

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

**ANÁLISE DOS PADRÕES DE PRESSÃO E VAZÃO NAS
INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA DO INSTITUTO
CENTRAL DE CIÊNCIAS DO CAMPUS DARCY RIBEIRO**

MATHEUS MARQUES MARTINS

ORIENTADOR: ARTHUR TAVARES SCHLEICHER

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

BRASÍLIA/DF: DEZEMBRO/2019

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

**ANÁLISE DOS PADRÕES DE PRESSÃO E VAZÃO NAS
INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA DO INSTITUTO
CENTRAL DE CIÊNCIAS DO CAMPUS DARCY RIBEIRO**

MATHEUS MARQUES MARTINS

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)**

**DANIEL RICHARD SANT'ANA, PhD (FAU/UnB)
(EXAMINADOR INTERNO)**

**DIOGO VALADÃO DE BRITO GEBRIM, MSc (CAESB)
(EXAMINADOR EXTERNO)**

BRASÍLIA/DF, 09 DE DEZEMBRO DE 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

MARTINS, MATHEUS MARQUES

Análise dos padrões de pressão e vazão nas instalações prediais de água do Instituto Central de Ciências do *Campus* Darcy Ribeiro.

xi, 66 p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Bacharel, Engenharia Civil, 2019).

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

1. Recursos hídricos

2. Hidráulica

3. Instalações prediais de água fria

4. Modelagem computacional

I. ENC/FT/UnB

II. Título

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

Martins, M.M. (2019). *Análise dos padrões de pressão e vazão nas instalações prediais de água do Instituto Central de Ciências do Campus Darcy Ribeiro*. Monografia de Projeto Final 2, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Matheus Marques Martins

TÍTULO: Análise dos padrões de pressão e vazão nas instalações prediais de água do Instituto Central de Ciências do *Campus* Darcy Ribeiro.

GRAU / ANO: Bacharel em Engenharia Civil / 2019

É concedida à Universidade de Brasília 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.

Matheus Marques Martins

mmarquesmartins@hotmail.com

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a todos que, de alguma maneira, contribuíram para o meu sucesso durante a graduação.

Agradeço a Deus e a Nossa Senhora, pelo dom da vida.

Aos meus pais, Carlos e Nízia, por terem me dado todo o suporte para que eu pudesse colocar os estudos em primeiro lugar.

A todos os professores que tive ao longo desta jornada e, em especial, ao meu orientador, Arthur. Sou muito grato pela atenção e por todos os ensinamentos transmitidos.

A todos com quem compartilhei disciplinas, trabalhos e momentos, principalmente aos amigos que entraram comigo em Engenharia Ambiental no primeiro semestre de 2014. Sem vocês, não seria tão especial.

À Universidade de Brasília, por toda a estrutura disponibilizada, e a todos os funcionários que fazem desta uma universidade de referência. Estudar na UnB foi um sonho de criança que realizei e saio daqui como uma pessoa melhor do que entrei.

RESUMO

O Instituto Central de Ciências (ICC) é o principal prédio do *Campus* Darcy Ribeiro e também o maior consumidor de água. Nesse contexto, o ICC deve receber atenção especial dentro de um planejamento para reduzir as despesas da universidade com as contas de água por meio de medidas que promovam a redução do consumo e do combate às perdas de água. Uma alternativa para isso é o controle de pressões nas instalações prediais de água.

A análise do panorama das instalações prediais do ICC baseou-se no levantamento de dados de campo e em simulações hidráulicas no EPANET. A partir da instalação de manômetros em dois banheiros do ICC, foram levantados dados de pressão a cada cinco minutos entre os meses de abril e julho de 2019. Os dados de vazão foram levantados por meio de um hidrômetro ultrassônico com telemetria instalado na ligação predial do ICC e contemplam medições horárias de junho até agosto de 2019. As simulações hidráulicas testaram possíveis novos cenários de funcionamento para as instalações prediais de água do ICC: com dois pontos de entrada de água e substituindo as tubulações em ferro fundido por PEAD.

Foi observado que as pressões constantemente ultrapassam o limite máximo de 40 mca recomendado pela NBR 5626/1998, o que prejudica a integridade das instalações prediais e também pode ser associado a uma vazão maior de vazamentos. A situação é mais crítica no período noturno e em dias sem aula. As vazões costumam variar entre 0,6 l/s e 1,1 l/s, com picos de vazão ocorrendo de 9 h às 10 h e de 20 h às 21 h. A ocorrência de vazões elevadas durante o período da noite pode estar associada à ocorrência de vazamentos de água no prédio. A velocidade da água calculada para a maior vazão observada respeita com folga a velocidade máxima de 3,0 m/s recomendada pela NBR 5626/1998. As simulações no EPANET confirmaram que o funcionamento de mais uma entrada de água no prédio e a troca das tubulações em ferro fundido por tubulações em PEAD são alternativas eficazes para melhorar a distribuição de pressões nas instalações prediais de água do ICC.

Palavras-chave: Instalações prediais de água fria; Pressão; Vazão; Hidrômetro; Modelagem computacional; EPANET; Consumo de água; Perdas de água.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. OBJETIVO GERAL.....	3
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	4
3.1.1. Redes de distribuição de água	4
3.1.2. Demanda de água	7
3.2. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAL.....	7
3.2.1. Hidrometração	8
3.2.2. Instalações prediais de água fria.....	10
3.3. MODELAGEM HIDRÁULICA	11
3.4. CONSUMO DE ÁGUA	15
3.5. PERDAS DE ÁGUA	17
3.5.1. Perdas reais e aparentes.....	17
3.5.2. Abordagem para o problema da perda de água	18
3.5.3. Estimativa das perdas reais	19
3.5.4. Métodos de controle ativo de vazamentos	20
3.5.5. Controle de perdas.....	22
3.6. TRABALHOS ANTERIORES NO CAMPUS DARCY RIBEIRO.....	23
4. METODOLOGIA.....	26
4.1. LOCAL DE ESTUDO.....	26
4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRESSÃO E DE VAZÃO	28
4.3. MODELAGEM HIDRÁULICA NO EPANET	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	35
5.1. PRESSÃO NAS INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA DO ICC	35
5.2. VAZÃO NA LIGAÇÃO PREDIAL DO ICC	42
5.3. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA NO EPANET	46
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
APÊNDICE.....	58

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 Unidades do sistema de abastecimento de água.....	4
Figura 3.2 Rede de distribuição ramificada.....	5
Figura 3.3 Rede de distribuição malhada	5
Figura 3.4 Configuração típica em distritos de medição e controle	6
Figura 3.5 Ligação predial.....	8
Figura 3.6 Sistema direto de distribuição	10
Figura 3.7 Sistema indireto de distribuição, sem bombeamento	11
Figura 3.8 Sistema indireto de distribuição, com bombeamento	11
Figura 3.9 Probabilidade de uso simultâneo de aparelhos sanitários	14
Figura 3.10 Nível econômico eficiente do gerenciamento das perdas de água.....	19
Figura 3.11 Consumo de água no <i>Campus</i> ao longo do tempo	23
Figura 4.1 Localização do reservatório que abastece o <i>Campus</i> Darcy Ribeiro	26
Figura 4.2 Rede de distribuição de água do <i>Campus</i> Darcy Ribeiro.....	27
Figura 4.3 Localização aproximada dos manômetros instalados no ICC	28
Figura 4.4 Instalação do manômetro no banheiro B1-633/62	28
Figura 4.5 Cavalete com hidrômetro ultrassônico instalado na saída sul do ICC.....	30
Figura 4.6 <i>Display</i> do hidrômetro taquimétrico WS2000	31
Figura 4.7 <i>Display</i> do hidrômetro ultrassônico Octave.....	31
Figura 4.8 Cotas dos nós no modelo hidráulico do ICC.....	33
Figura 4.9 Diâmetros dos trechos no modelo hidráulico do ICC	33
Figura 5.1 Variabilidade da pressão durante o período letivo nos dias com aula	36
Figura 5.2 Variabilidade da pressão durante o período letivo nos dias sem aula.....	36
Figura 5.3 Variabilidade da pressão durante o período de férias	36
Figura 5.4 Distribuição percentual dos dados de pressão durante os dias com aula.....	37
Figura 5.5 Distribuição percentual dos dados de pressão durante os dias sem aula.....	37
Figura 5.6 Variabilidade da pressão durante os dias com aula no ICC Sul.....	39
Figura 5.7 Variabilidade da pressão durante os dias com aula no ICC Norte.....	39
Figura 5.8 Variabilidade da pressão de acordo com o período do dia no ICC Sul.....	40
Figura 5.9 Variabilidade da pressão de acordo com o período do dia no ICC Norte.....	40
Figura 5.10 Variação da pressão no banheiro do ICC Sul no dia 22 de maio.....	41
Figura 5.11 Variação da pressão no banheiro do ICC Norte no dia 22 de maio	41

Figura 5.12 Vazões médias horárias durante o período letivo	43
Figura 5.13 Vazões médias horárias durante o período de férias	43
Figura 5.14 Amplitude dos dados de vazão nos meses analisados.....	45
Figura 5.15 Consumo de água mensal no ICC	45
Figura 5.16 Comparativo entre as pressões nos dois banheiros do ICC analisados.....	46
Figura 5.17 Simulação do Cenário 1 (rugosidade absoluta de 0,25 mm) no EPANET	48
Figura 5.18 Simulação do Cenário 1 (rugosidade absoluta de 1,1 mm) no EPANET	49
Figura 5.19 Simulação do Cenário 2 no EPANET	50
Figura 5.20 Simulação do Cenário 3 no EPANET	51
Figura 5.21 Simulação do Cenário 4 no EPANET	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Comparativo entre os modelos de simulação hidráulica	12
Tabela 3.2 Pesos relativos em função da peça de utilização	14
Tabela 3.3 Rugosidade absoluta	15
Tabela 3.4 Matriz de balanço hídrico da IWA	19
Tabela 4.1 Comparativo entre o hidrômetro antigo e o hidrômetro novo	30
Tabela 5.1 Quantidade de registros de pressão de acordo com o período de interesse	35
Tabela 5.2 Quantidade de registros de pressão de acordo com o turno.....	35
Tabela 5.3 Velocidade da água calculada pelo EPANET em cada cenário	47

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 3.1 Vazão de dimensionamento de uma rede de distribuição de água	7
Equação 3.2 Demanda estimada pelo método dos pesos relativos.....	13
Equação 3.3 Perda de carga pela formulação de Darcy-Weisbach	14
Equação 3.4 Relação entre vazão dos vazamentos e pressão	17
Equação 3.5 Volume de perdas reais pelo balanço hídrico	20
Equação 3.6 Volume diário de perdas reais pelo método da vazão mínima noturna	21
Equação 3.7 Fator Noite/Dia	21
Equação 3.8 Expoente N_1	21

LISTA DE SIGLAS

AAP	Aproveitamento de Águas Pluviais
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADASA	Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
BCE	Biblioteca Central
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
CAESB	Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
DF	Distrito Federal
DMC	Distrito de Medição e Controle
DPO	Decanato de Planejamento, Orçamento e Avaliação Institucional
EPA	<i>U.S. Environmental Protection Agency</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
FT	Faculdade de Tecnologia
ICC	Instituto Central de Ciências
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia
IWA	<i>International Water Association</i>
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
RAC	Reúso de Águas Cinzas
RTM	Regulamento Técnico Metrológico
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SG	Serviços Gerais
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UnB	Universidade de Brasília
VRP	Válvula Redutora de Pressão

1. INTRODUÇÃO

A água apresenta papel fundamental para a sobrevivência humana e para o desenvolvimento das sociedades. Conseqüentemente, o aumento da demanda de água se torna um problema, pois sua disponibilidade na natureza é limitada. Em janeiro de 2017, a ADASA (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento do Distrito Federal) estabeleceu o regime de racionamento nas regiões do DF abastecidas pelos reservatórios do Descoberto e de Santa Maria-Torto. O rodízio do racionamento consistiu em um ciclo de seis dias com interrupção completa do abastecimento por 24 horas, tendo como objetivo reduzir o consumo de água e manter os níveis dos reservatórios acima do estado de restrição de 20%. Com o aumento das precipitações e a manutenção dos reservatórios em níveis aceitáveis, o racionamento foi interrompido em junho de 2018.

Para maximizar o acesso à água, seu uso deve ser racionalizado por meio do combate aos desperdícios e suas perdas devem ser minimizadas. Os desperdícios de água estão relacionados ao modo como os consumidores lidam com a água, devendo idealmente ser racional e controlado. O consumo desenfreado de água pode ocasionar na redução de sua disponibilidade para a população, o que acarretaria na necessidade de expandir a infraestrutura de captação e reservação, uma vez que a demanda de água para a qual o sistema de abastecimento foi projetado estaria subestimada. Já as perdas estão relacionadas à ocorrência de fugas e vazamentos na rede de distribuição (a água é perdida antes de chegar ao consumidor) ou ainda ao caso da água consumida e não faturada, seja por fraude do consumidor ou por problema de medição no hidrômetro (Lambert e Hirner, 2000). No caso das perdas, além de não se utilizar a água perdida, também há o prejuízo econômico, uma vez que captação, tratamento e distribuição oneram a companhia e não serão compensados com o faturamento por consumo.

Segundo dados do DPO (2018), o *Campus* Darcy Ribeiro contava com 41.043 alunos de graduação e pós-graduação matriculados no segundo semestre de 2017. Considerando também a presença de docentes, técnico-administrativos e visitantes, constata-se que a população universitária representa uma demanda diária expressiva de água. O Instituto Central de Ciências (ICC) é o principal prédio do *Campus* e, como o próprio nome demonstra, está localizado em sua região central. O edifício possui 70 m de largura e cerca de 700 m de comprimento, abrigando diversos institutos, faculdades, salas de aula, auditórios e atividades de apoio acadêmico. Por este motivo, o consumo de água no ICC

corresponde a 24% do consumo de água no *Campus* Darcy Ribeiro (Matos e Lopes, 2016), maior índice entre os prédios do *Campus*. Além do expressivo consumo de água decorrente da ocupação do prédio, a ocorrência de pressões acima do limite recomendado pela NBR 5626/1998 nas instalações prediais de água do ICC (Araújo e Virgolim, 2010; Oliveira, 2018) aumenta o consumo de água e potencializa a vazão dos vazamentos. Desse modo, o controle de pressões nas instalações prediais de água do ICC pode promover economias significativas aos cofres da universidade.

A modelagem computacional se tornou uma ferramenta essencial na operação e no planejamento de redes de distribuição de água. As simulações hidráulicas permitem avaliar a distribuição de pressões na rede, analisar o impacto de manutenções e intervenções, estimar as perdas por vazamentos e planejar expansões futuras, criando cenários de implantação de novas redes para atender ao crescimento populacional e às mudanças de uso e ocupação do solo. A calibração com dados de pressão e vazão levantados em campo torna o modelo mais preciso e, conseqüentemente, as simulações produzem resultados mais confiáveis.

Este trabalho se baseará na aquisição de dados de pressão e vazão em campo e na utilização de um modelo computacional para realizar um diagnóstico do panorama atual do sistema predial de água fria do Instituto Central de Ciências, de modo a propor recomendações quanto ao atendimento dos limites de pressão estabelecidos pela norma NBR 5626/1998 e ao controle do consumo de água.

2. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GERAL

Realizar um diagnóstico do panorama atual do sistema de instalações prediais de água fria do Instituto Central de Ciências, localizado no *Campus* Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Levantar uma série de dados de pressão em dois pontos de consumo na edificação;
- Obter uma série de vazões na entrada da edificação;
- A partir de um modelo computacional no EPANET, realizar simulações de possíveis mudanças operacionais nas instalações prediais de água do ICC;
- Propor alternativas para estabilizar as pressões e, conseqüentemente, reduzir o consumo de água no ICC.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

As instalações para abastecimento de água devem ser capazes de manter o fornecimento continuamente e em quantidade suficiente para as populações, preservando a qualidade da água. O sistema de abastecimento de água (SAA) compreende as unidades de captação, tratamento e distribuição de água, como exemplificado na Figura 3.1.

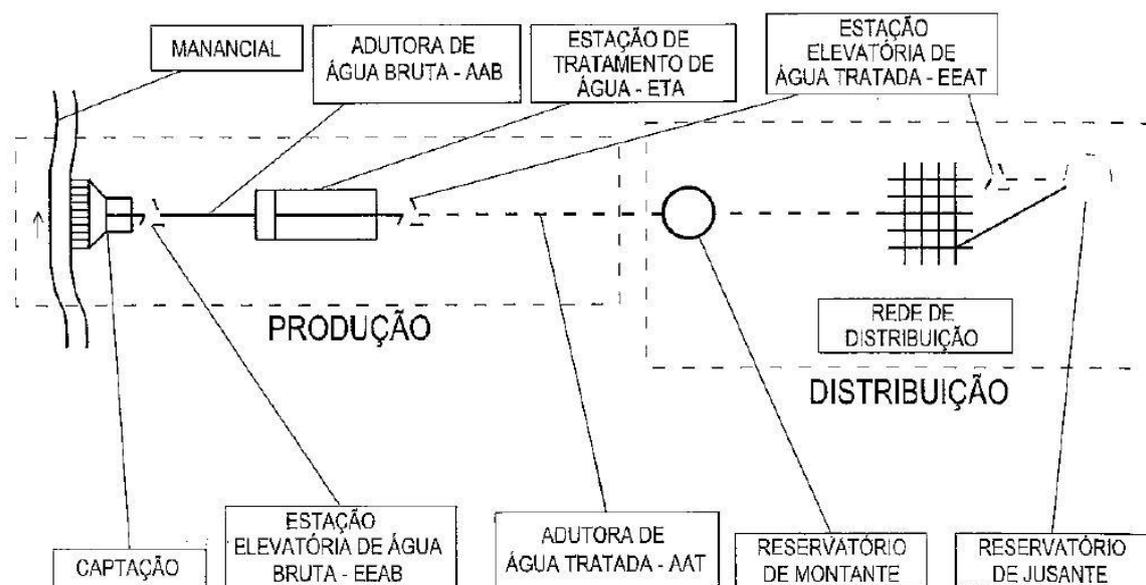


Figura 3.1 Unidades do sistema de abastecimento de água (Heller e Pádua, 2006).

Em relação à concepção do sistema de abastecimento de água, a NBR 12211/1992 estabelece que os seguintes aspectos sejam abordados: a topografia do local, as condições geológicas da região, os consumidores a serem atendidos, a quantidade de água exigida e as vazões de dimensionamento, os mananciais abastecedores, o método de operação do sistema e a viabilidade econômico-financeira. Dentre as alternativas levantadas, devem ser avaliados os prós e os contras, e a solução a ser escolhida deve ser aquela que melhor se aplica à realidade na qual será inserida.

3.1.1. Redes de distribuição de água

Devido à sua grande extensão, a rede de distribuição de água corresponde a mais de 50% dos custos de implantação do sistema de abastecimento (Heller e Pádua, 2006). Quanto ao traçado dos condutos, as redes de distribuição podem ser ramificadas ou malhadas, como demonstradas nas Figuras 3.2 e 3.3, respectivamente. A rede em malha apresenta a vantagem de permitir o fluxo de água em dois sentidos, não havendo pontas mortas, que

normalmente degradam a qualidade da água pelo alto tempo de detenção. Por sua vez, a rede ramificada é recomendada para pequenos sistemas de abastecimento, embora possua baixa flexibilidade operacional, pois, em caso de interrupção de um trecho para manutenção, todos os trechos de jusante passam a ficar sem alimentação.

