). *Pattern of Water Use at the United Arab*. Water.
- Yassuda E. R.; Oliveira W.E.; Gaglianone S.; Nogami P. S.; Pereira B. E. B.; Martins J. A. *Técnica de abastecimento e tratamento de água*. 2 ed. São Paulo: CETESB, 1976.

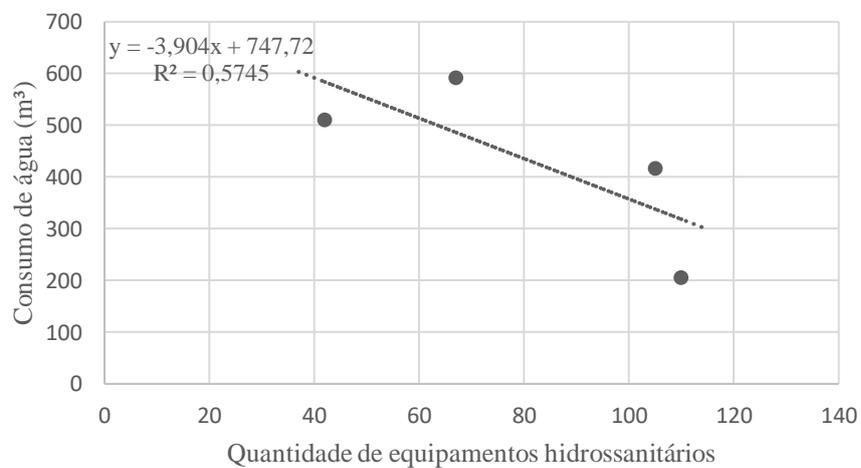
## APÊNDICE A

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários no ano de 2015.**



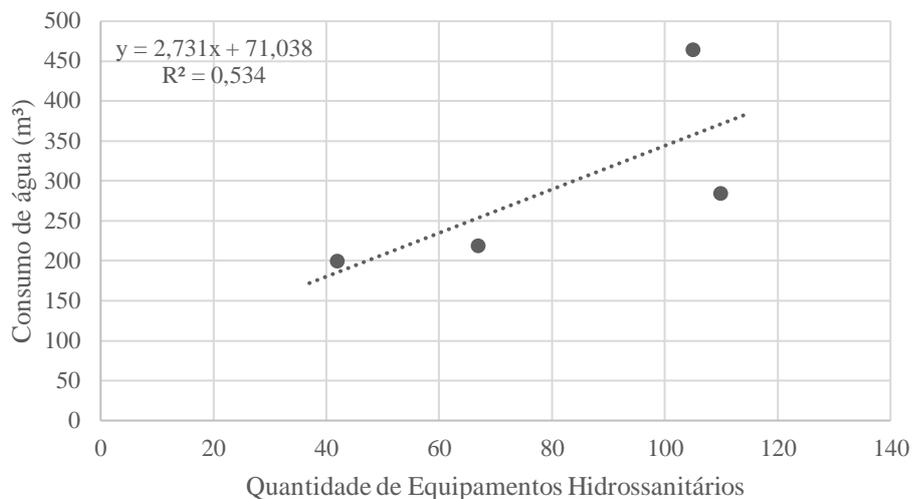
$$C = 623,85 + 0,3432 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários no ano de 2016.**



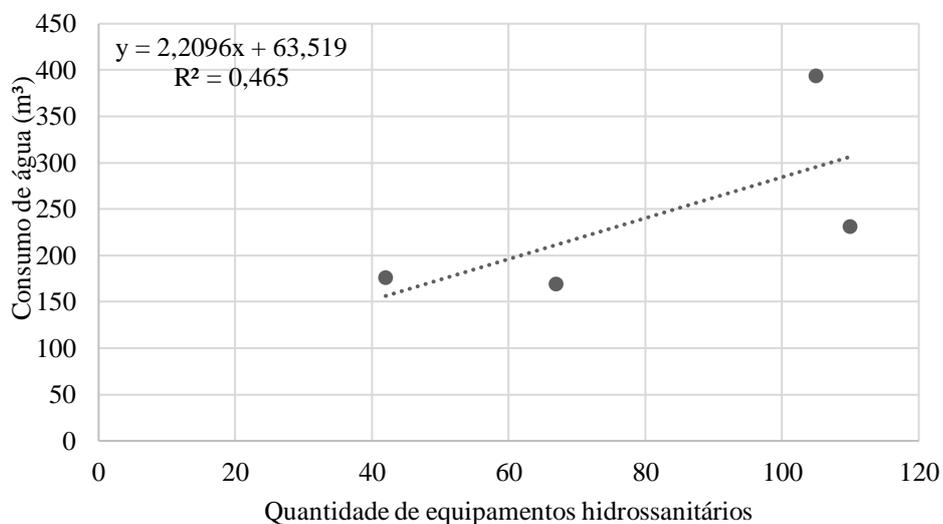
$$C = 747,72 - 3,904 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários no ano de 2017.**