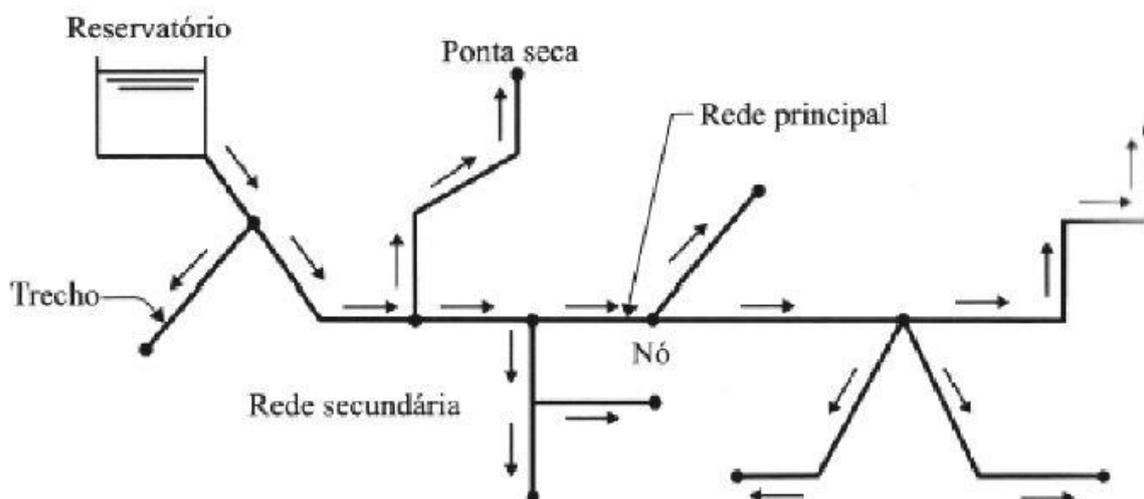


Figura 3.2 Rede de distribuição ramificada (Tsutiya, 2006).

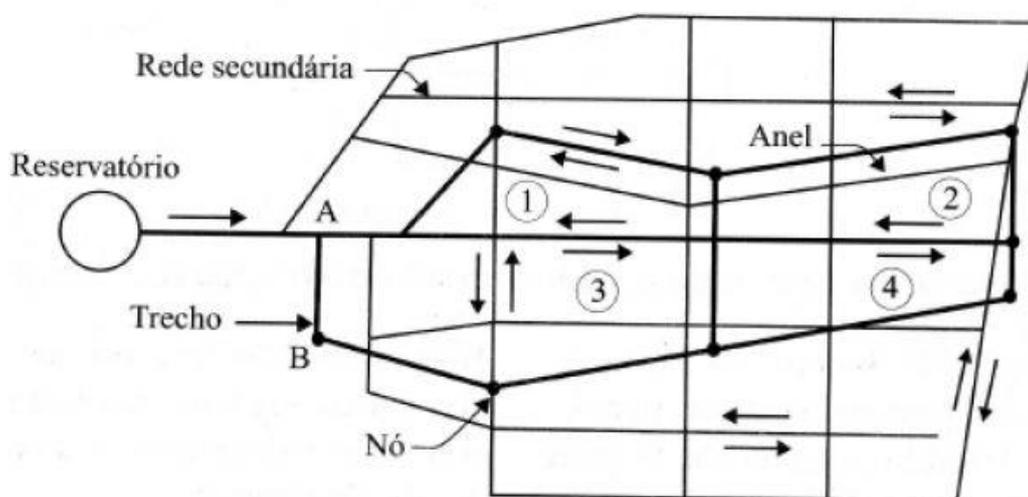


Figura 3.3 Rede de distribuição malhada (Tsutiya, 2006).

A NBR 12218/2017 indica os limites que devem ser observados para o funcionamento apropriado de uma rede de distribuição de água. A pressão da rede deve se encontrar entre 10 e 40 mca, sendo aceitável até 50 mca mediante justificativa. A pressão dinâmica mínima deve ser atingida para vencer os desníveis topográficos e as perdas de carga, garantindo o abastecimento em níveis de pressão adequados ao consumo. Já o limite de pressão estática máxima visa garantir a integridade da rede e das instalações prediais, além

de minimizar as perdas de água. O diâmetro da tubulação é função da velocidade da água, que deve permanecer entre 0,60 e 3,50 m/s, sendo que o diâmetro mínimo dos trechos deve ser de 50 mm, com o intuito de facilitar a operação e a manutenção do sistema. A velocidade mínima evita a deposição de materiais em suspensão na água, enquanto a velocidade máxima evita o desgaste da tubulação e efeitos dinâmicos nocivos associados ao escoamento (como a sobrepressão devido ao golpe de aríete), além de limitar as perdas de carga na tubulação, que são função potência da velocidade.

Os distritos de medição e controle (DMC) constituem uma parte perfeitamente delimitada e isolável da rede de distribuição de água, possibilitando o acompanhamento da evolução do consumo de água e a avaliação das perdas de água na rede onde estão inseridos. A configuração típica em DMCs é apresentada na Figura 3.4. A instalação dos medidores de pressão e de vazão deve ser realizada de modo que a área de estudo englobe, preferencialmente, consumidores de mesma categoria.

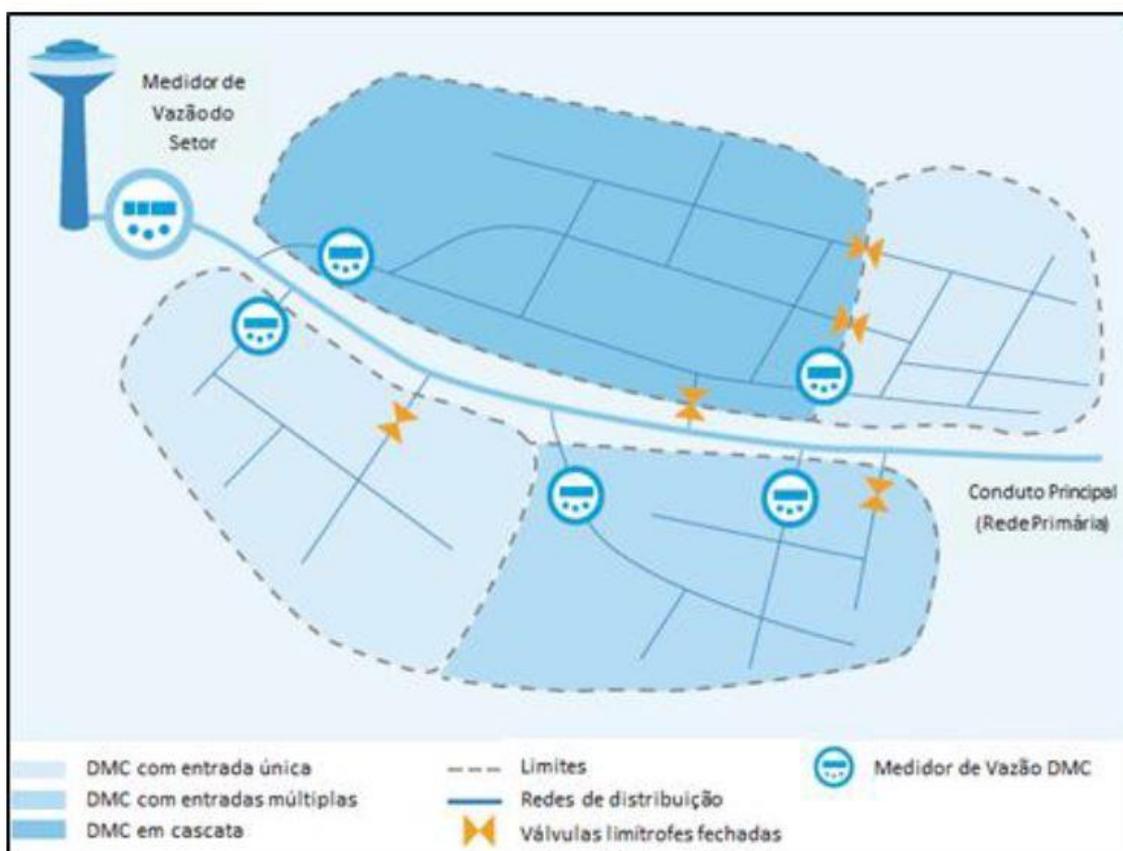


Figura 3.4 Configuração típica em distritos de medição e controle (Souza Júnior, 2014).

3.1.2. Demanda de água

As instalações de abastecimento de água devem estar preparadas para suprir um conjunto amplo e diferenciado de demandas, que incluem as demandas doméstica, comercial, pública e industrial. A divisão dos consumidores nessas categorias baseia-se na necessidade de estabelecimento de políticas tarifárias e de cobranças diferenciadas (Tsutiya, 2006).

O dimensionamento de um SAA passa pela determinação das vazões e das capacidades de suas unidades, calculadas a partir do consumo *per capita* (divisão entre demanda total a ser atendida pelo sistema e população a ser atendida). As demandas de água a serem satisfeitas devem ser estimadas considerando o período futuro de alcance do sistema, ou seja, devem ser abordados o crescimento populacional e futuros novos loteamentos, além de eventuais mudanças de uso e ocupação dos espaços atuais. A variação temporal das vazões e as perdas de água também devem ser consideradas.

Heller e Pádua (2006) apontam que o dimensionamento de uma rede de distribuição de água deve ser realizado para a situação mais desfavorável possível, ou seja, para a vazão da hora de maior consumo, calculada pela Equação 3.1. Os coeficientes k_1 e k_2 englobam as variações de consumo ao longo do ano e ao longo do dia, respectivamente.

$$Q_D = \frac{k_1 * k_2 * q * P}{86400} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Sendo: k_1 = Coeficiente do dia de maior consumo;

k_2 = Coeficiente da hora de maior consumo;

q = Consumo médio *per capita* de água, incluindo as perdas de água no sistema de abastecimento (l/hab.dia);

P = População de projeto da área considerada (hab).

3.2. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PREDIAL

A ligação predial corresponde ao conjunto de tubulações, estrutura de medição e peças de conexão instalados com a finalidade de estabelecer uma comunicação hidráulica entre a rede pública de distribuição de água potável (operada por uma prestadora de serviços de saneamento) e a instalação predial (utilizada por um consumidor de água), ou seja, é o ponto de entrega do serviço de abastecimento de água (Tsutiya, 2006). Na Figura 3.5, são representados os elementos constituintes de uma ligação predial.

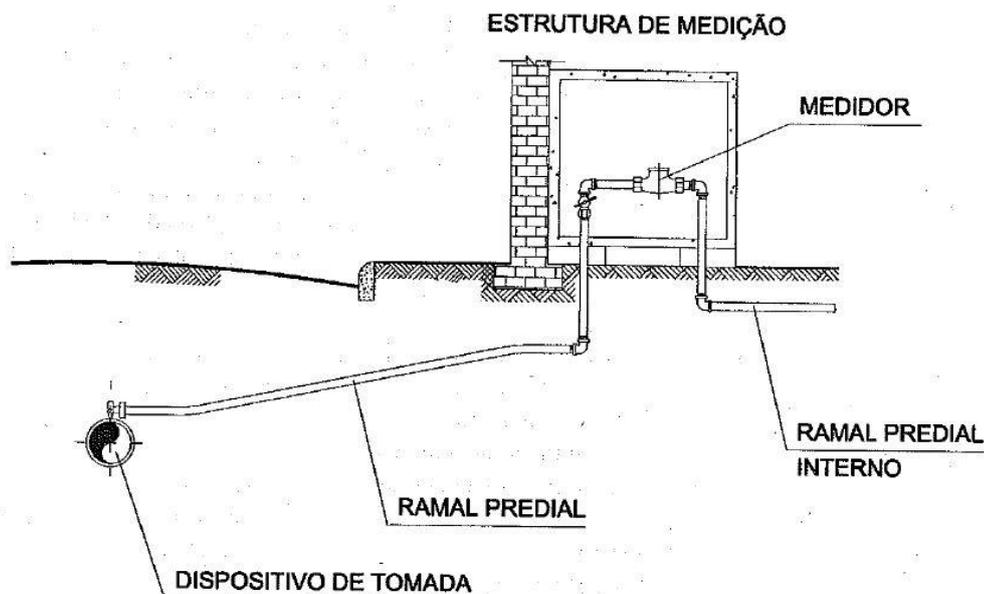


Figura 3.5 Ligação predial (Tsutiya, 2006).

3.2.1. Hidrometração

A CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (2011) define o hidrômetro como o equipamento destinado a medir e registrar, contínua e cumulativamente, o volume de água fornecido a uma unidade usuária. Quanto ao princípio de funcionamento, os hidrômetros podem ser classificados em taquimétricos, volumétricos e ultrassônicos.

Os hidrômetros taquimétricos (ou de velocidade) se baseiam na medida da velocidade do fluxo da água através de uma seção de área conhecida (Creder, 2006). Ao entrar no medidor, o fluido é direcionado em um (monojato) ou mais jatos (multijato) e aciona um órgão móvel, gerando movimentos de rotação. O volume de água registrado pelo totalizador é proporcional ao número de rotações.

Os hidrômetros volumétricos se baseiam na medida do número de vezes que uma câmara de volume conhecido se enche e se esvazia (Creder, 2006). Os hidrômetros volumétricos possuem um êmbolo rotativo ou um disco oscilante que executa movimentos circulares com a passagem de água e o número de voltas transmitido ao totalizador corresponde aos enchimentos e esvaziamentos da câmara.

De modo geral, os hidrômetros volumétricos são indicados nas instalações de pequenas vazões, enquanto os hidrômetros taquimétricos são indicados para as grandes vazões (Creder, 2006).

Os hidrômetros ultrassônicos operam sem partes móveis e o princípio de medição consiste em medir o tempo de trânsito de ondas sonoras se propagando a favor e contra o sentido de escoamento da água, dentro de uma trajetória acústica de comprimento conhecido. O sinal que se propaga a favor do escoamento é mais veloz e a diferença entre os tempos medidos é diretamente proporcional à velocidade de escoamento da água (FAE, 2019). A medição é altamente precisa e mais confiável se comparada aos hidrômetros convencionais, porém necessita de uma fonte de energia, geralmente uma bateria acoplada ao medidor.

Em 2018, o Instituto Nacional de Metrologia (INMETRO), por meio da Portaria nº 295, aprovou o Regulamento Técnico Metrológico (RTM), que estabelece as condições a que devem satisfazer os medidores de água de vazão nominal de 0,6 m³/h até 15 m³/h. Tais instrumentos devem incluir, no mínimo, um transdutor de medição, um dispositivo calculador e um dispositivo indicador. A seguir, são apresentados termos constantes aplicados para fins do RTM.

O transdutor de medição é a parte do medidor que transforma a vazão ou o volume de água a ser medido em sinais que são passados ao calculador, incluindo o sensor. O dispositivo calculador é o componente do medidor que recebe os sinais transmitidos pelo transdutor e, a partir de instrumentos de medição associados, transforma-os em resultados de medição, armazenando-os na memória até que sejam utilizados. O dispositivo indicador exibe os resultados de medição de maneira contínua ou mediante solicitação.

O erro (de indicação) corresponde à diferença entre o volume indicado e o volume escoado. O erro relativo é a divisão do erro (de indicação) pelo volume escoado. O erro máximo admissível corresponde aos valores extremos do erro relativo do medidor admissíveis pelo RTM.

A vazão mínima (Q_1) é a menor vazão na qual o medidor deve funcionar dentro do erro máximo admissível. A vazão de transição (Q_2) é a razão situada entre a vazão mínima e a vazão permanente, que divide a faixa de vazão operacional entre o campo superior e o campo inferior de medição. A vazão permanente (Q_3) é a maior vazão em condições de uso contínuo na qual o medidor deve funcionar de maneira satisfatória, dentro do erro máximo admissível. A vazão de sobrecarga (Q_4) é a maior vazão na qual o medidor deve funcionar durante um curto espaço de tempo dentro do seu erro máximo admissível e, ao mesmo tempo, manter seu desempenho metrológico em operações subsequentes dentro de suas condições de utilização.

3.2.2. Instalações prediais de água fria

A rede predial de distribuição de água é descrita pela NBR 5626/1998 como o conjunto de tubulações constituído de barriletes, colunas de distribuição, ramais e sub-ramais, ou de alguns destes elementos, destinado a levar água aos pontos de utilização. Os barriletes correspondem às tubulações que se originam no reservatório (quando o abastecimento é indireto) ou diretamente ligadas ao ramal predial (quando o abastecimento é direto) e dos quais derivam as colunas de distribuição. Estas alimentam os ramais, que são ligados aos pontos de utilização pelos sub-ramais.

A NBR 5626/1998 estabelece ainda que o dimensionamento das instalações prediais deve ser realizado com as seguintes condições: vazões de projeto em função da peça de utilização e considerando uso simultâneo provável de dois ou mais pontos de utilização; velocidade da água, em qualquer trecho de tubulação, inferior a 3,0 m/s; pressão da água em condições dinâmicas (com escoamento) superior a 0,5 mca e em condições estáticas (sem escoamento) inferior a 40 mca em qualquer ponto da rede predial de distribuição.

Creder (2006) menciona que os sistemas de distribuição predial de água são classificados em direto, indireto sem bombeamento e indireto com bombeamento. No sistema direto, a qualidade da água é melhor e o custo de instalação é menor, porém há falta de água em caso de interrupção do fornecimento da rede pública. No sistema indireto, a alimentação é garantida em caso de interrupção do fornecimento de água e as variações de pressão nos aparelhos são menores, o que reduz o consumo de água, porém o custo de implantação é maior e há possibilidade de contaminação da água reservada.

O sistema direto de distribuição (Figura 3.6) é indicado quando a pressão da rede pública é suficiente e o abastecimento é contínuo, não havendo necessidade de reservatório.

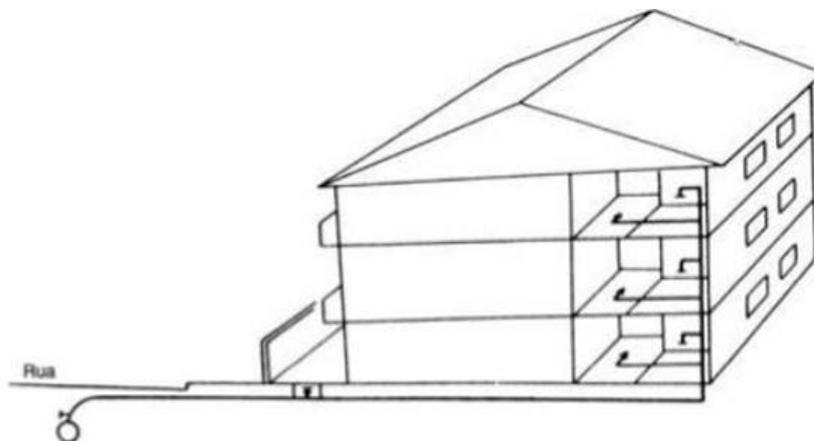


Figura 3.6 Sistema direto de distribuição (Creder, 2006).

O sistema indireto de distribuição sem bombeamento (Figura 3.7) é recomendado quando a pressão da rede pública é suficiente, porém sem continuidade, havendo necessidade de um reservatório superior. Neste caso, a alimentação do prédio será descendente.

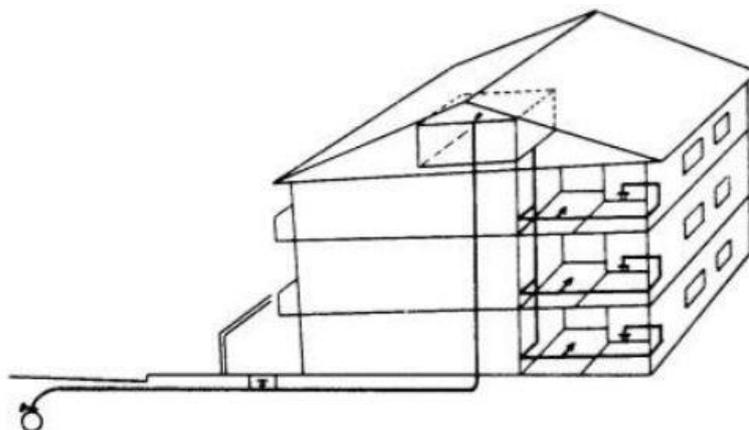


Figura 3.7 Sistema indireto de distribuição, sem bombeamento (Creder, 2006).

O sistema indireto de distribuição com bombeamento (Figura 3.8) é indicado quando a pressão da rede pública é insuficiente e há descontinuidade. Neste caso, são necessários dois reservatórios, um inferior e outro superior, além do bombeamento. A alimentação do prédio será descendente.

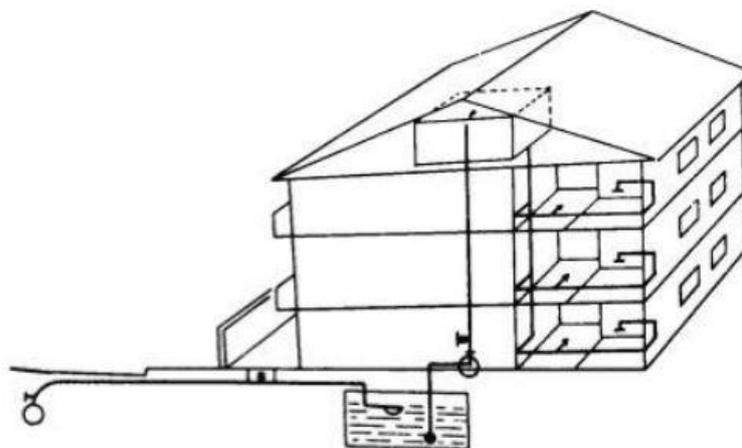


Figura 3.8 Sistema indireto de distribuição, com bombeamento (Creder, 2006).

3.3. MODELAGEM HIDRÁULICA

A modelagem computacional consiste na aplicação de modelos matemáticos e técnicas de computação para o estudo de um fenômeno de natureza complexa. O avanço da engenharia de *softwares* e *hardwares* possibilitou o desenvolvimento de programas robustos, capazes de realizar uma série de cálculos com maior velocidade e precisão. A realização de simulações em programas permite um melhor entendimento do problema a ser estudado,

possibilitando a avaliação do impacto das variáveis envolvidas no processo, a formulação de alternativas e o maior embasamento para uma futura tomada de decisão. Em redes de distribuição de água, a simulação hidráulica permite avaliar a distribuição de pressões, analisar o impacto de manutenções e intervenções, estimar as perdas por vazamento e testar alternativas para futuras expansões da rede.

As simulações hidráulicas se baseiam na resolução das equações de continuidade e de energia a partir de uma entrada de dados. Como aponta Silva (2014), a qualidade das simulações é dependente da qualidade dos dados, ou seja, a precisão do modelo depende de quão bem este foi calibrado. Logo, a implementação eficiente de um modelo requer uma calibração que esteja interligada com um cadastro de redes digitalizado em formato CAD (Desenho Assistido por Computador) e monitoramento de campo que envolva a medição do consumo em pontos estratégicos de controle de vazão e pressão. O cadastro técnico deve seguir um processo sistemático de atualização e revisão, de modo a se obter um modelo que contenha informações confiáveis dos trechos e dos acessórios da rede de distribuição.

Existem diversos simuladores hidráulicos disponíveis para a modelagem de sistemas de abastecimento de água e a escolha do programa deve ser adequada à finalidade da simulação que se deseja realizar, considerando também as vantagens e as desvantagens de cada simulador. Silva (2014) elaborou um comparativo entre os simuladores hidráulicos a partir das informações levantadas por Rego (2007), conforme disposto na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Comparativo entre os modelos de simulação hidráulica (Silva, 2014).

Características	Hidrocad	Epanet	Watercad	Strumap	Synergee
Custo	Bom	Muito bom	Não satisfaz	Não satisfaz	Não satisfaz
Facilidade de uso	Muito bom	Muito bom	Bom	Bom	Não satisfaz
Operacionalidade e flexibilidade	Não satisfaz	Bom	Bom	Muito bom	Bom
Robustez do modelo	Não satisfaz	Bom	Bom	Bom	Muito bom
Velocidade de processamento	Não satisfaz	Bom	Muito bom	Muito bom	Muito bom
Componentes representadas	Não satisfaz	Muito bom	Muito bom	Bom	Muito bom

Características	Hidrocad	Epanet	Watercad	Strumap	Synergiee
Interface com o usuário	Bom	Muito bom	Bom	Bom	Não satisfaz
Características do modelo de qualidade	Não satisfaz	Bom	Muito bom	Não satisfaz	Não satisfaz
Integração com base de dados CAD/SIG/SCADA	Bom	Bom	Muito bom	Bom	Bom

Portanto, o EPANET apresenta vantagens significativas por ser um *software* gratuito, fácil de usar, com velocidade de processamento satisfatória e com inúmeras aplicações encontradas na literatura. Embora o programa desenvolvido pela *U.S. Environmental Protection Agency* (EPA) seja utilizado para modelar redes de distribuição de água, o porte das instalações prediais do ICC e o fato destas serem praticamente uma extensão da rede de distribuição do *Campus* validam a aplicabilidade do programa para a modelagem das instalações prediais do ICC. O EPANET executa simulações estáticas e dinâmicas de comportamento hidráulico e de qualidade da água em redes pressurizadas de distribuição de água. Os principais dados de entrada no programa são as características da rede (material e diâmetro dos trechos; demanda dos nós) e os dados topográficos (comprimento dos trechos; cotas dos nós).

A demanda dos nós, que no modelo hidráulico das instalações prediais de água do ICC representa a vazão de entrada nos banheiros, pode ser estimada pelo método dos pesos relativos, explicado no Anexo A da NBR 5626/1998. Tal método considera que, por razões de economia, é usual estabelecer como provável uma demanda simultânea de água menor do que a máxima possível. A demanda estimada é calculada pela Equação 3.2.

$$Q = C\sqrt{\Sigma P} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Sendo: Q = Vazão (l/s);

C = Coeficiente de descarga = 0,30 l/s;

ΣP = Soma dos pesos de todas as peças de utilização alimentadas pelo trecho considerado.

Na Tabela 3.2, são apresentados os pesos relativos de aparelhos sanitários comumente encontrados em instituições de ensino superior.

Tabela 3.2 Pesos relativos em função da peça de utilização (ABNT, 1998).

Peça de utilização	Peso relativo
Bacia sanitária com válvula de descarga	32,0
Mictório cerâmico com válvula de descarga	2,8
Lavatório com torneira	0,3
Chuveiro elétrico com registro de pressão	0,1
Bebedouro com registro de pressão	0,1

No caso de instalações prediais de água que atendem a muitas peças de utilização, deve ser considerado um fator de uso correspondente à probabilidade de uso simultâneo dos aparelhos sanitários sob condições normais. Calculado o consumo máximo possível, a percentagem máxima provável de uso é definida utilizando o ábaco mostrado na Figura 3.9.

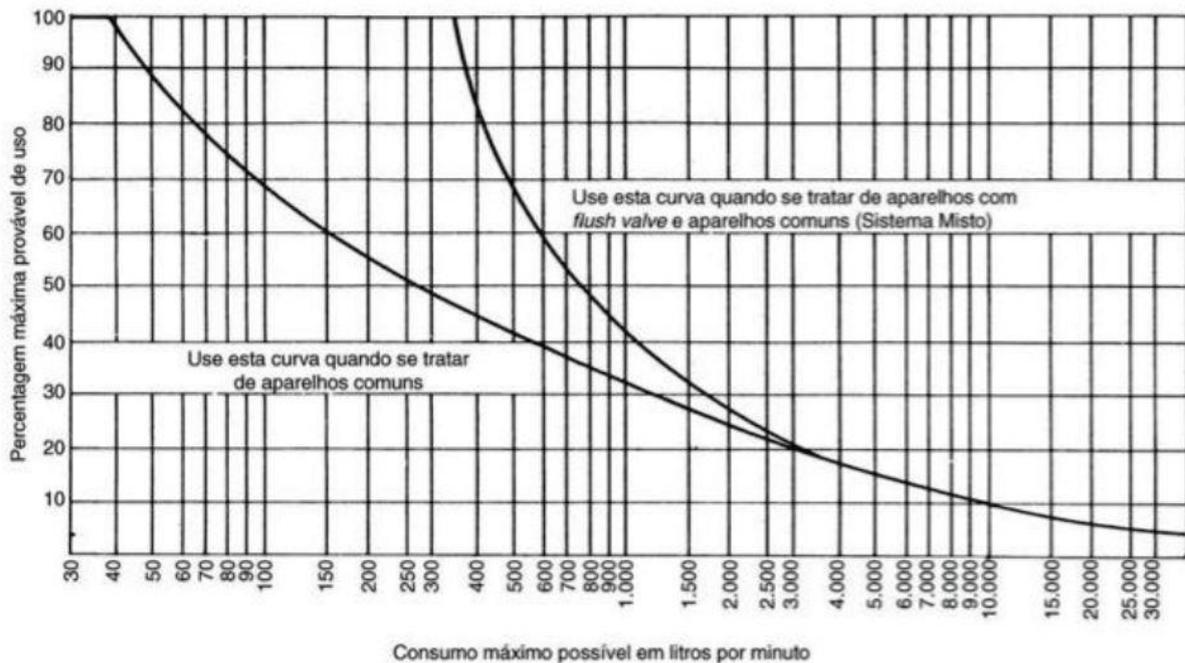


Figura 3.9 Probabilidade de uso simultâneo de aparelhos sanitários (Creder, 2006).

A perda de carga hidráulica na tubulação é determinada utilizando as formulações de Hazen-Williams, Chezy-Manning ou Darcy-Weisbach, sendo esta última descrita pela Equação 3.3.

$$h_L = 0,0827 \frac{f(\epsilon, D, Q) * L}{D^5} Q^2 \quad (\text{Equação 3.3})$$

Sendo: $f(\epsilon, D, Q)$ = Fator de resistência;

ϵ = Rugosidade absoluta (mm);

D = Diâmetro da tubulação (m);

Q = Vazão (m³/s);

L = Comprimento da tubulação (m).

Na Tabela 3.3, são apresentados os valores de rugosidade absoluta (para tubulações novas) adotados durante o cálculo da perda de carga pela formulação de Darcy-Weisbach, dependendo do material da tubulação.

Tabela 3.3 Rugosidade absoluta (Rossman, 2000).

Material	Rugosidade absoluta (mm)
Ferro fundido	0,25
Concreto	0,3 – 3,0
Ferro galvanizado	0,15
Plástico	0,0015
Aço	0,03
Grés	0,3

Com o passar do tempo, a formação de incrustações se torna um obstáculo à passagem de água, o que na prática significa um aumento da rugosidade da tubulação. Schroder (2011) obteve experimentalmente a rugosidade equivalente de tubulações em ferro fundido e observou que a rugosidade absoluta pode chegar a 1,1 mm.

Além da perda de carga, o EPANET é capaz de calcular a velocidade e a vazão em cada trecho, assim como a carga hidráulica e a pressão em cada nó ao longo do tempo, considerando a oscilação da demanda dos nós.

3.4. CONSUMO DE ÁGUA

O consumo de água é afetado por fatores como os hábitos e o nível socioeconômico da população, o clima, a natureza da cidade, a pressão na rede e o preço da água (Tsutiya, 2006). De modo geral, o consumo tende a ser mais expressivo entre as camadas mais abonadas da população, em regiões mais quentes e mais secas, em cidades industriais e nas localidades onde as tarifas de água são mais baratas.

A medição do consumo de água pela empresa distribuidora constitui uma importante ferramenta de controle do desperdício de água. A necessidade de reduzir os gastos com as contas de água acaba se tornando um incentivo para que o consumidor busque alternativas que reduzam o consumo e, conseqüentemente, suas despesas. Dados da UnB (2018) mostram que a adoção de medidas como o acompanhamento da conta de água por prédio, a racionalização do uso da água nos serviços de limpeza (mapeamento de áreas para redefinir a frequência das limpezas, abolição do uso de mangueiras) e mudanças nos processos de irrigação resultaram em uma economia de R\$ 472 mil na conta de água da universidade na comparação entre os anos de 2016 e 2017. Entretanto, foi observado um aumento de R\$ 172,5 mil na conta de água se considerado apenas o Instituto Central de Ciências no mesmo período.

No caso de escolas e universidades, a análise do consumo de água deve levar em consideração que os consumidores constituem uma população flutuante e que, conseqüentemente, o consumo possui, além das variações horárias, variações bruscas diárias (feriados e finais de semana) e mensais (período letivo e férias). Na Universidade de Brasília (UnB), o período letivo da graduação é dividido em período de verão (janeiro e primeira metade de fevereiro), primeiro semestre (segunda metade de março até primeira metade de julho) e segundo semestre (segunda metade de agosto até primeira metade de dezembro), com menor movimentação no período de verão se comparado aos dois semestres. Nesse sentido, deve-se ter um cuidado com o período de análise para não gerar conclusões que subestimem ou superestimem o consumo de água.

Em escolas e universidades públicas, onde o usuário não é responsável diretamente pelo pagamento da conta de água, ocorre uma tendência maior ao desperdício de água (Nunes, 2000), seja por mau uso, descaso ou vazamentos. Sendo assim, uma importante medida para a redução do consumo de água são as campanhas de conscientização dos consumidores. Tais campanhas devem ser elaboradas com base em pesquisas de opinião após a caracterização da população e de seu comportamento (Silva *et al.*, 2006). Além disso, a substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores de água (Alexandre *et al.*, 2017; Cureau *et al.*, 2019) e o aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis são alternativas que se mostraram eficazes.

3.5. PERDAS DE ÁGUA

O gerenciamento das perdas é uma atividade estratégica na gestão dos sistemas de abastecimento de água. Segundo o SNIS (2018), a média das perdas de faturamento total no Brasil foi de 38,53% em 2016, bem superior aos países desenvolvidos, que em geral apresentam perdas inferiores a 20%. Como essas perdas implicam em prejuízo para as operadoras, os consumidores também são prejudicados diretamente, pois acabam tendo esses custos repassados a eles.

3.5.1. Perdas reais e aparentes

Quanto à terminologia, Lambert e Hirner (2000) classificam as perdas em reais e aparentes. As perdas reais correspondem aos volumes decorrentes de vazamentos e extravasamentos desde o tratamento até a distribuição, incluindo os volumes usados de forma inadequada (consumo além do necessário) na operação das unidades do SAA. Já as perdas aparentes correspondem aos volumes que chegam aos consumidores, porém não são cobrados adequadamente por problemas de medição nos hidrômetros ou por fraudes dos consumidores.

As perdas de água reais são influenciadas pela extensão da tubulação, pela quantidade de ligações, pelas condições de infraestrutura e, principalmente, pela pressão de operação da rede (Heller e Pádua, 2006). Tsutiya (2006) relaciona a vazão dos vazamentos e a pressão de serviço pela Equação 3.4:

$$\left(\frac{Q_1}{Q_0}\right) = \left(\frac{P_1}{P_0}\right)^{N_1} \quad (\text{Equação 3.4})$$

Sendo: Q_0 = Vazão inicial à pressão P_0 (m^3/h);

Q_1 = Vazão final à pressão P_1 (m^3/h);

N_1 = Expoente que depende do tipo de material dos tubos.

O expoente N_1 assume os seguintes valores: 0,5 para tubos metálicos, entre 1,5 e 2,5 para tubos plásticos e 1,5 para vazamentos inerentes.

Lambert e Hirner (2000) dividem os vazamentos em três modalidades distintas: inerentes, comunicados e não comunicados. Os vazamentos inerentes possuem vazões muito pequenas, porém contínuas. Os vazamentos comunicados apresentam vazões elevadas, mas geralmente de curta duração. Já os vazamentos não comunicados apresentam vazões moderadas e duração dependente da intensidade de controle dos vazamentos.

A duração média de um vazamento é resultado da soma de três fases sequenciais: conhecimento (intervalo de tempo entre o início do vazamento e o instante em que a companhia de saneamento passa a ter conhecimento de sua existência), localização (tempo decorrido entre o conhecimento e o instante em que o ponto da ocorrência é localizado) e reparo (tempo decorrido entre a localização e a conclusão do reparo da fuga). No caso dos vazamentos não comunicados, a fase de conhecimento pode ter uma duração considerável se não houver um programa ativo de busca e controle de perdas.

A ocorrência de perdas aparentes subestima os registros de volume de água consumido, impactando os processos de tomada de decisão quanto à infraestrutura necessária para suprir a demanda e às práticas de manutenção. Segundo a AWWA (2009), as perdas aparentes causam um prejuízo de 0,5% a 5,0% do faturamento anual de uma empresa distribuidora de água.

3.5.2. Abordagem para o problema da perda de água

Apesar de ser impossível eliminar completamente as perdas, pequenas medidas de controle podem resultar em reduções significativas quando as perdas de água são excessivas. Heller e Pádua (2006) explicam que a solução definitiva para o problema das elevadas perdas de água em sistemas de abastecimento deve assegurar não somente a redução das perdas, mas sobretudo seu controle e manutenção em níveis aceitáveis, objetivando a sustentabilidade do fornecimento de água no tempo. Além disso, recomendam que o gerenciamento sustentável de perdas siga uma abordagem de três fases:

Fase I – Diagnosticar a situação atual, com análise dos dados disponíveis e investigação de campo para atestar os dados e verificar in loco a situação do sistema de abastecimento de água;

Fase II – Identificar e avaliar as perdas;

Fase III – Propor ações de curto e médio prazo, com previsões de custos, estimativa de benefícios e avaliação econômico-financeira.

Em relação à avaliação econômico-financeira, deve-se observar se os investimentos necessários para a redução das perdas são viáveis economicamente. As perdas inevitáveis são aquelas cujos custos das ações de combate elevam-se significativamente sem que a redução das perdas também seja significativa, ou seja, a intervenção é inviável. O nível econômico das perdas indica o ponto de mínimo na curva de custo total e ocorre quando o custo total para reduzir as perdas em uma unidade supera o custo de produção da mesma

unidade de água. Na Figura 3.10, é ilustrado genericamente o nível das perdas inevitáveis e o nível econômico das perdas.

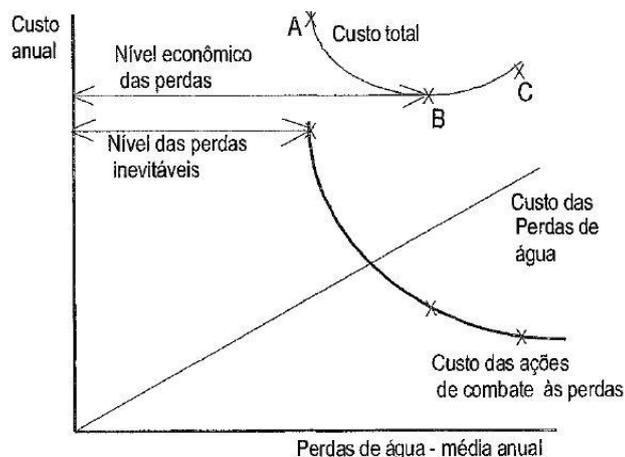


Figura 3.10 Nível econômico eficiente do gerenciamento das perdas de água (Heller e Pádua, 2006).

3.5.3. Estimativa das perdas reais

O balanço hídrico de um SAA é uma forma estruturada de avaliar os componentes dos fluxos e usos da água no sistema em termos de seus valores absolutos ou relativos (Tsutiya, 2006). Com o intuito de uniformizar uma estruturação básica a nível mundial para o balanço hídrico, a IWA (2000) propôs uma matriz (Tabela 3.4) onde são apresentadas as variáveis mais importantes para a composição dos fluxos e usos da água.

Tabela 3.4 Matriz de balanço hídrico da IWA (2000).

Volume produzido	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido	Água faturada
			Consumo faturado não medido	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo não faturado medido	Água não convertida em receita
			Consumo não faturado não medido	
	Perda de água	Perdas aparentes	Consumo não autorizado	
			Imprecisão de medição	
		Perdas reais	Vazamento e extravasamento em reservatórios	
			Vazamento em adutoras e redes de distribuição	
Vazamento em ramais				

Portanto, a estimativa do volume de perdas reais (V_{real}) a partir dos componentes do balanço hídrico do sistema é calculada pela Equação 3.5.

$$V_{real} = V_{fornecido} - V_{autorizado} - V_{aparente} \quad (\text{Equação 3.5})$$

Sendo: $V_{fornecido}$ = Volume produzido pelas estações de tratamento de água (m^3);

$V_{autorizado}$ = Volume de consumo autorizado (m^3);

$V_{aparente}$ = Volume de perdas aparentes (m^3).