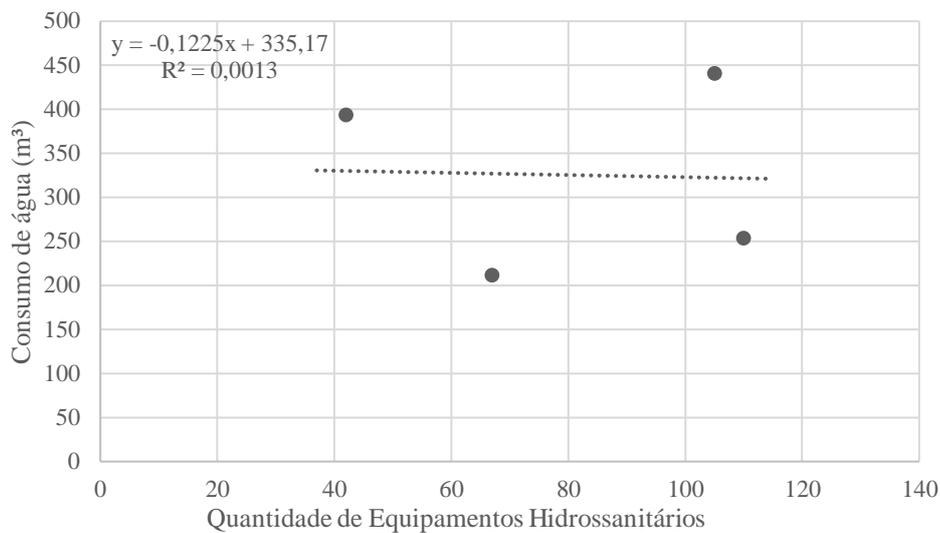
$$C = 71,038 + 2,731 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários no ano de 2018.**



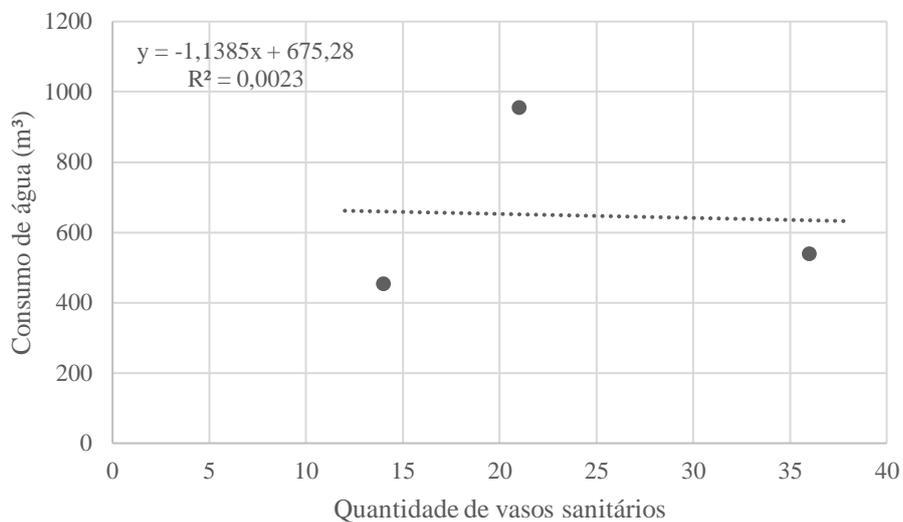
$$C = 63,519 + 2,2096 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de equipamentos hidrossanitários no ano de 2019.**



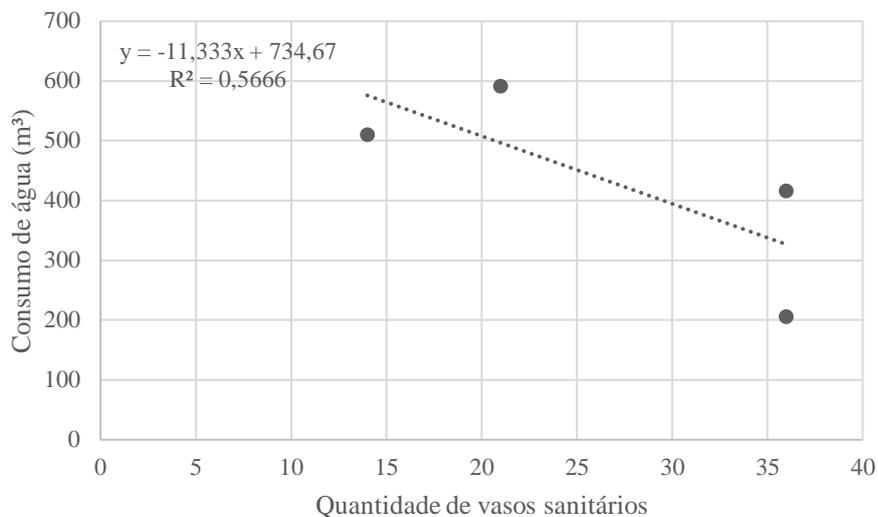
$$C = 335,17 - 0,1225 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários no ano de 2015.**



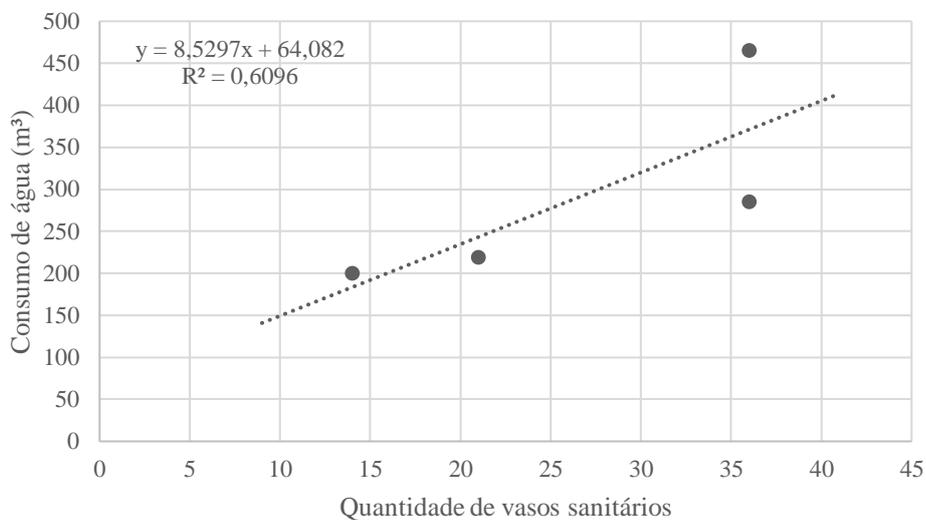
$$C = 675,28 - 1,1385 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários no ano de 2016.**



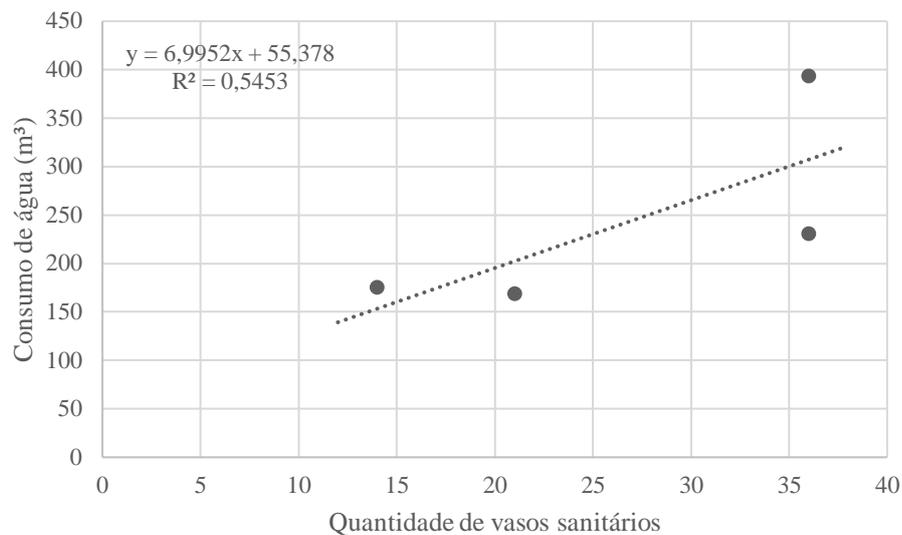
$$C = 734,67 - 11,333 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários no ano de 2017.**



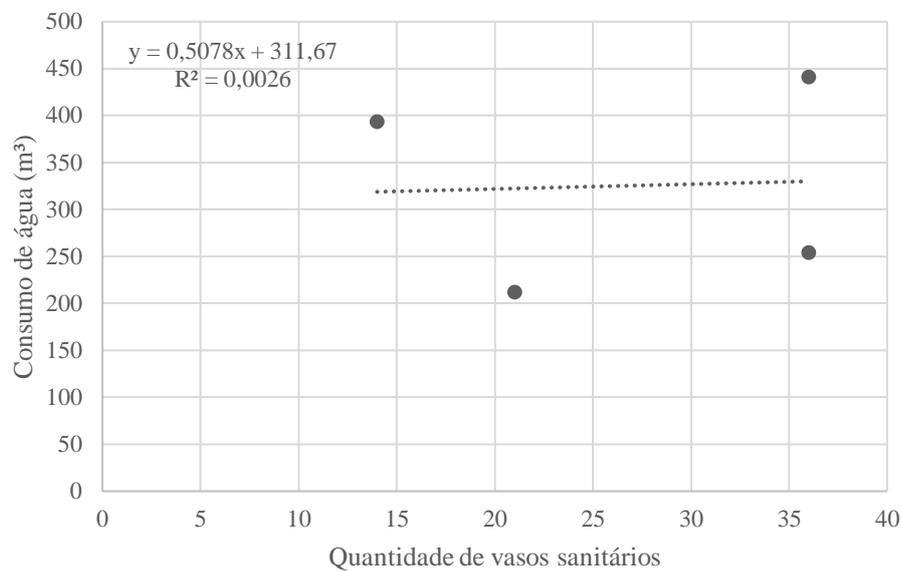
$$C = 64,082 + 8,5297 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários no ano de 2018.**