O cálculo do balanço hídrico requer medições ou estimativas criteriosas em cada ponto de controle definido no sistema. O volume de água fornecido é o volume macromedido na entrada do sistema e o volume de consumo autorizado é o volume micromedido, enquanto o volume de perdas aparentes deve ser estimado. Geralmente, o período de avaliação das grandezas envolvidas é de 12 meses, de modo que os valores apresentados representem uma média anualizada dos componentes, absorvendo as sazonalidades.

3.5.4. Métodos de controle ativo de vazamentos

Os métodos utilizados para controle ativo de vazamentos se dividem em duas categorias: os métodos acústicos e os métodos de medição da vazão. Os métodos acústicos são capazes de identificar a localização dos vazamentos a partir de aparelhos sensíveis que detectam o ruído gerado pela água escapando do sistema pressurizado, porém não são capazes de quantificar o volume desses vazamentos com acurácia. Os métodos de medição da vazão inferem a presença de possíveis vazamentos a partir da medição da vazão em diferentes pontos de uma rede de distribuição. Embora possibilitem a estimativa do volume dos vazamentos, os métodos de medição da vazão não são capazes de indicar a localização exata desses vazamentos.

Para quantificar as perdas reais, é recomendado o método contínuo da vazão mínima noturna, que se baseia na variação do consumo de água ao longo do dia. Durante a ocorrência da vazão mínima noturna (entre 3:00 e 4:00), há pouco consumo e a vazão é estável, logo uma parcela significativa desta vazão corresponderia às perdas reais; conhecendo os consumidores noturnos e suas prováveis demandas, a vazão dos vazamentos pode ser estimada subtraindo as demandas noturnas da vazão mínima noturna. Este método não deve ser utilizado em sistemas que possuem intermitência no abastecimento, pois a demanda reprimida durante parte do dia eleva o consumo noturno, o que causaria uma falsa noção de elevadas perdas noturnas.

No momento da vazão mínima noturna, as pressões do sistema atingem os valores máximos. Como a vazão nos vazamentos é influenciada pela pressão, o valor observado no momento da vazão mínima noturna corresponde à vazão máxima diária dos vazamentos e a extrapolação desta vazão para o restante do dia estaria superestimando as perdas reais diárias. Para corrigir essa falha, a vazão dos vazamentos extraída a partir da vazão mínima noturna deve ser multiplicada pelo Fator Noite/Dia, como exposto na Equação 3.6, resultando no volume médio diário provável dos vazamentos. O Fator Noite/Dia é determinado a partir de medições de pressão em um ponto representativo do DMC, como descrito pela Equação 3.7.

$$V_d = F_{nd} * Q_{mn} \quad (\text{Equação 3.6})$$

Sendo: V_d = Volume diário de perdas reais (m³/dia);

F_{nd} = Fator Noite/Dia (h/dia);

Q_{mn} = Vazão dos vazamentos = Vazão mínima noturna (m³/h).

$$F_{nd} = \sum_{i=0}^{24} \left(\frac{P_i}{P_{3-4}} \right)^{N_1} \quad (\text{Equação 3.7})$$

Sendo: P_i = Pressão média no ponto representativo para um horário i (mca);

P_{3-4} = Pressão média no ponto representativo entre 3:00 e 4:00 (mca);

N_1 = Expoente que depende do tipo de material dos tubos.

A escolha do ponto representativo deve levar em consideração a elevação média do DMC e as singularidades, em especial as maiores concentrações de interseções, que são os pontos com maior probabilidade de ocorrência de vazamentos.

Anteriormente ao cálculo do Fator Noite/Dia, é necessário estimar o expoente N_1 a partir da Equação 3.4, resultando na Equação 3.8.

$$N_1 = \frac{\log(Q_1/Q_0)}{\log(P_1/P_0)} \quad (\text{Equação 3.8})$$

Sendo: Q_0 = Vazão inicial (m³/h);

Q_1 = Vazão final (m³/h);

P_0 = Pressão inicial (mca);

P_1 = Pressão final (mca).

Como a vazão mínima noturna corresponde à vazão máxima diária dos vazamentos, o Fator Noite/Dia é menor que 24 h em setores sem interferência operacional. Em setores com válvulas redutoras de pressão (VRPs), o comportamento da variação das pressões ao longo do dia é invertido e o Fator Noite/Dia é maior que 24 h.

3.5.5. Controle de perdas

O controle de perdas não deve ser uma ação pontual e desprovida de acervo técnico e gerencial. As ações devem ser definidas a partir de um planejamento estratégico, realizando-se um diagnóstico operacional, capacitando os funcionários e definindo metas de longo prazo (ABES, 2015). É importante que as companhias tenham o hábito de registrar a ocorrência de falhas, apontando a localidade e a quantidade, de modo a subsidiar os diagnósticos dos problemas e as melhorias futuras.

A AWWA (2009) classifica as intervenções contra vazamentos de acordo com o prazo de atuação. As ações de curto prazo consistem no reparo de vazamentos reportados e não reportados. As intervenções devem ser rápidas, confiáveis, econômicas e bem documentadas. As ações de médio prazo consistem na gestão da pressão de operação, que possibilita a redução da frequência de surgimento de novos vazamentos na rede de distribuição e também a redução da vazão desses vazamentos. A pressão de operação do sistema deve assegurar um abastecimento suficiente e eficiente para os usuários; ao mesmo tempo, as pressões excessivas e desnecessárias devem ser reduzidas, e os transientes hidráulicos devem ser controlados. No longo prazo, devem ser previstas a reabilitação e a renovação da infraestrutura de distribuição de água.

A ABES (2015) elenca as seguintes medidas para o aprimoramento dos resultados de combate às perdas em termos da melhoria de materiais e tecnologias:

- Implantação de tubos PEAD (polietileno de alta densidade) soldados, de alta resistência, constituindo uma estrutura de monobloco;
- Instalação de hidrômetros com metrologia mais desenvolvida e que permitem a operação com menores índices de submedição;
- Utilização de *loggers* de ruídos na rede;
- Aplicação de macromedidores de inserção ultrassônicos ou eletromagnéticos;
- Telemetrização dos hidrômetros acoplados a sensores de pressão;
- Uso de sistemas georreferenciados associados à modelagem hidráulica da rede.

3.6. TRABALHOS ANTERIORES NO CAMPUS DARCY RIBEIRO

Segundo Araújo e Virgolim (2010), as primeiras medidas para reduzir o consumo de água no *Campus* Darcy Ribeiro foram tomadas no início da década de 1990, sendo motivadas pela necessidade de reduzir as despesas com as contas de água. Primeiramente, a rede de distribuição de água do *Campus*, que possuía três pontos de alimentação direta, foi seccionada em três redes ramificadas independentes, visando acabar com o problema da reversão dos hidrômetros, o que não se mostrou uma medida efetiva. Em um segundo momento, partiu-se para uma busca extensiva por vazamentos ao longo do *Campus*, o que proporcionou uma economia considerável.

Em 2005, formou-se uma comissão para análise do problema composta pelo Departamento de Engenharia Civil e pelo Departamento de Antropologia. Esta comissão decidiu pela instalação de hidrômetros na entrada de todos os prédios do *Campus*, instalação de válvulas redutoras de pressão na rede, construção de reservatórios nos prédios novos, construção de um novo tronco de distribuição para atender principalmente aos prédios novos e substituição das válvulas de descarga nos banheiros. Nos anos seguintes, foi observada uma redução significativa no consumo de água no *Campus*, mesmo com um aumento de, aproximadamente, 25% no número de estudantes entre 2006 e 2009.

A variação do consumo de água mensal médio no *Campus* Darcy Ribeiro ao longo das décadas de 1990 e 2000 é apresentada na Figura 3.11.

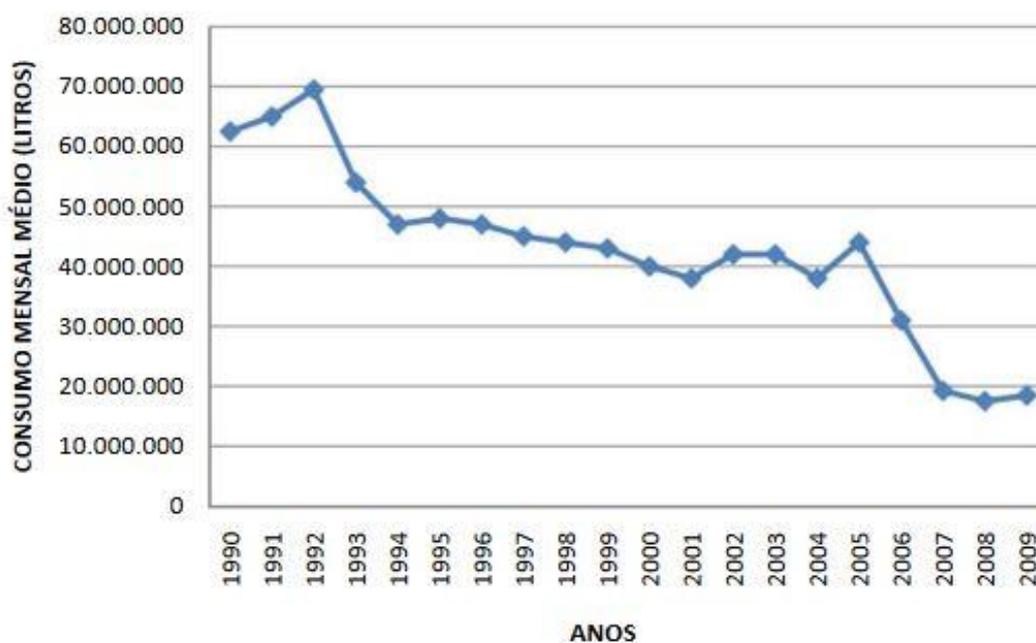


Figura 3.11 Consumo de água no *Campus* ao longo do tempo (Araújo e Virgolim, 2010).

Araújo e Virgolim (2010) constataram que as pressões oscilam muito no Instituto Central de Ciências ao longo do dia, chegando até 62 mca. A oscilação de pressões seria consequência do abastecimento direto do prédio pela CAESB, sem o amortecimento de um reservatório. A ocorrência de incrustações nas tubulações de ferro fundido exige pressões elevadas para o atendimento da demanda de água, o que, ao mesmo tempo, aumenta a vazão dos vazamentos. Portanto, a falta de manutenção preventiva e a má qualidade das tubulações seriam os principais motivos associados à ocorrência excessiva de perdas de água no *Campus*.

Matos e Lopes (2016) analisaram as séries históricas de consumo de água no *Campus* entre 2014 e 2016, e constataram consumos mensais acima da faixa de consumo médio no ICC, na Faculdade de Tecnologia (FT), na Faculdade de Ciências da Saúde, na Faculdade de Direito, na Faculdade de Educação Física, nos Pavilhões Anísio Teixeira e João Calmon, no SG-4, no SG-10, no SG-11, no SG-12, no Centro Comunitário, na Reitoria, entre outros prédios, o que pode caracterizar a ocorrência de vazamentos. Segundo suas estimativas, os vazamentos excessivos teriam gerado um prejuízo para a UnB de R\$ 133.457,60 apenas no ano de 2016. Matos e Lopes (2016) também verificaram vazamentos na FT (1,05 m³/h) e no SG-12 (0,47 m³/h) pelo método das vazões mínimas noturnas.

Oliveira (2018) analisou as séries históricas de consumo de água no *Campus* entre 2010 e 2017, e calculou um consumo diário de 266,6 m³ no ICC a partir da maior mediana mensal observada durante o período amostral. O ICC, a FT, o SG-4 e o SG-10 foram identificados como prédios com variabilidade excessiva de consumo por terem apresentado muitos dados *outliers*. Foram registradas pressões máximas de 60 mca no ponto de alimentação do prédio (saída sul) e de 53 mca no banheiro ASS-672/15 (localizado no Departamento de História, no subsolo do ICC). Através de simulações hidráulicas no EPANET, Oliveira (2018) concluiu que o reservatório Castelo D'Água possui carga hidráulica suficiente para o abastecimento do ICC por gravidade, garantindo abastecimento contínuo e estabilização das pressões.

Barbosa *et al.* (2018) caracterizaram os usos-finais de água no *Campus* Darcy Ribeiro por meio de questionários aplicados a alunos, professores e funcionários. Em posse dos indicadores de consumo em litros por pessoa por dia e em litros por área construída por dia, foi calculado o consumo de água para cada atividade e constatou-se que as descargas sanitárias constituem a atividade de maior consumo de água na maioria das edificações,

representando 28% a 68% do consumo predial. Na comparação entre os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (AAP) e de reúso de águas cinzas (RAC), os sistemas de AAP se mostraram capazes de promover maiores economias. Considerando o aproveitamento de águas pluviais em irrigação, lavagem de pisos e descarga sanitária, os sistemas de AAP são capazes de promover uma economia de 19.510 m³/ano no consumo de água do ICC. A perda de água foi estimada por meio de leituras de hidrômetros durante um final de semana com feriado (de 12/10/2018 a 15/10/2018) e foram identificados elevados índices de vazamentos no ICC, com perdas chegando a uma vazão de, aproximadamente, 116 m³ de água potável por dia. Além disso, foi observada uma discrepância de 44,54% entre consumo estimado e consumo faturado no ICC.

4. METODOLOGIA

Este trabalho teve como motivação a redução das despesas da universidade com as contas de água a partir da estabilização das pressões nas instalações prediais de água do Instituto Central de Ciências, localizado no *Campus Darcy Ribeiro* da Universidade de Brasília.

A metodologia se baseou no levantamento de dados de pressão (nas instalações prediais da região sul e da região norte do ICC) e de dados de vazão (na ligação predial do ICC), de modo a apontar padrões de comportamento e possíveis problemas. A análise prosseguiu utilizando modelagem computacional para realizar simulações hidráulicas de possíveis novos cenários de funcionamento. Os procedimentos de análise serão detalhados a seguir.

4.1. LOCAL DE ESTUDO

O *Campus Darcy Ribeiro* está localizado na Asa Norte, entre a avenida L2 Norte e as margens do Lago Paranoá, e compreende uma área de 3.950.579,07 m², sendo 590.925,89 m² de área construída (DPO, 2018). Diariamente, cerca de 60 mil pessoas, entre estudantes, docentes, técnico-administrativos e visitantes, circulam pelo *Campus*.

O *Campus* é abastecido pelo reservatório do Plano Piloto 1 (RAP.PPL.001), localizado na ETA Brasília (a aproximadamente quatro quilômetros de distância do ICC), como indicado na Figura 4.1.

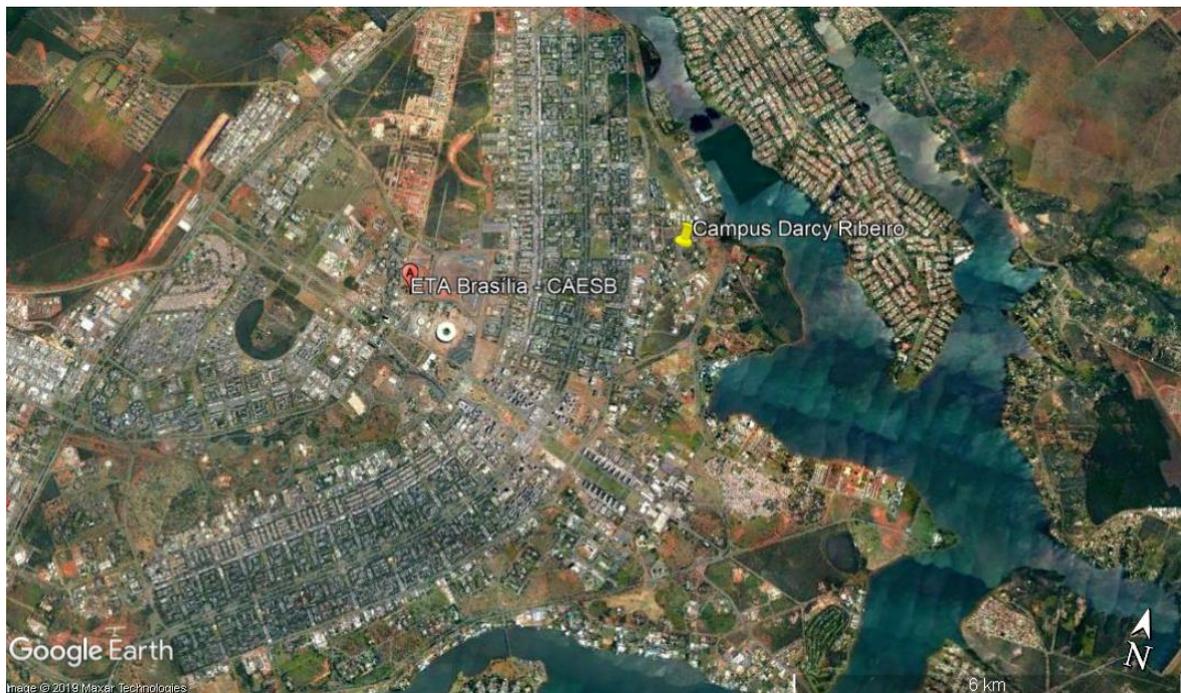


Figura 4.1 Localização do reservatório que abastece o *Campus Darcy Ribeiro*.

A alimentação do *Campus* é realizada por uma rede de distribuição de água ramificada, cuja disposição é representada na Figura 4.2. Todos os prédios do *Campus* possuem hidrômetros individualizados.

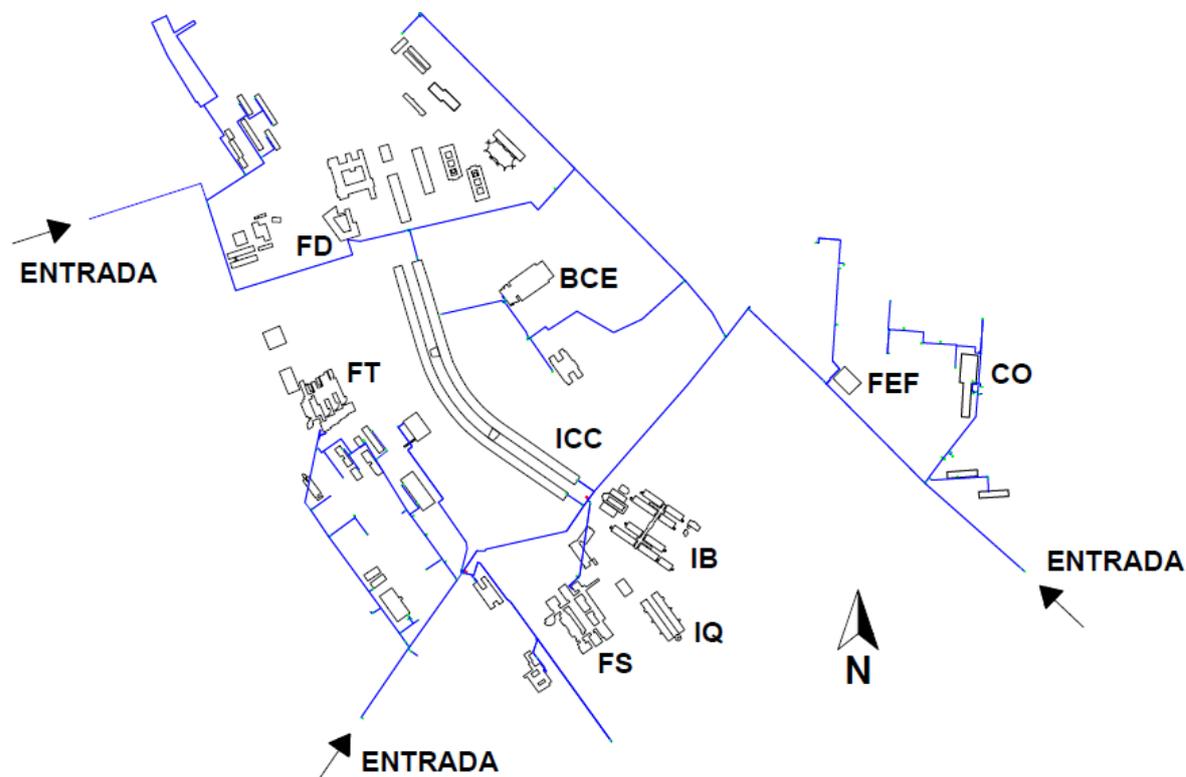


Figura 4.2 Rede de distribuição de água do *Campus* Darcy Ribeiro.