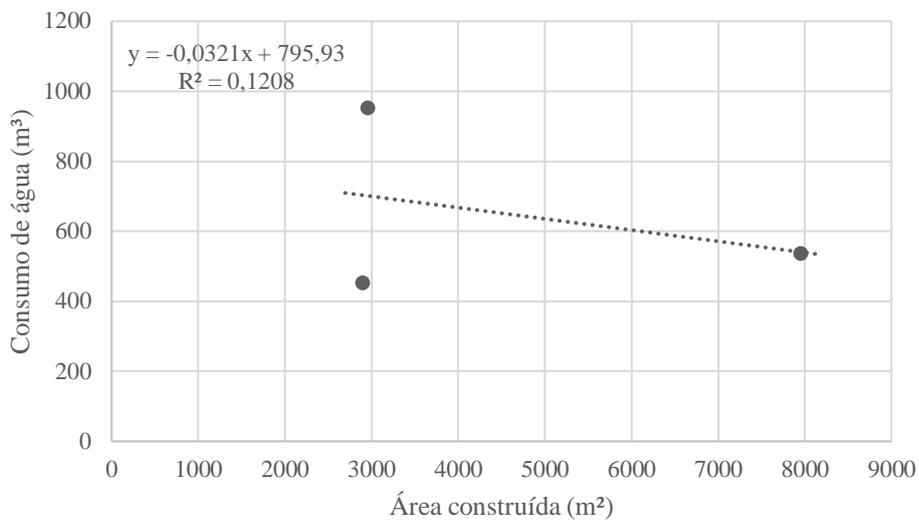
$$C = 55,378 + 6,9952 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de vasos sanitários no ano de 2019.**



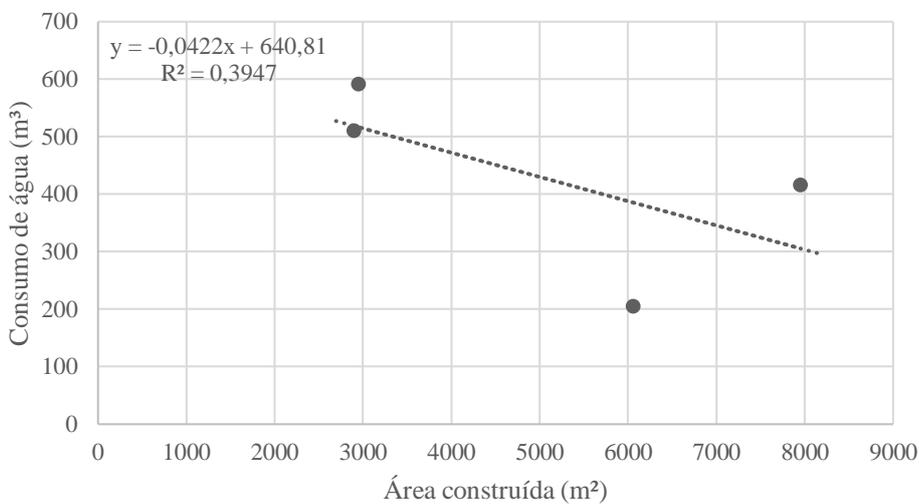
$$C = 311,67 + 0,5078 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área construída no ano de 2015.**



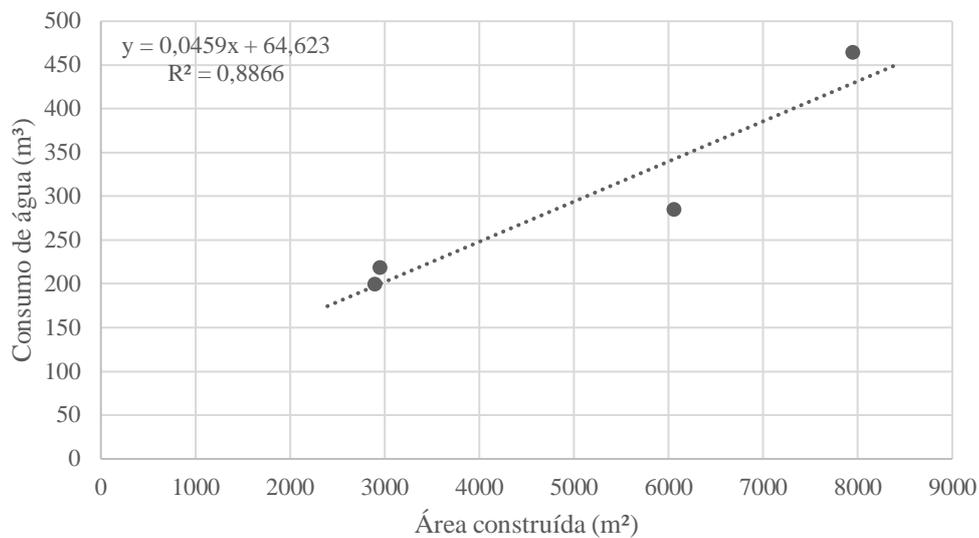
$$C = 795,93 - 0,0321 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área construída no ano de 2016.**



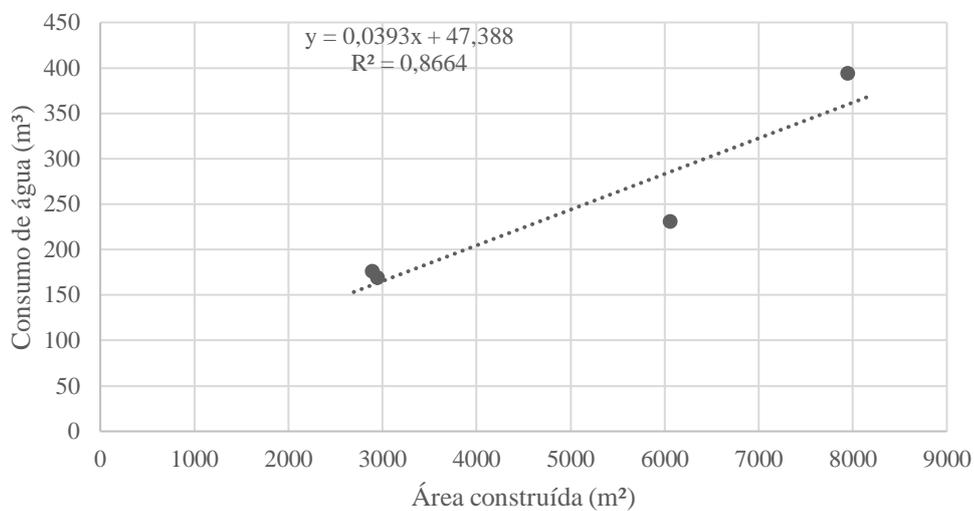
$$C = 640,81 - 0,0422 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área construída no ano de 2017.**



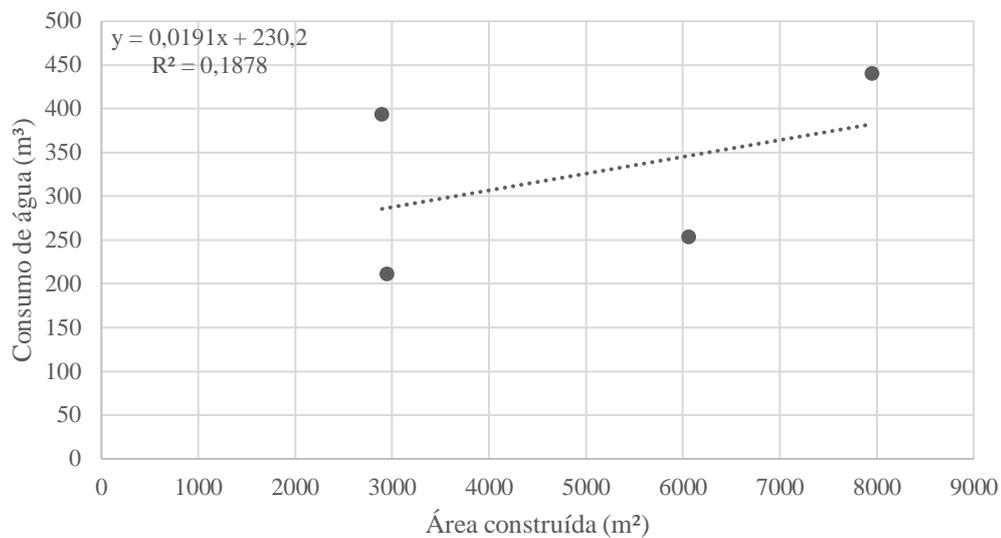
$$C = 64,623 + 0,0459 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área construída no ano de 2018.**



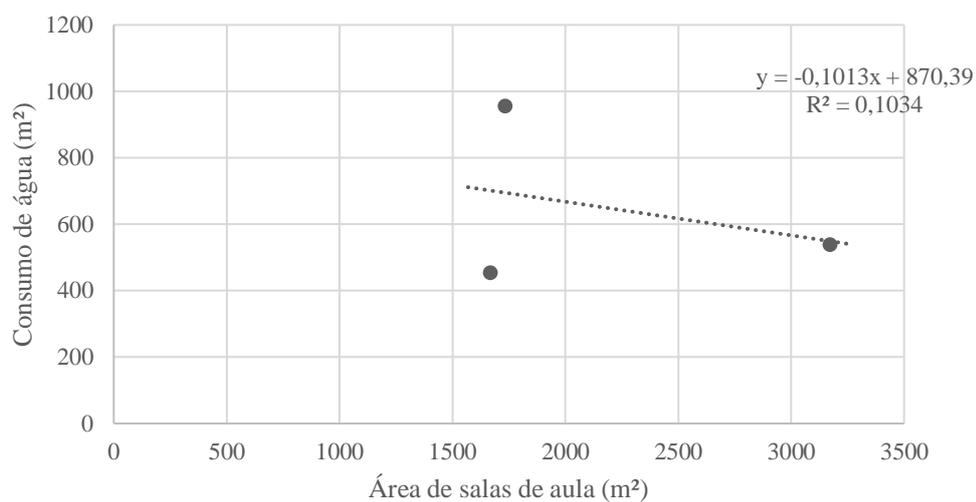
$$C = 47,388 + 0,0393 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área construída no ano de 2019.**



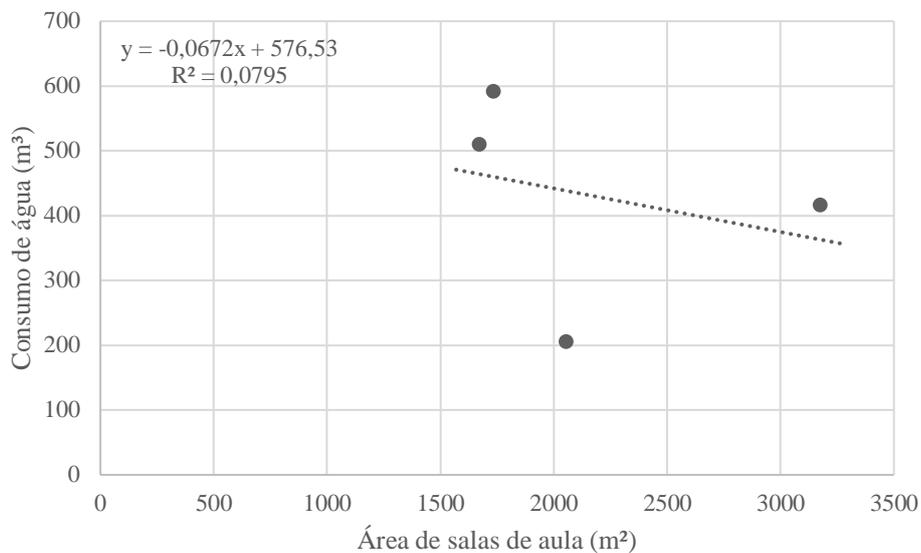
$$C = 230,20 + 0,0191 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula no ano de 2015.**