O Instituto Central de Ciências é o principal prédio do *Campus* Darcy Ribeiro e foi desenhado por Oscar Niemeyer. Conhecido pela estrutura curva em concreto pré-moldado e pelos longos corredores centrais ajardinados, o prédio possui 70 m de largura e cerca de 700 m de comprimento. O ICC é composto por três pavimentos (subsolo, térreo com pé-direito duplo e mezanino) e abriga diversos institutos, faculdades, salas de aula, auditórios e atividades de apoio acadêmico. Por este motivo, o prédio apresenta o maior consumo de água do *Campus* (Matos e Lopes, 2016) e, conseqüentemente, deve receber uma atenção especial em um planejamento para reduzir as despesas da universidade com as contas de água. Como pode ser observado na Figura 4.2, as instalações prediais de água do ICC são ligadas à rede de distribuição de água do *Campus* por quatro diferentes entradas: duas na saída sul, uma no ICC Norte e outra na saída norte. Entretanto, apenas a alimentação na saída sul pelo Bloco B se encontra em funcionamento.

4.2. LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRESSÃO E DE VAZÃO

Os dados de pressão nas instalações prediais de água fria do ICC foram obtidos remotamente a partir da instalação de manômetros com *data logger* em dois banheiros localizados no mezanino do prédio, um na região sul (B1-33/60) e outro na região norte (B1-633/62). Tais manômetros correspondem ao modelo Z.10.B da marca *Zürich* e possuem capacidade de medição entre 0 e 100 mca. A localização aproximada dos manômetros no ICC é apresentada na Figura 4.3 e o modo como os manômetros foram instalados nos banheiros é exibido na Figura 4.4.

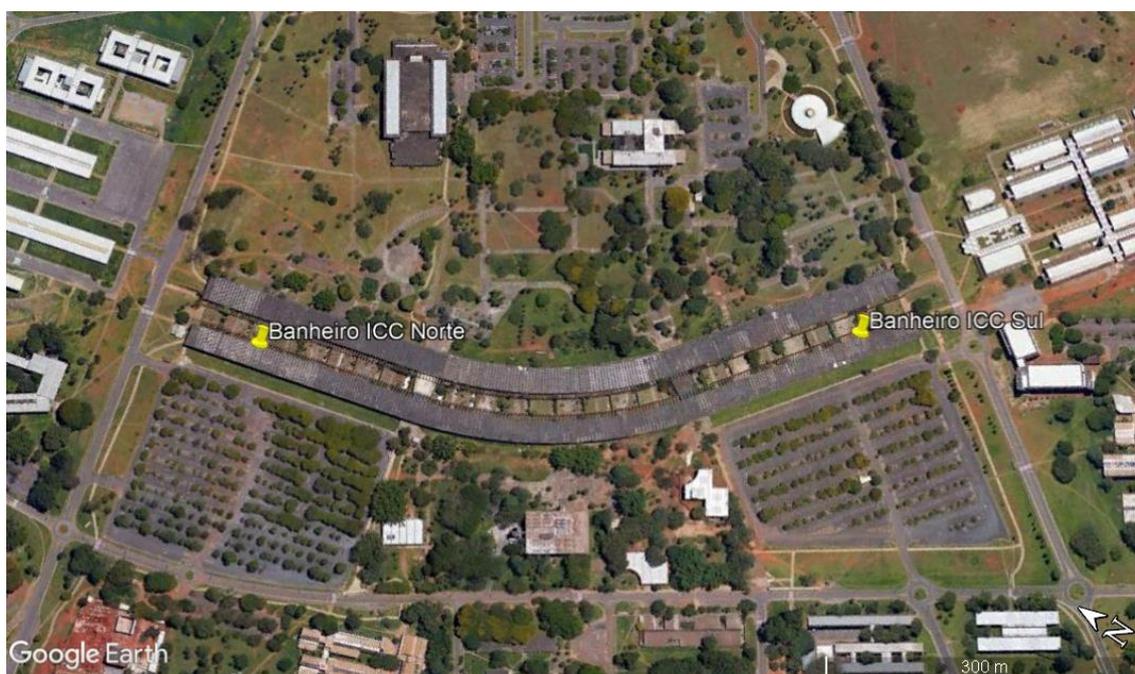


Figura 4.3 Localização aproximada dos manômetros instalados no ICC.



Figura 4.4 Instalação do manômetro no banheiro B1-633/62.

Inicialmente, a coleta de dados se estenderia entre 25 de abril e 27 de junho de 2019, representando o período letivo, e entre 18 e 31 de julho de 2019, representando o período de férias, para ambos os banheiros, porém isso só foi possível no banheiro do ICC Sul. O manômetro instalado no banheiro do ICC Norte teve problemas de funcionamento da pilha, não sendo possível registrar os dados entre 23 de maio e 6 de junho de 2019. De modo a compensar esta ausência de dados e a padronizar o período amostral dos dois banheiros, foram coletados dados de pressão no banheiro do ICC Norte nas duas semanas posteriores ao término do planejamento inicial, ou seja, de 28 de junho a 12 de julho de 2019 (último dia letivo do primeiro semestre deste ano).

Com exceção da primeira semana de coleta de dados no banheiro do ICC Norte (na qual as pressões foram registradas a cada 50 minutos), todas as coletas de dados semanais registraram as pressões em intervalos de cinco minutos, possibilitando o registro de 2300 pontos. O acompanhamento do registro de dados foi semanal, uma vez que era necessário limpar a memória dos manômetros para a coleta de novos dados.

O processo de análise consistiu na separação dos dados em períodos amostrais de interesse. Além da separação entre período letivo e período de férias, o período letivo foi dividido em dias com aula (segunda a sexta) e dias sem aula (finais de semana, feriados, pontos facultativos e dias com paralisação programada). Os dias com aula também foram subdivididos em três turnos diários: matutino (entre 6:00 e 11:59), vespertino (entre 12:00 e 17:59) e noturno (entre 18:00 e 23:00). É importante ressaltar que a UnB divide os turnos de aula apenas em diurno e noturno, porém optou-se por dividir o dia em três turnos para observar melhor as variações de pressão ao longo do dia.

De modo a facilitar a interpretação destes dados, foram gerados diagramas de caixa (*boxplot*) para os períodos de interesse, com o quartil sendo calculado pelo método da mediana exclusiva, ou seja, excluindo a mediana do cálculo quando o número de dados for ímpar.

Os dados de vazão foram fornecidos diretamente pela CAESB e abrangem o período entre 10 de abril e 10 de outubro de 2019. O levantamento de dados foi realizado utilizando um hidrômetro ultrassônico com telemetria, ou seja, que dispõe de um sistema de monitoramento com comunicação sem fio para medição da vazão e do volume acumulado à distância. O cavalete instalado na ligação predial do ICC, localizado na saída sul do prédio, é exibido na Figura 4.5.



Figura 4.5 Cavalete com hidrômetro ultrassônico instalado na saída sul do ICC.

Como pode ser visto na Figura 4.5, o cavalete possui uma válvula de retenção e o hidrômetro ultrassônico, instalado em dezembro de 2018. Anteriormente, havia um hidrômetro taquimétrico instalado nesta ligação predial. A Tabela 4.1 apresenta um comparativo entre os dois hidrômetros. Os *displays* dos hidrômetros taquimétrico e ultrassônico (atual) são mostrados nas Figuras 4.6 e 4.7, respectivamente.

Tabela 4.1 Comparativo entre o hidrômetro antigo e o hidrômetro novo.

Informações	Hidrômetro antigo	Hidrômetro novo
Marca	<i>Zenner</i>	<i>Arad</i>
Modelo	WS2000	Octave
Funcionamento	Taquimétrico	Ultrassônico
Diâmetro nominal	80 mm	50 mm
Vazão nominal	40 m ³ /h	40 m ³ /h
Perda de pressão dinâmica	0,6 bar	0,16 bar
Temperatura máxima	40 °C	50 °C
Telemetria	Não	Sim



Figura 4.6 *Display* do hidrômetro taquimétrico WS2000.



Figura 4.7 *Display* do hidrômetro ultrassônico Octave.

Os dados obtidos apresentam o consumo direto, o consumo reverso e o consumo total em volume acumulado (m^3) e em vazão (l/s), com medições realizadas a cada hora. Diversas medições apresentaram intervalos de hora com vazões nulas, o que pode ser resultado de vazões abaixo do limite de medição ou de falhas no processo de telemetria. Assim, foi realizado um filtro para selecionar apenas os dados com vazões não nulas.

Durante a seleção dos dados de interesse, constatou-se que os meses de maio e setembro apresentaram muitas inconsistências nos dados. Por este motivo, foram utilizados apenas os dados referentes aos meses de junho, julho e agosto no levantamento das vazões médias horárias. Dentro do período amostral definido, apenas o dia 29/08 apresentou ausência de dados, o que não se mostrou um problema. Durante o período em análise, as aulas se estenderam de 01/06 a 12/07 e de 12/08 a 31/08, havendo férias entre esses dois intervalos. No período letivo e no período de férias, as vazões médias foram separadas em dois grupos: dias de semana e finais de semana.

A partir dos dados de vazão e conhecendo o diâmetro do hidrômetro, também foi analisado se a velocidade da água atende ao limite máximo de 3,0 m/s recomendado pela NBR 5626/1998.

4.3. MODELAGEM HIDRÁULICA NO EPANET

O modelo hidráulico das instalações prediais de água do ICC no EPANET já havia sido elaborado anteriormente por Oliveira (2018) a partir da planta do subsolo do prédio e foi aproveitado neste trabalho. Utilizando este modelo como ponto de partida, foram realizados ajustes e correções para simular possíveis cenários de funcionamento. As simulações foram executadas utilizando a formulação de Darcy-Weisbach (Equação 3.3) para o cálculo da perda de carga hidráulica nos trechos por se tratar da formulação teoricamente mais correta (Rossman, 2000).

Os nós possuem dois dados de entrada: a cota e o consumo base. Os trechos possuem três dados de entrada: o comprimento, a rugosidade e o diâmetro das tubulações. Após a execução da simulação, o programa calculou a pressão em cada nó e a velocidade em cada trecho do modelo em condições ideais de funcionamento (a alimentação na entrada do prédio foi simulada como um reservatório de nível fixo com nível de água de 40 m).

As cotas dos nós foram definidas de acordo com o pavimento do prédio em que se encontram: 0,0 m para o subsolo, 3,4 m para o térreo e 6,6 m para o mezanino, como ilustrado na Figura 4.8. As ramificações com mais de um nó representam as colunas verticais de distribuição, que encaminham água do subsolo para o térreo e o mezanino.

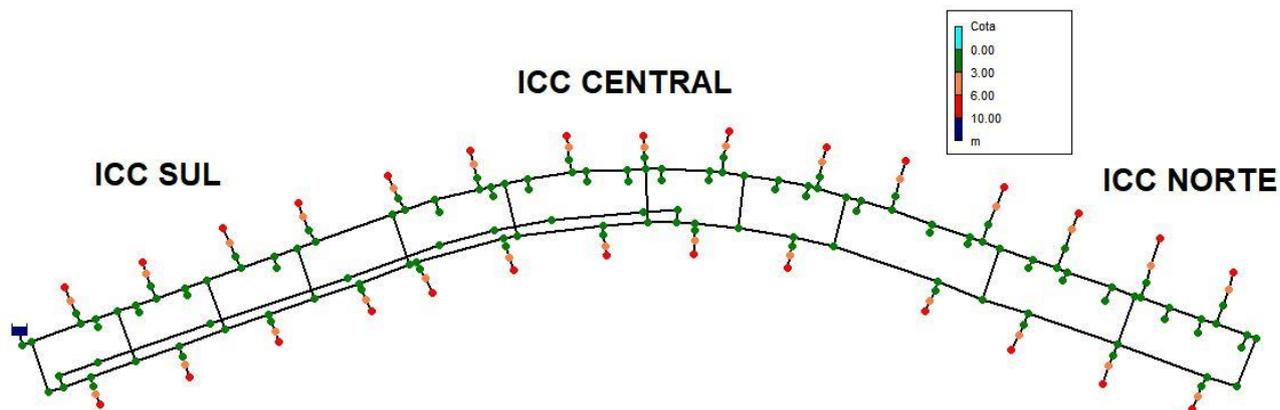


Figura 4.8 Cotas dos nós no modelo hidráulico do ICC.

A partir das plantas dos três pavimentos do ICC, foi levantado o número de bacias sanitárias, mictórios, lavatórios e chuveiros alimentados por cada nó. Após calcular o consumo máximo possível do prédio (15.514,8 l/min) pelo método dos pesos relativos (Equação 3.2), recorreu-se ao ábaco na Figura 3.9 para definir a percentagem máxima provável de uso em 8%. A vazão de entrada em cada nó pode ser observada no Apêndice A.

Foram indicadas rugosidades absolutas de 0,25 mm para tubulações em ferro fundido e de 0,0015 mm para tubulações em PEAD (polietileno de alta densidade).

Na Figura 4.9, são indicados os diâmetros das instalações prediais do ICC. Os condutos principais e suas ramificações possuem diâmetro nominal de 76,2 mm (3 polegadas), enquanto uma derivação existente no bloco A do ICC Sul (exibida em azul escuro) possui diâmetro nominal de 101,6 mm (4 polegadas).

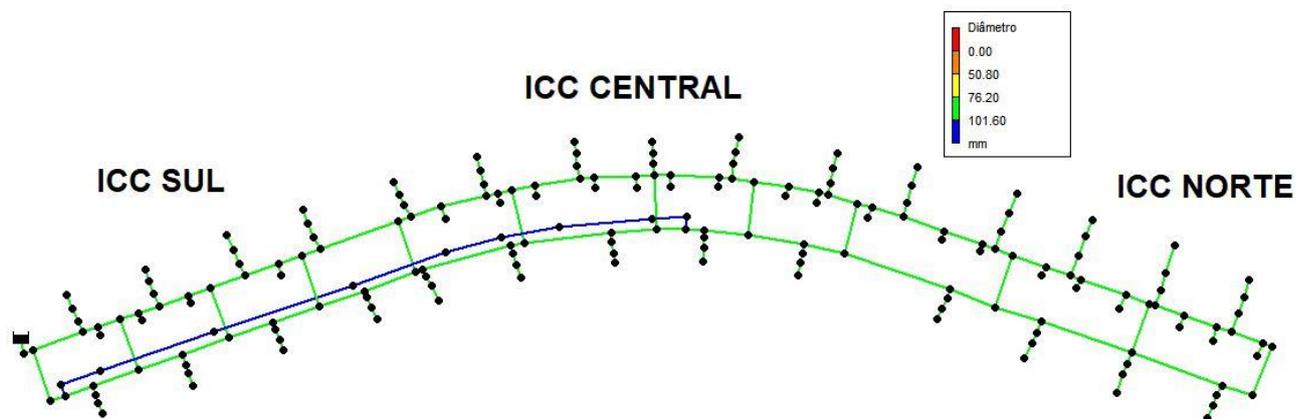


Figura 4.9 Diâmetros dos trechos no modelo hidráulico do ICC.

As simulações hidráulicas no EPANET foram realizadas para os cenários listados a seguir, variando os pontos de entrada de água do prédio e o material das tubulações:

- Cenário 1: tubulação em ferro fundido com alimentação apenas pela saída sul;
- Cenário 2: tubulação em ferro fundido com alimentação pela saída sul e pela saída norte;
- Cenário 3: tubulação em ferro fundido com alimentação pela saída sul e pelo ICC Norte (ramificação da rede de distribuição advinda da BCE);
- Cenário 4: tubulação em PEAD com alimentação apenas pela saída sul.

O Cenário 1 corresponde ao panorama atual de operação das instalações prediais do ICC. Para os Cenários 2 e 3, as simulações foram realizadas com a alimentação pela saída sul abastecendo o ICC Sul e o ICC Central, enquanto a segunda alimentação abastece apenas o ICC Norte. Em cada cenário, foi observado se as pressões nos nós e as velocidades nos trechos atendem aos limites impostos pela NBR 5626/1998. Os cenários simulados também foram comparados entre si, de modo a mensurar o impacto na distribuição de pressões nas instalações prediais de água do ICC.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. PRESSÃO NAS INSTALAÇÕES PREDIAIS DE ÁGUA DO ICC

No total, a instalação dos manômetros possibilitou o registro de 42.328 dados de pressão registrados nos dois banheiros ao longo do período de coleta de dados, que se estendeu entre os dias 25 de abril e 31 de julho de 2019. A Tabela 5.1 detalha como estes dados estão distribuídos dentro dos períodos de interesse da análise.

Tabela 5.1 Quantidade de registros de pressão de acordo com o período de interesse.

Período de interesse	ICC Sul	ICC Norte
Dias com aula	11.508	11.195
Dias sem aula durante o período letivo	6.624	5.847
Período de férias	3.554	3.600
Total	21.686	20.642

Dentro dos dados de pressão levantados durante os dias com aula, foram selecionados os dados que foram registrados durante os turnos do dia, cuja distribuição está detalhada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 Quantidade de registros de pressão de acordo com o turno.

Turno	ICC Sul	ICC Norte
Matutino (entre 6:00 e 11:59)	2.871	2.686
Vespertino (entre 12:00 e 17:59)	2.877	2.763
Noturno (entre 18:00 e 23:00)	2.400	2.304
Total	8.148	7.753

A variabilidade dos dados de pressão levantados nos banheiros que tiveram manômetros instalados (um no ICC Sul e outro no ICC Norte) nos dias com aula, nos dias sem aula dentro do período letivo e durante o período de férias é apresentada, respectivamente, nas Figuras 5.1, 5.2 e 5.3.

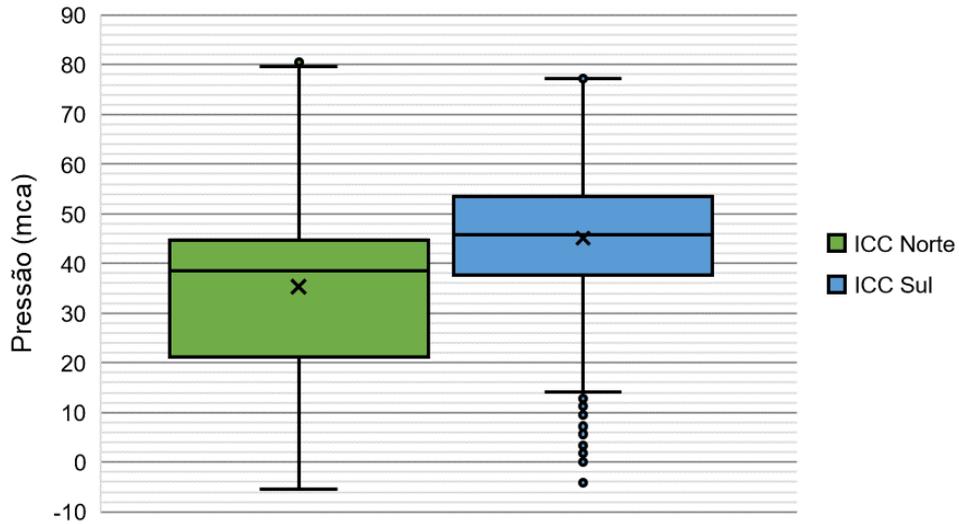


Figura 5.1 Variabilidade da pressão durante o período letivo nos dias com aula.

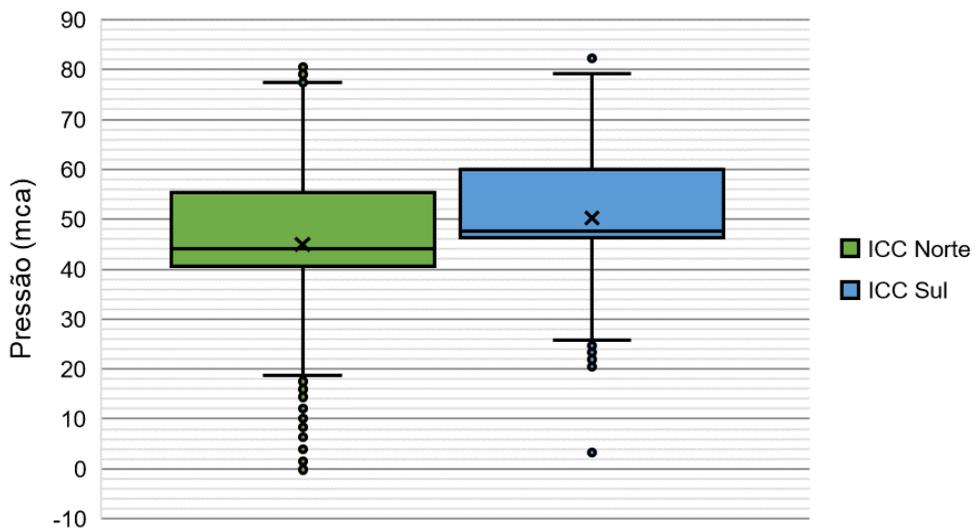


Figura 5.2 Variabilidade da pressão durante o período letivo nos dias sem aula.

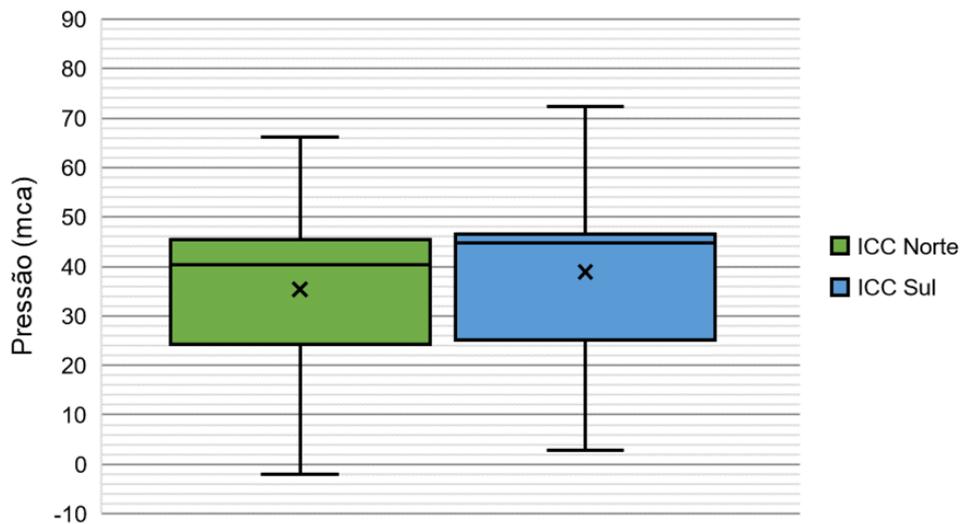


Figura 5.3 Variabilidade da pressão durante o período de férias.

Durante o período letivo, o banheiro localizado no ICC Sul apresentou um padrão de maiores pressões que o banheiro localizado no ICC Norte (principalmente nos dias com aula), o que é compreensível porque a alimentação do prédio ocorre pela saída sul e há perda de carga distribuída ao longo dos condutos em direção à saída norte. Durante o período de férias, as variações de pressão registradas no ICC Sul e no ICC Norte foram consideradas similares, resultado produzido pela queda no consumo de água durante o mês de julho, quando um número de pessoas consideravelmente menor circula pelo *Campus*.

Em relação aos limites de pressão estabelecidos pela NBR 5626/1998, o padrão observado no período de férias foi considerado razoavelmente satisfatório, embora tenham sido observadas pressões negativas no ICC Norte e pressões próximas a 70 mca nos dois banheiros. O limite superior de 40 mca é constantemente ultrapassado no banheiro do ICC Sul durante os dias com aula e em ambos os banheiros durante os dias sem aula. Nas Figuras 5.4 e 5.5, são detalhados, respectivamente, os percentuais dos dados de pressão nos dias com e sem aula que se encontram abaixo do limite inferior, dentro da faixa de operação recomendada e acima do limite superior de operação.

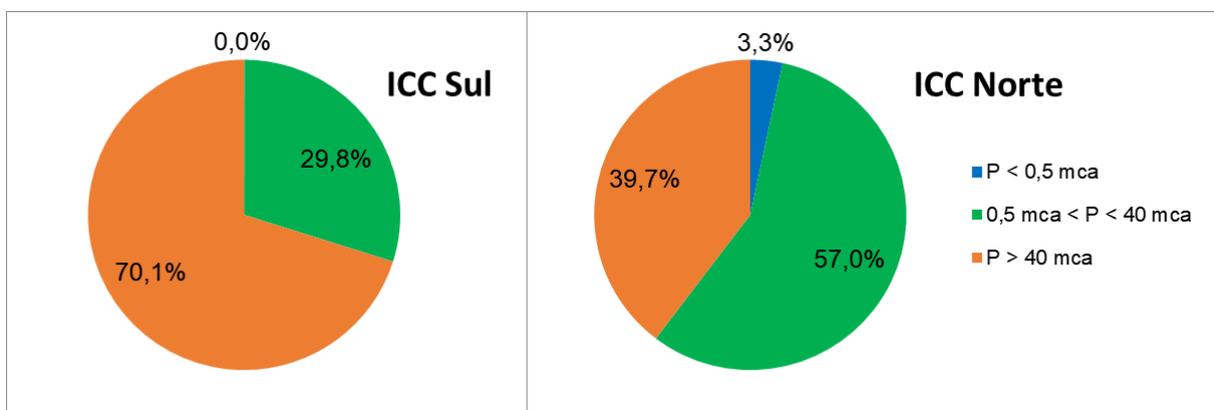


Figura 5.4 Distribuição percentual dos dados de pressão durante os dias com aula.

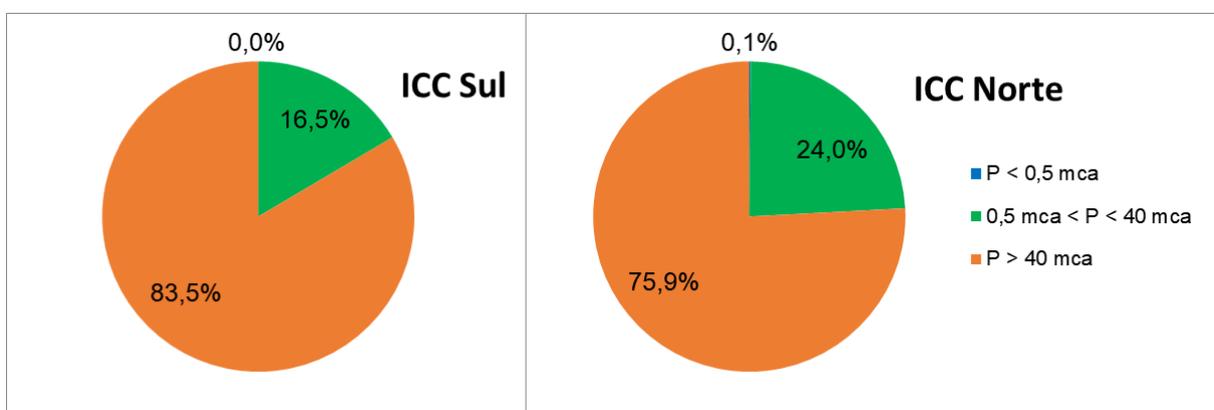


Figura 5.5 Distribuição percentual dos dados de pressão durante os dias sem aula.

Durante os dias com aula, o banheiro do ICC Norte apresentou o maior percentual de dados de pressão (57,0%) dentro da faixa recomendada de operação (entre 0,5 e 40 mca). Por outro lado, é o único cenário com uma quantidade mais significativa de dados (3,3%) abaixo de 0,5 mca, ou seja, a cada uma hora e meia, houve uma medição com pressão abaixo do limite inferior recomendado pela NBR 5626/1998, o que pode resultar em mau funcionamento dos aparelhos hidrossanitários em diversos momentos do dia. O aumento da pressão na entrada do ICC Sul não é uma alternativa para garantir o abastecimento de água no ICC Norte nos dias com aula, visto que as pressões já se encontram bastante elevadas (70,1% dos dados de pressão no banheiro do ICC Sul nos dias com aula superam 40 mca). Neste cenário, uma solução mais econômica é a ramificação dos ramais de abastecimento para encurtar os caminhos da água em momentos de alta demanda, ou seja, avaliar a possibilidade de aumentar o número de ligações entre os blocos A e B do ICC. Pensando em longo prazo, deve ser considerada a substituição da tubulação de ferro fundido por uma tubulação em PEAD, uma vez que a ocorrência de incrustações implica na necessidade de pressões mais elevadas para garantir o abastecimento. Desse modo, nos dias com aula, as pressões seriam reduzidas no ICC Sul e também seria atingida a pressão mínima de 0,5 mca no ICC Norte, garantindo o abastecimento de todo o prédio.

Em relação ao atendimento do limite superior de pressão, os dias sem aula apresentam uma situação mais crítica que os dias com aula. Nos dias sem aula, 83,5% dos dados no banheiro do ICC Sul e 75,9% dos dados no banheiro do ICC Norte se encontram acima de 40 mca. Como não há problema com pressões baixas nos dias sem aula, reduzir a pressão na entrada do ICC Sul com a operação de uma válvula redutora de pressão (VRP), tentando reproduzir nos finais de semana e nos feriados o padrão observado durante o período de férias, pode ser suficiente para amenizar o problema. A redução na pressão também teria o benefício de reduzir possíveis vazões de vazamentos, conforme a relação apontada pela Equação 3.4.

Para analisar a variação dos registros de pressão ao longo do semestre, o período amostral foi dividido em dois períodos: o primeiro abrangendo o final de abril e o mês de maio; o segundo abrangendo o mês de junho no banheiro do ICC Sul e o mês de junho e a primeira metade de julho no banheiro do ICC Norte. A variabilidade da pressão nestes dois períodos é mostrada na Figura 5.6 para o banheiro do ICC Sul e na Figura 5.7 para o banheiro do ICC Norte.

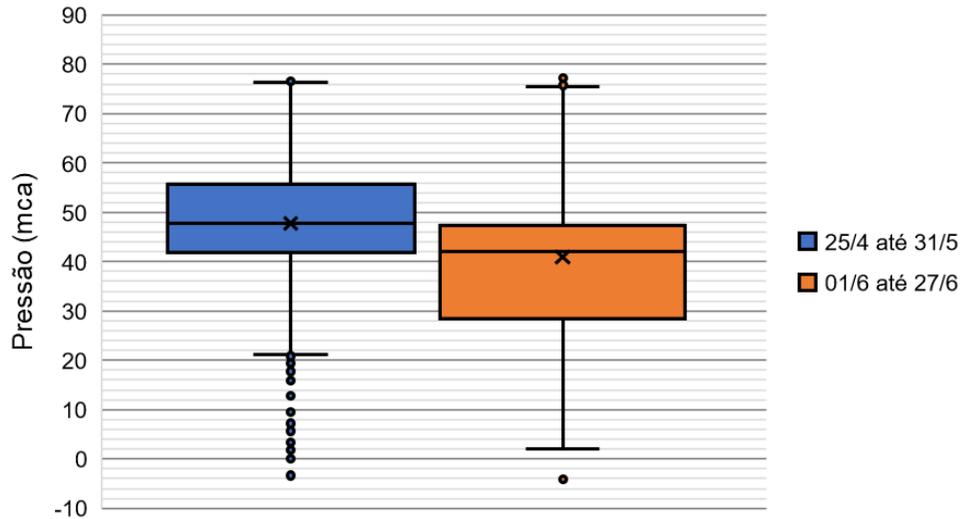


Figura 5.6 Variabilidade da pressão durante os dias com aula no ICC Sul.

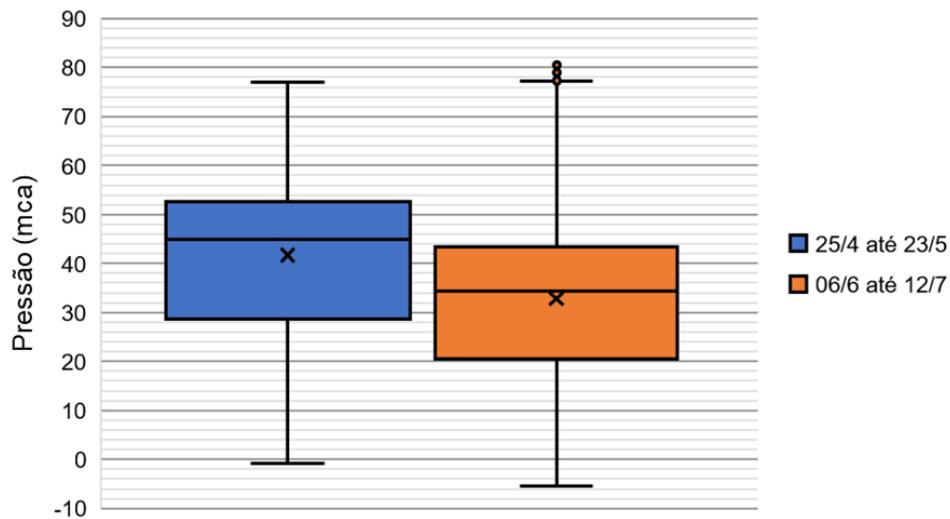


Figura 5.7 Variabilidade da pressão durante os dias com aula no ICC Norte.

Em ambos os banheiros, houve uma redução nas pressões registradas ao longo do semestre, o que é inconclusivo. Normalmente, as pressões mais elevadas estão relacionadas a períodos de menor consumo e, neste caso, as menores pressões estão associadas ao período de esvaziamento da universidade quando se aproxima do final do semestre e se inicia o encerramento das disciplinas. Desse modo, é recomendada uma nova coleta de dados abrangendo todo o período letivo para a observação das oscilações de pressão a cada mês. Há de se ressaltar que o comportamento observado na segunda metade do período amostral é mais interessante do ponto de vista do limite de pressões estáticas estabelecido pela NBR 5626/1998 e deveria tentar ser reproduzido ao longo de todo o período letivo.

A variabilidade da pressão ao longo dos dias de aula nos banheiros do ICC Sul e do ICC Norte é apresentada, respectivamente, nas Figuras 5.8 e 5.9.

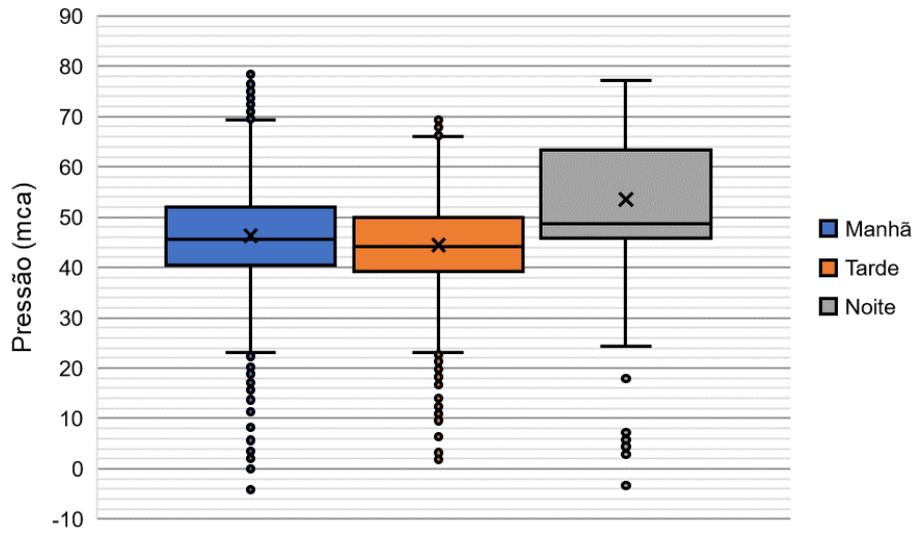


Figura 5.8 Variabilidade da pressão de acordo com o período do dia no ICC Sul.

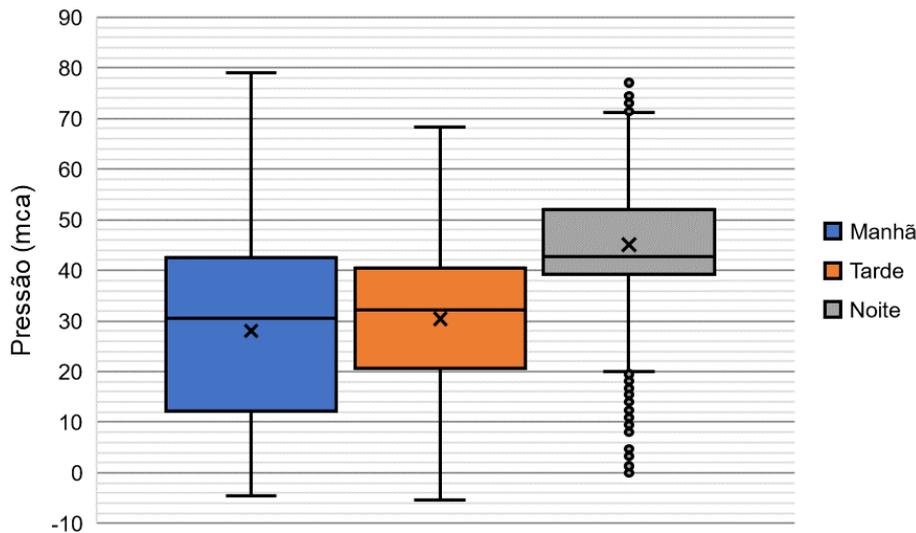


Figura 5.9 Variabilidade da pressão de acordo com o período do dia no ICC Norte.

Em ambos os banheiros, as maiores pressões foram observadas no período da noite. No banheiro do ICC Sul, mais de 75% dos dados se encontram acima do limite superior de 40 mca nos três períodos do dia e, aproximadamente, 50% dos dados se encontram acima de 50 mca no período noturno, prejudicando a integridade da rede e aumentando as vazões de vazamentos. Também no banheiro do ICC Sul, os diagramas de caixa indicam a incidência de muitos dados *outliers*. Desconsiderando estes dados, a variabilidade da pressão neste banheiro nos períodos matutino e vespertino é bem menor se comparada à do banheiro do ICC Norte.

Para observar melhor como as pressões oscilam nas instalações prediais de água do ICC ao longo de um dia, foi escolhido um dia típico de aula (22 de maio de 2019, quarta-feira) para representar essas oscilações. Os registros de pressão neste dia estão disponíveis para consulta nos Apêndices B (banheiro do ICC Sul) e C (banheiro do ICC Norte). Nas Figuras 5.10 e 5.11, são apresentadas as variações de pressão neste dia nos banheiros do ICC Sul e do ICC Norte, respectivamente.

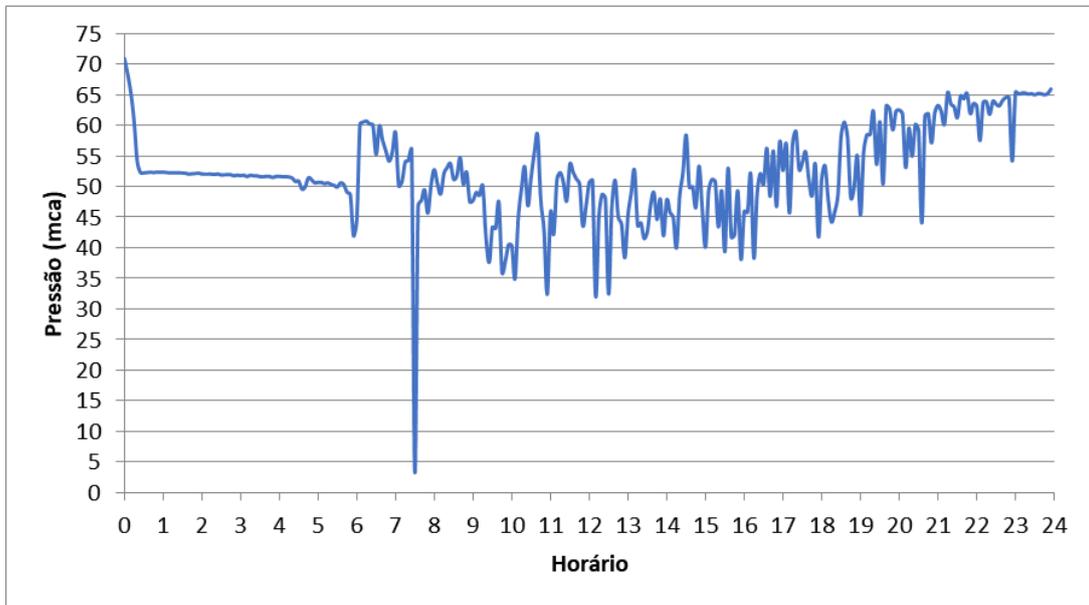


Figura 5.10 Variação da pressão no banheiro do ICC Sul no dia 22 de maio.