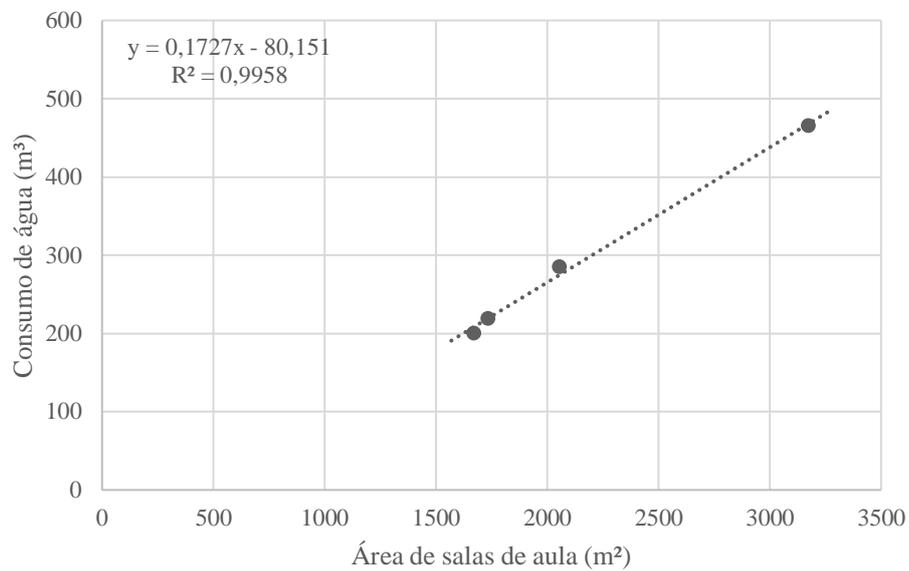
$$C = 870,39 - 0,1013 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula no ano de 2016.**



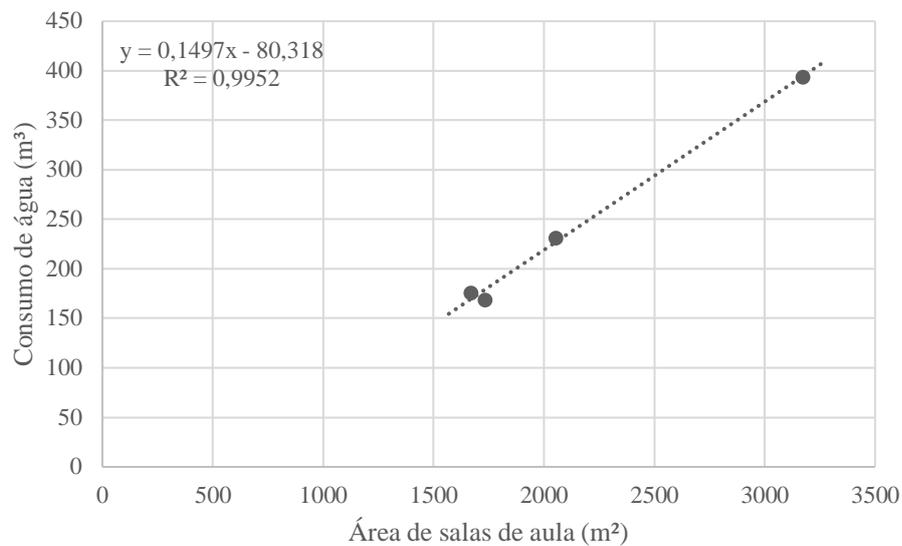
$$C = 576,53 - 0,0672 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula no ano de 2017.**



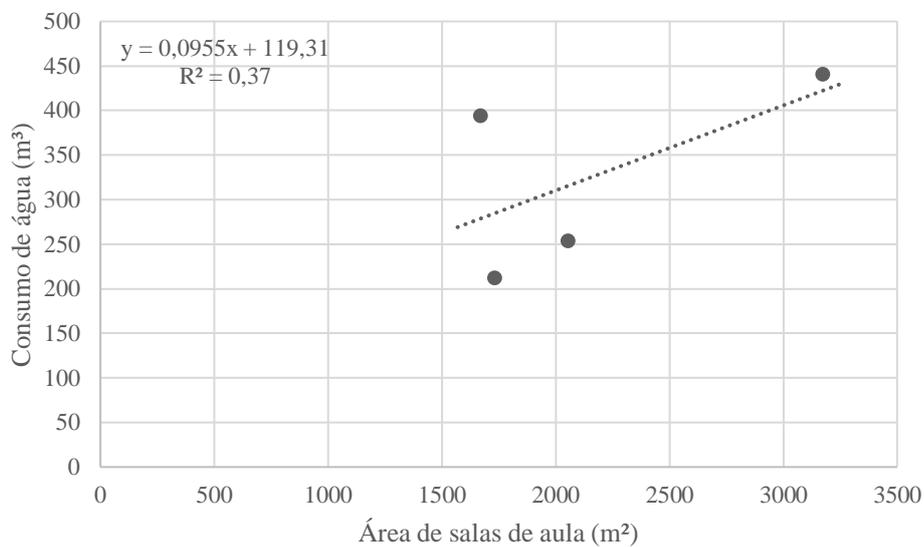
$$C = 80,151 + 0,1727 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula no ano de 2018.**