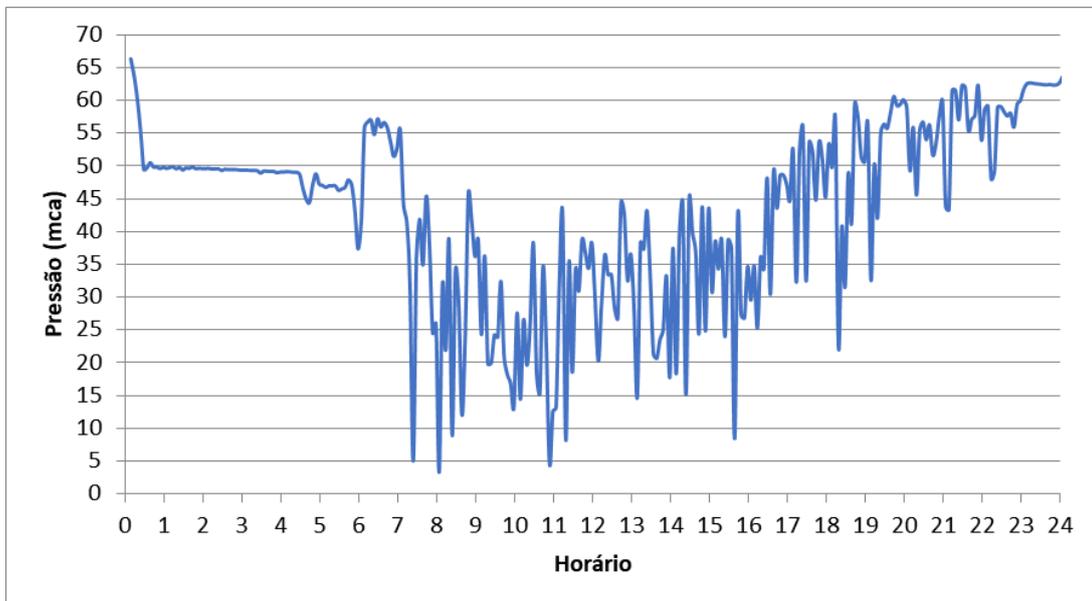


Figura 5.11 Variação da pressão no banheiro do ICC Norte no dia 22 de maio.

É possível observar que o funcionamento de uma válvula redutora de pressão instalada na rede de abastecimento ocorre entre 0:30 e 6:00, mantendo as pressões controladas em torno de 50 mca. Após a abertura da VRP, as pressões permanecem entre 50 mca e 60 mca de 6:00 até 7:00. A partir de 7:00, as pressões passam a manter um padrão oscilatório decorrente da alimentação direta do prédio.

Comparando os dois banheiros, as pressões oscilam muito mais no banheiro do ICC Norte, onde as pressões chegam a variar mais de 30 mca em curtos intervalos de tempo. Também são observadas mais quedas abruptas de pressão, que podem ser relacionadas à maior distância para a alimentação do prédio ou a um maior uso deste banheiro comparado ao banheiro no ICC Sul. Em ambos os banheiros, é observado um aumento de pressão a partir de 17:00, culminando em pressões mais elevadas no período noturno, como comentado anteriormente.

Portanto, em relação aos períodos do dia, a prioridade de atuação deve ser a redução das pressões no período noturno, de modo a se aproximar dos padrões observados nos períodos matutino e vespertino.

5.2. VAZÃO NA LIGAÇÃO PREDIAL DO ICC

No total, o hidrômetro ultrassônico registrou 368 dados de vazão horária no mês de junho, 430 em julho e 361 em agosto. Os registros de vazão nestes três meses estão disponíveis para consulta nos Apêndices D, E e F. Não houve consumo reverso durante o período amostral.

Os dados de vazão foram agrupados dentro de seus respectivos intervalos de hora, possibilitando a observação da variação da vazão ao longo de um dia, e separados em dias de semana ou finais de semana. Nas Figuras 5.12 e 5.13, são apresentadas as variações horárias de vazão durante o período letivo e durante o período de férias, respectivamente. Como cada registro de vazão corresponde à vazão média durante o intervalo de uma hora, optou-se por indicar o horário médio de cada intervalo de medição. Não foram registradas vazões antes de 7:00 e após 22:00 durante os três meses analisados, porém isso não significa que não houve vazão efetivamente nestes horários, pois o hidrômetro ultrassônico Octave com diâmetro nominal de 50 mm tem como limite mínimo de medição uma vazão de 60 l/h, ou seja, vazões inferiores a 0,016 l/s não são registradas.

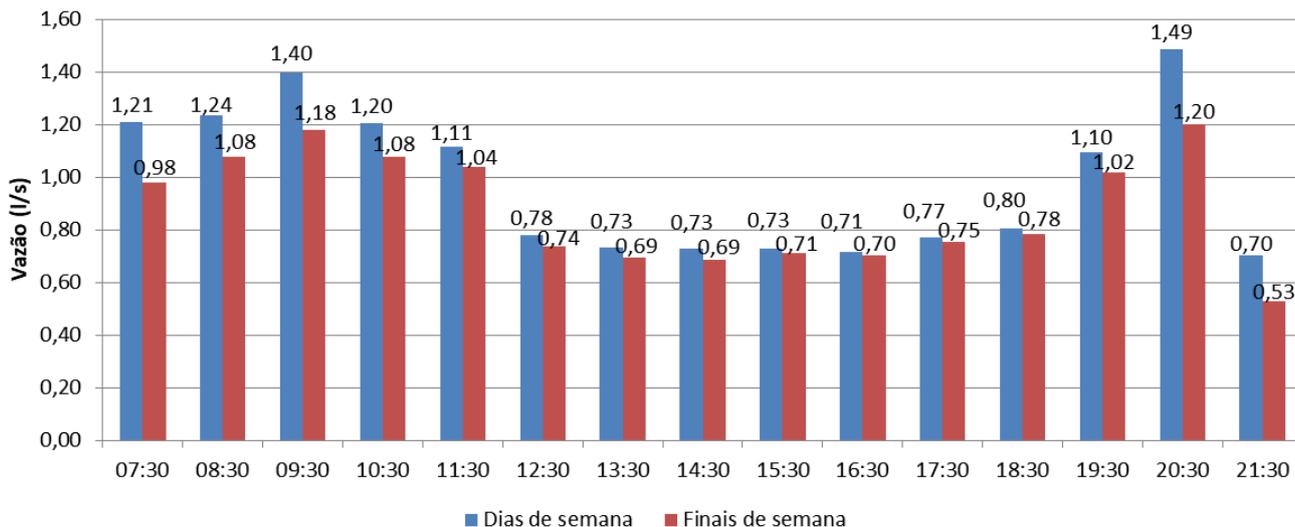


Figura 5.12 Vazões médias horárias durante o período letivo.

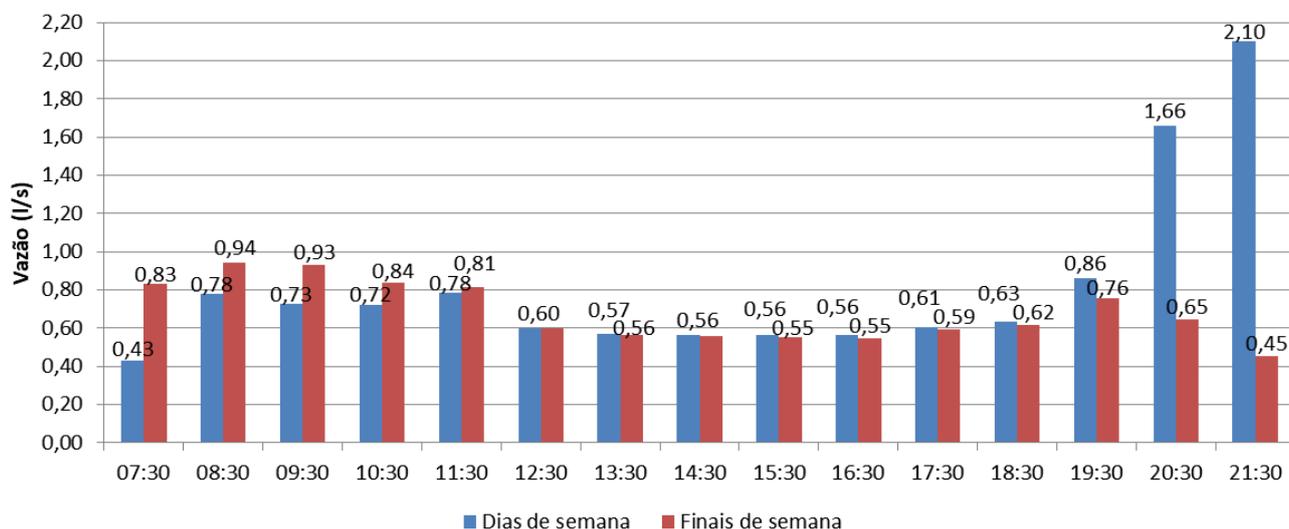


Figura 5.13 Vazões médias horárias durante o período de férias.

Durante o período letivo, foi observado um padrão de comportamento nos dias de semana e nos finais de semana, que se assemelha a uma parábola entre 9:00 e 21:00:

- 1) Aumento de vazão entre 7:00 e 9:00;
- 2) Pico de vazão entre 9:00 e 10:00;
- 3) Redução de vazão entre 10:00 e 12:00;
- 4) Manutenção de vazões menores entre 12:00 e 19:00;
- 5) Aumento de vazão entre 19:00 e 20:00;
- 6) Novo pico de vazão entre 20:00 e 21:00;
- 7) Redução da vazão após 21:00.

Era esperado que as maiores vazões fossem observadas entre 12:00 e 14:00, intervalo de tempo no qual os manômetros registraram as pressões mais baixas nas instalações prediais de água do ICC. Pelo princípio da conservação de energia, uma redução na pressão implicaria em um aumento da velocidade da água e, conseqüentemente, da vazão, porém as maiores vazões foram registradas durante o período da manhã e entre 19:00 e 21:00, enquanto que as vazões mais baixas foram observadas no período da tarde. Entende-se que o registro de pressões nos banheiros não indica a perda de carga no sistema e que o registro de pressão no ponto de alimentação se faz necessário para a análise da perda de carga.

As vazões registradas em dias de semana foram maiores que as vazões registradas nos finais de semana, o que é explicado pelo aumento do consumo de água decorrente de uma maior presença de pessoas no prédio durante os dias com aula. As diferenças mais significativas entre as vazões ocorreram antes de 10:00 e após 20:00, que são justamente os horários com maiores vazões registradas. Por outro lado, as vazões registradas durante os finais de semana do período letivo não acompanharam o padrão de redução observado do período letivo para o período de férias. Isso significa que pode haver alguma demanda especial nos finais de semana do período letivo, como equipamentos de laboratório que consumam água todos os dias. Durante os finais de semana, as pressões são mais estáveis devido a manobras de válvula externas ao *Campus*, justamente com o intuito de reduzir as perdas de água.

Durante o período de férias, as vazões oscilaram menos ao longo do dia, porém continuaram sendo observadas vazões elevadas após 20:00 nos dias de semana, inclusive vazões superiores às vazões observadas nos dias de semana durante o período letivo. Como no período da noite também foram registradas as maiores pressões nas instalações prediais do ICC, isso pode ser um indício de ocorrência de vazamentos nesse horário. É necessário realizar um estudo sobre o que poderia estar proporcionando esse consumo elevado de água em um horário no qual é esperado um consumo menor em relação ao resto do dia. Na ausência de justificativas, estaria confirmada a hipótese de ocorrência de vazamentos.

Na Figura 5.14, são apresentadas, em formato de diagrama de caixa, as amplitudes mensais das vazões registradas pelo hidrômetro ultrassônico entre junho e agosto de 2019.

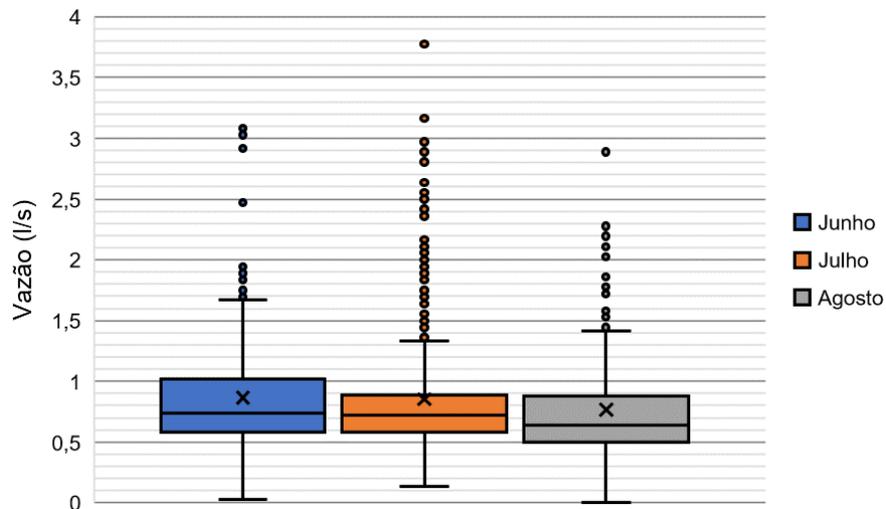


Figura 5.14 Amplitude dos dados de vazão nos meses analisados.

Nos meses analisados, a vazão se manteve predominantemente no intervalo de 0,6 l/s a 1,1 l/s, com média amostral de 0,83 l/s. Observando os quartis de cada mês, pode-se afirmar que não houve uma variação significativa da vazão de junho a agosto. Desconsiderando os dados outliers, a vazão máxima observada neste período foi de, aproximadamente, 1,7 l/s. Sabendo que o hidrômetro ultrassônico possui diâmetro nominal de 50 mm, foi calculada uma velocidade da água de 0,87 m/s para esta vazão, bem inferior à velocidade máxima de 3,0 m/s recomendada pela NBR 5626/1998. Ainda que fosse considerada a maior vazão registrada (3,8 l/s), a velocidade da água calculada (1,94 m/s) atenderia à norma.

De modo a verificar a validade dos dados de vazão levantados, também foram solicitados junto à CAESB os dados de consumo de água no ICC para os referidos meses, apresentados na Figura 5.15.

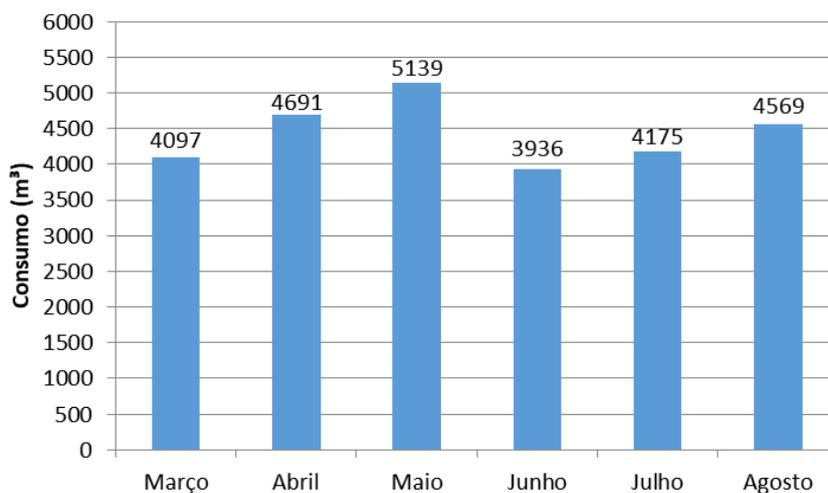


Figura 5.15 Consumo de água mensal no ICC.

O consumo de água mensal foi distribuído pelo número de dias em cada mês, resultando no consumo médio diário. Considerando que a vazão ocorre principalmente durante um intervalo de tempo de 15 horas em cada dia, como visto anteriormente nas vazões registradas pelo hidrômetro ultrassônico, foram estimadas vazões médias no prédio de 2,43 l/s no mês de junho, 2,49 l/s em julho e 2,73 l/s em agosto, valores bem acima das vazões registradas. Distribuindo a vazão pelas 24 horas do dia, as vazões estimadas cairiam para 1,52 l/s em junho, 1,56 l/s em julho e 1,71 l/s em agosto, valores ainda acima das vazões registradas. Portanto, há um indício de falhas no processo de telemetria dos dados de vazão pelo hidrômetro ultrassônico.

5.3. SIMULAÇÃO HIDRÁULICA NO EPANET

A Figura 5.16 apresenta resumidamente as pressões calculadas pelo EPANET nos quatro cenários para os dois banheiros que tiveram dados de pressão registrados por manômetros.

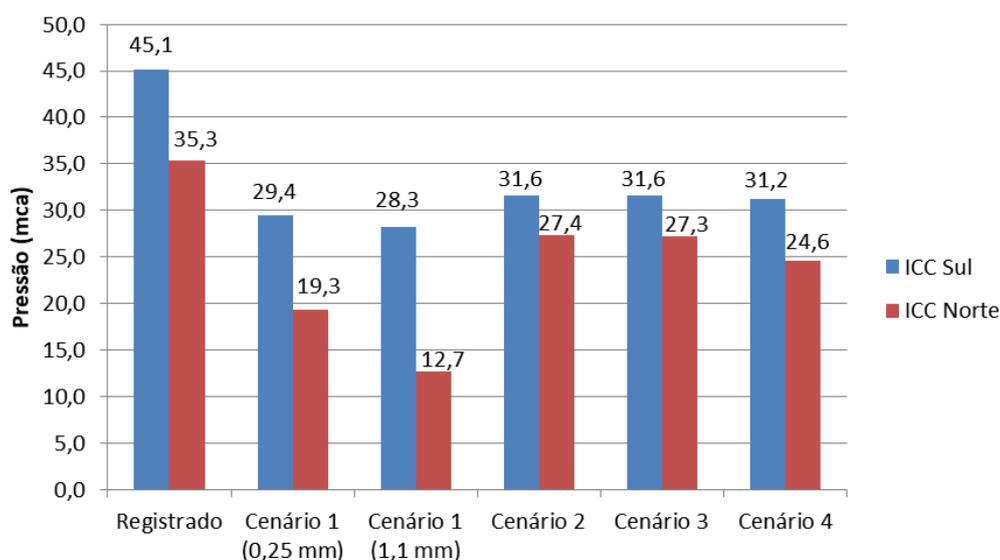


Figura 5.16 Comparativo entre as pressões nos dois banheiros do ICC analisados.

No Cenário 1, as simulações hidráulicas foram realizadas adotando rugosidades absolutas de 0,25 mm (rugosidade teórica) e de 1,1 mm (rugosidade máxima apropriada) para avaliar se a ocorrência de incrustações aumenta significativamente a rugosidade. As Figuras 5.17 (rugosidade de 0,25 mm) e 5.18 (rugosidade de 1,1 mm) exibem os resultados das simulações dentro do Cenário 1 quanto às pressões nos nós. Comparando as pressões calculadas pelo EPANET com as pressões médias registradas em dias com aula, observou-se que a diferença de pressão entre os dois banheiros considerando rugosidade de 0,25 mm (10,2 mca) se aproximou da diferença de pressão registrada pelos manômetros (9,8 mca).

Assim, é possível afirmar que a adoção de uma rugosidade absoluta de 0,25 mm nos trechos do modelo gera resultados simulados mais próximos dos registrados em campo.