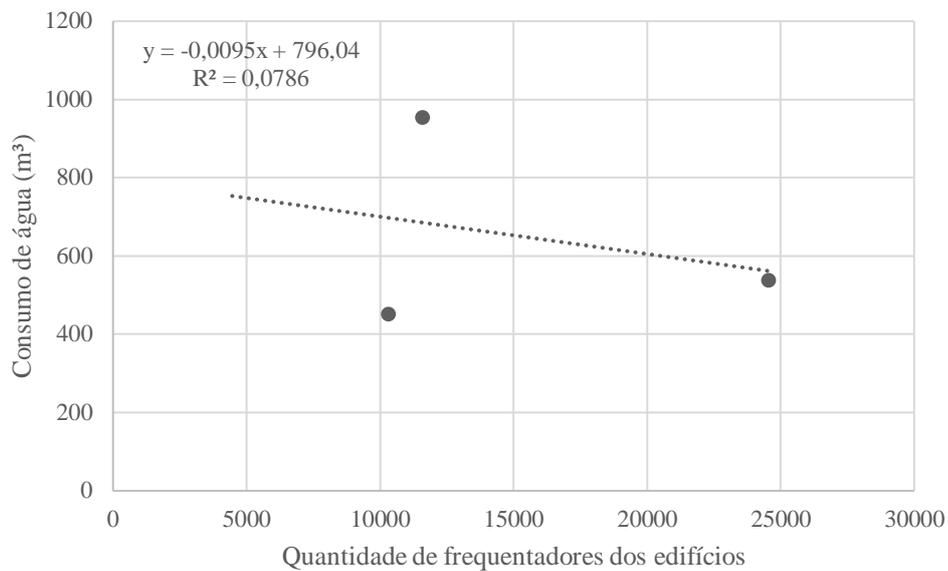
$$C = 80,318 + 0,1497 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e área de salas de aula no ano de 2019.**



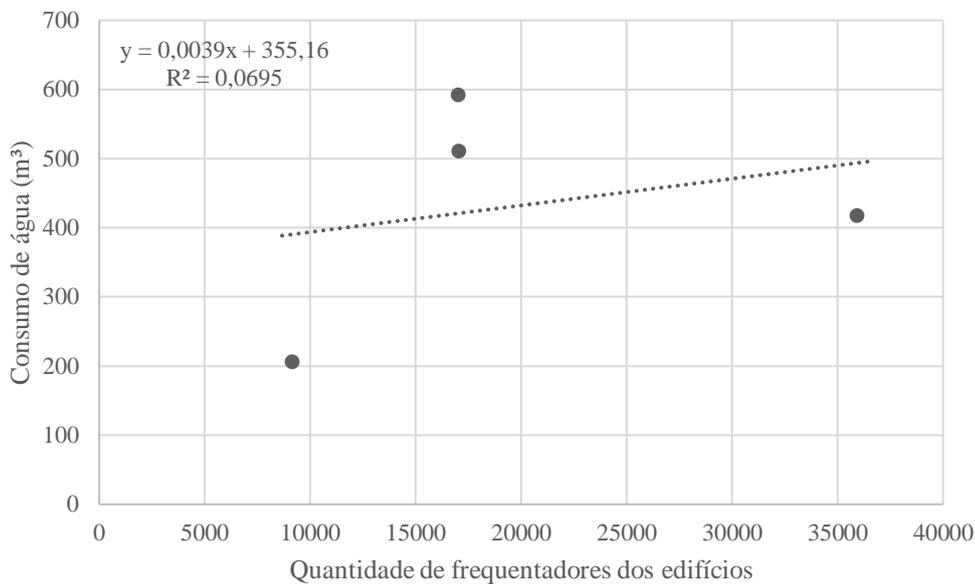
$$C = 119,31 + 0,0955 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores no ano de 2015.**



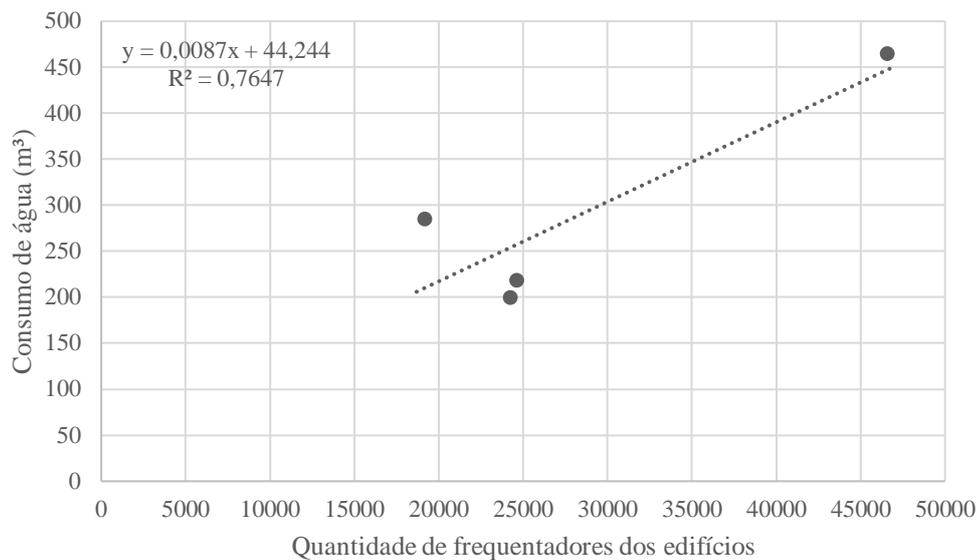
$$C = 796,04 + 0,0095 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores no ano de 2016.**



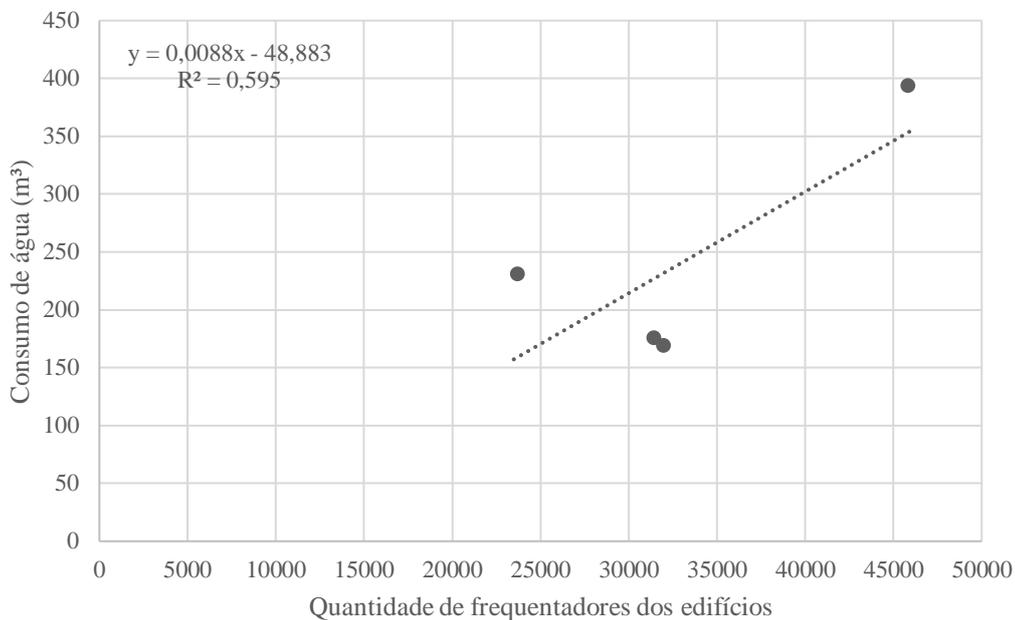
$$C = 355,16 + 0,0039 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores no ano de 2017.**



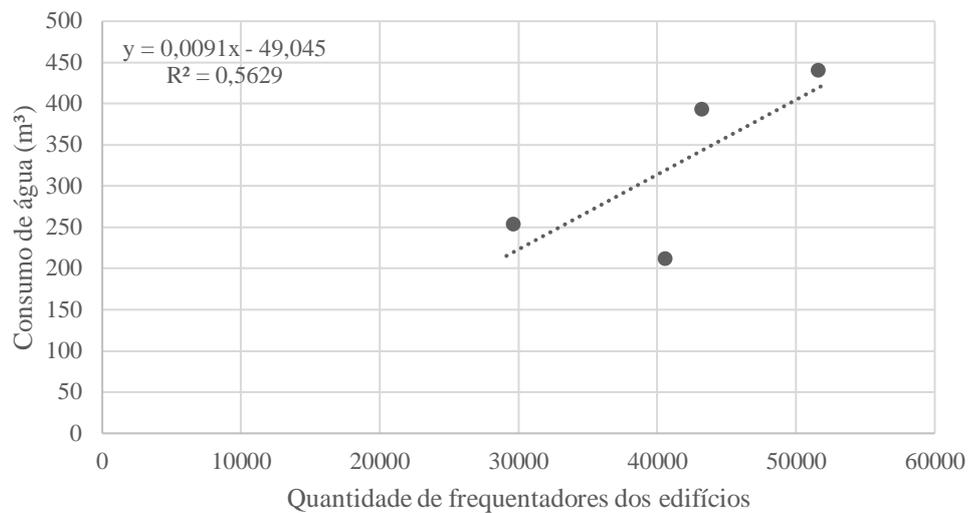
$$C = 44,244 + 0,0087 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores no ano de 2018.**



$$C = -48,883 + 0,0088 \cdot X$$

**Gráfico e equação referentes à regressão linear entre consumo de água e quantidade de frequentadores no ano de 2019.**



$$C = -49,045 + 0,0091 \cdot X$$