Em relação à abertura de uma nova entrada de água no ICC, não foram observadas diferenças significativas para definir uma preferência pela saída norte ou pelo meio do ICC Norte, ou seja, entre o Cenário 2 (Figura 5.19) e o Cenário 3 (Figura 5.20). A nova entrada de água possibilita que a pressão seja reduzida na entrada do ICC Sul, uma vez que a alimentação do ICC Norte não dependeria mais da alimentação do ICC Sul. Desse modo, uma pressão de 35 mca na entrada que alimentaria exclusivamente o ICC Norte manteria a pressão em todo o prédio acima de 26 mca.

A troca das tubulações em ferro fundido por tubulações em PEAD (Cenário 4) também se mostrou uma alternativa com resultados positivos. Como mostra a Figura 5.21, a redução da rugosidade das tubulações provoca uma redução expressiva da diferença de pressão entre os dois banheiros (6,2 mca) quando comparado ao Cenário 1 com rugosidade absoluta de 0,25 mm (10,2 mca). Como as tubulações em ferro fundido do ICC são as mesmas desde a inauguração do prédio, a substituição das tubulações deve ser encarada como uma possibilidade real no futuro, porém é preciso ressaltar que se trata de uma medida que demandaria tempo para ser colocada em prática, além de proporcionar custos elevados.

A Tabela 5.3 apresenta as maiores velocidades da água observadas nas simulações hidráulicas da rede predial do ICC nos quatro cenários, todas ocorrendo imediatamente após o ponto de entrada de água no prédio.

Tabela 5.3 Velocidade da água calculada pelo EPANET em cada cenário.

Cenário	Entrada Sul	Entrada Norte
1	2,62 m/s	-
2	1,69 m/s	0,79 m/s
3	1,69 m/s	0,85 m/s
4	2,63 m/s	-

Portanto, em todos os cenários, a velocidade da água calculada respeitou o limite máximo de 3,0 m/s recomendado pela NBR 5626/1998.

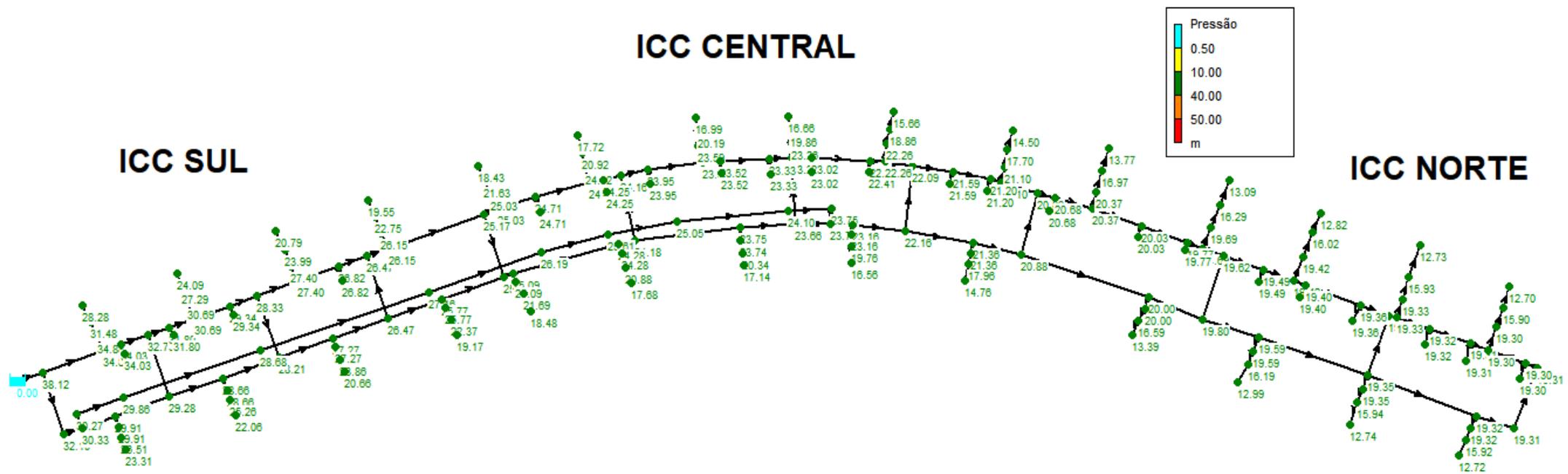


Figura 5.18 Simulação do Cenário 1 (rugosidade absoluta de 1,1 mm) no EPANET.

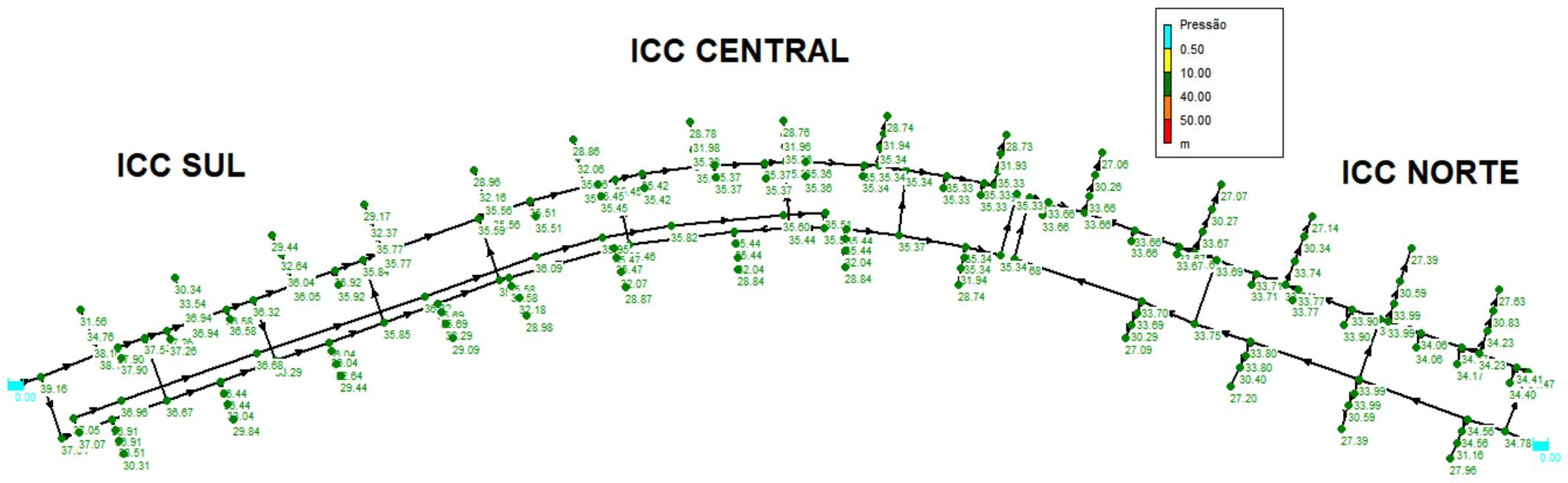


Figura 5.19 Simulação do Cenário 2 no EPANET.

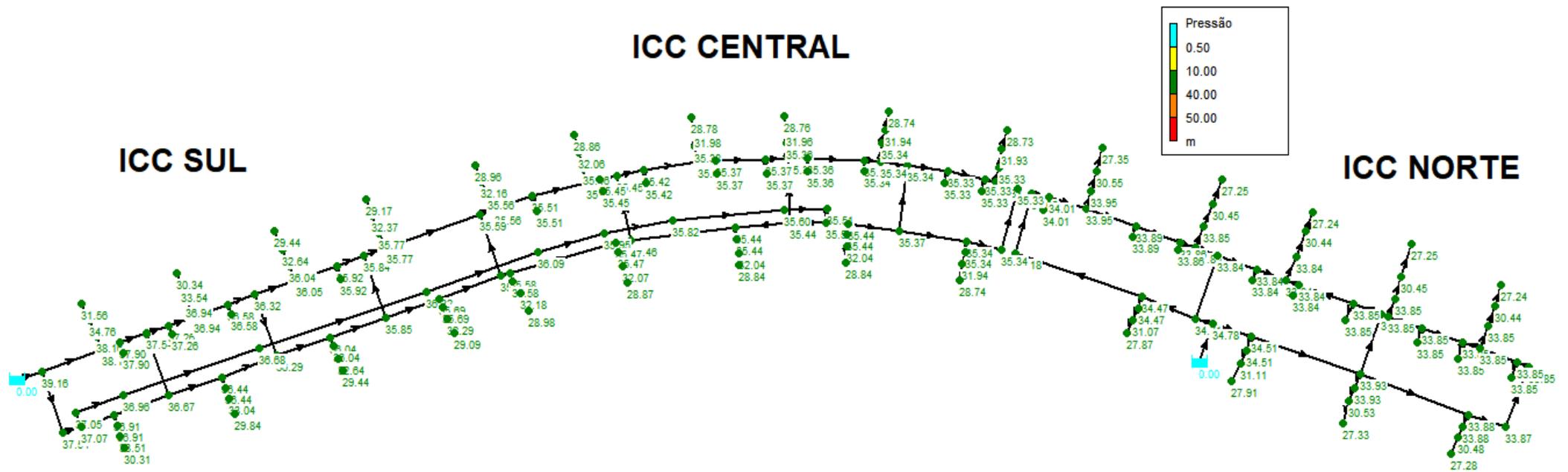


Figura 5.20 Simulação do Cenário 3 no EPANET.

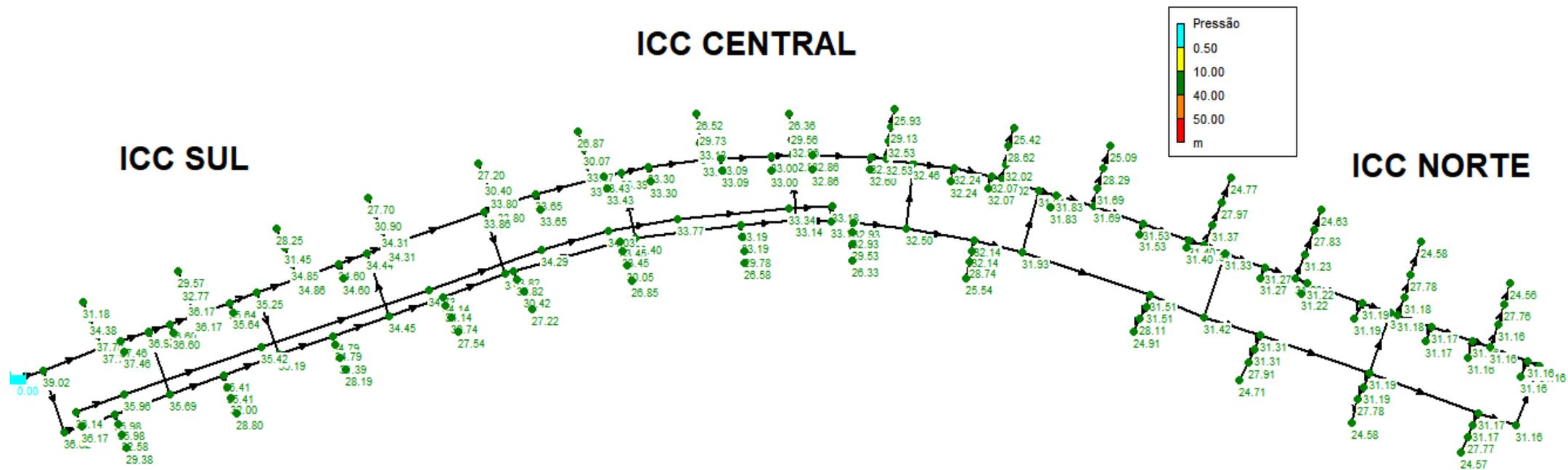


Figura 5.21 Simulação do Cenário 4 no EPANET.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A partir do levantamento de dados de pressão no ICC Sul e no ICC Norte, verificou-se que há uma relação entre períodos de menor movimentação/consumo de água e pressões mais elevadas nas instalações prediais, como em dias sem aula dentro do período letivo e durante o período noturno. Quanto aos limites estabelecidos pela NBR 5626/1998, observou-se que mais de 70% das medições se encontraram acima do limite de 40 mca no ICC Norte em dias sem aula e no ICC Sul em dias com e sem aula. Também foi observado um número mais significativo de medições abaixo de 0,5 mca no ICC Norte em dias com aula, o que pode resultar em mau funcionamento dos aparelhos hidrossanitários. No período noturno, mais de 75% das medições se encontraram acima de 40 mca e cerca de 50% das medições se encontraram acima de 50 mca no banheiro do ICC Sul. Portanto, o limite superior de pressão estática é frequentemente ultrapassado, o que prejudica a integridade das instalações prediais de água do ICC e também potencializa as perdas de água.

Os dados de vazão fornecidos pela CAESB mostraram que as vazões na ligação predial do ICC costumam variar entre 0,6 l/s e 1,1 l/s, com média de 0,83 l/s entre junho e agosto. Considerando o intervalo de um dia, as vazões apresentaram um comportamento que se assemelha a uma parábola: há um pico de vazão entre 9:00 e 10:00; redução e estabilização da vazão entre 12:00 e 19:00; novo pico de vazão entre 20:00 e 21:00. Não foram registradas vazões antes de 7:00 e após 23:00. A ocorrência de vazões elevadas durante o período da noite, mesmo durante o período de férias, pode ser relacionada a possíveis vazamentos de água no ICC. A velocidade da água calculada na passagem pelo hidrômetro satisfaz com folga a velocidade máxima de 3,0 m/s recomendada pela NBR 5626/1998.

Através de simulações hidráulicas no EPANET, concluiu-se que a abertura de uma nova entrada de água para alimentar exclusivamente o ICC Norte constitui uma medida eficaz para melhorar a distribuição de pressões nas instalações prediais de água do ICC, podendo ser colocada em prática rapidamente. A substituição das tubulações em ferro fundido por novas tubulações em PEAD também é uma alternativa que apresenta bons resultados, porém demandaria mais tempo e recursos. Nos quatro cenários analisados, a velocidade da água calculada pelo EPANET se encontra abaixo da velocidade máxima de 3,0 m/s recomendada pela NBR 5626/1998.

A possibilidade de um monitoramento mais controlado da pressão e da vazão no ICC seria extremamente vantajoso do ponto de vista do acompanhamento do consumo de água e da avaliação das perdas de água, podendo proporcionar reduções significativas dos gastos da universidade com as contas de água. A instalação do hidrômetro ultrassônico com telemetria na ligação predial do ICC caminha nesse sentido, embora ele esteja dissociado do faturamento do consumo de água no momento.

Para trabalhos futuros, recomenda-se o monitoramento da pressão em mais pontos do ICC, incluindo o ponto de alimentação e a região central do prédio. Este monitoramento também deve ter uma duração maior, de modo a observar melhor as variações mensais de pressão nas instalações prediais de água do ICC. Quanto à vazão, é preciso que o registro de dados pelo hidrômetro ultrassônico com telemetria seja mais consistente, pois foram constatados diversos horários com vazões nulas nos quais se acredita que houve vazão. A diferença entre vazão medida e vazão calculada a partir das contas de água do prédio corrobora para esse pensamento de que pode ter havido falhas no processo de telemetria pelo hidrômetro ultrassônico. Em relação às simulações hidráulicas, é necessário que o modelo seja alimentado com dados mais precisos, tornando-o mais próximo da realidade. A obtenção de registros de pressão no ponto de alimentação do prédio é imprescindível para a realização de um processo de calibração do modelo. Além disso, devem ser coletados dados de consumo de água em cada um dos banheiros do prédio, de modo que o consumo base indicado nos nós do modelo seja mais realista do que uma simples estimativa pelo número de aparelhos sanitários em funcionamento no prédio, podendo apresentar também um consumo variável no tempo. A rugosidade equivalente das tubulações em ferro fundido do ICC também deve ser determinada, visto que é de conhecimento a ocorrência de incrustações.

Mais alternativas podem ser estudadas nesse contexto de monitoramento dos padrões operacionais das instalações prediais de água do ICC e também de redução do consumo de água da universidade, como o uso de reservatórios para amortecer o abastecimento de água, o impacto da instalação de válvulas redutoras de pressão ou a avaliação de perdas de água na rede de distribuição do *Campus*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. (2015). *Controle e redução de perdas nos sistemas públicos de abastecimento de água*. São Paulo.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1998). *NBR 5626: Instalação predial de água fria*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1992). *NBR 12211: Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água – Procedimento*. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2017). *NBR 12218: Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público*. Rio de Janeiro.
- Alexandre, A.C.; Kalbusch, A.; Henning, E. (2017). “Avaliação do impacto da substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores no consumo de água.” In: *Engenharia Sanitária e Ambiental*.
- 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.
- AWWA – American Water Works Association. (2014). *Sizing Water Service Lines and Meters*. Ed. 3, AWWA, Denver, EUA.
- AWWA – American Water Works Association. (2009). *Water Audits and Loss Control Programs*. Ed. 3, AWWA, Denver, EUA.
- 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*.
- CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. **Nota Técnica nº 03 de 10 de novembro de 2011**. Apresenta as condições básicas para a hidromedidaç o individualizada nas edificações verticais residências, nas de uso misto e nos condomínios residenciais.

- Cureau, R.J.; Kalbusch, A.; Henning, E. (2019). “Análise comparativa entre torneira convencional e torneira de funcionamento hidromecânico instaladas em um *campus* universitário.” In: *Ambiente Construído*.
- Creder, H. (2006). *Instalações hidráulicas e sanitárias*. Ed. 6, LTC, Rio de Janeiro.
- DPO – Decanato de Planejamento, Orçamento e Avaliação Institucional. (2018). *Anuário Estatístico da UnB*. Brasília.
- FAE Technology Company. (2019). *Hidrômetros ultrassônicos*. Disponível: <<http://www.fae.com.br/hidrometros-ultrassonicos/>>. Acesso em: outubro de 2019.
- Heller, L.; Pádua, V.L. (2006). *Abastecimento de água para consumo humano*. Ed. 2, Editora UFMG, Belo horizonte.
- INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia. **Portaria nº 295 de 29 de junho de 2018**. Aprova o Regulamento Técnico Metrológico, que estabelece requisitos técnicos e metrológicos para os medidores utilizados para medir o volume de água potável fria e água quente que escoam através de um conduto fechado em carga, que devem incorporar dispositivos que indiquem o volume totalizado.
- Lambert, A.; Hirner, W. (2000). *Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures*. IWA – The Blue Pages, Londres, Inglaterra.
- 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.
- Nunes, S.S. (2000). *Estudo da conservação de água em edifícios localizados no campus da Universidade Estadual de Campinas*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual da Campinas, Campinas, SP.
- 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.

- Rego, A.A.C. (2007). *Integração de ferramentas SIG para a otimização de sistema adutor com recurso ao EPANET*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Porto, Portugal.
- Rossman, L.A. (2000). *EPANET 2 User's Manual*. EPA, Cincinnati, EUA.
- Schroder, F.C. (2011). *Levantamento em campo da rugosidade equivalente de tubos metálicos*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Silva, C.O. (2014). *Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas*. Dissertação de Mestrado, Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB.
- Silva, G.S.; Tamaki, H.O.; Gonçalves, O.M. (2006). “Implementação de programas de uso racional da água em campi universitários.” In: *Ambiente Construído*.
- SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. (2018). *Diagnósticos dos Serviços de Água e Esgotos – 2016*. Brasília.
- Souza Júnior, J.C. (2014). *Distritos de medição e controle como ferramenta de gestão de perdas em redes de distribuição de água*. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.
- Tsutiya, M.T. (2006). *Abastecimento de água*. Ed. 3, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- UnB Notícias. (2018). *Em ano de crise hídrica, UnB economiza 14% no consumo*. Disponível: <<https://noticias.unb.br/76-institucional/2182-em-ano-de-crise-hidrica-unb-economiza-14-no-consumo>>. Acesso em: outubro de 2019.

APÊNDICE

Apêndice A – Estimativa da vazão de entrada (em l/s) em cada nó do modelo hidráulico

Apêndice B – Registros de pressão no banheiro do ICC Sul no dia 22 de maio de 2019

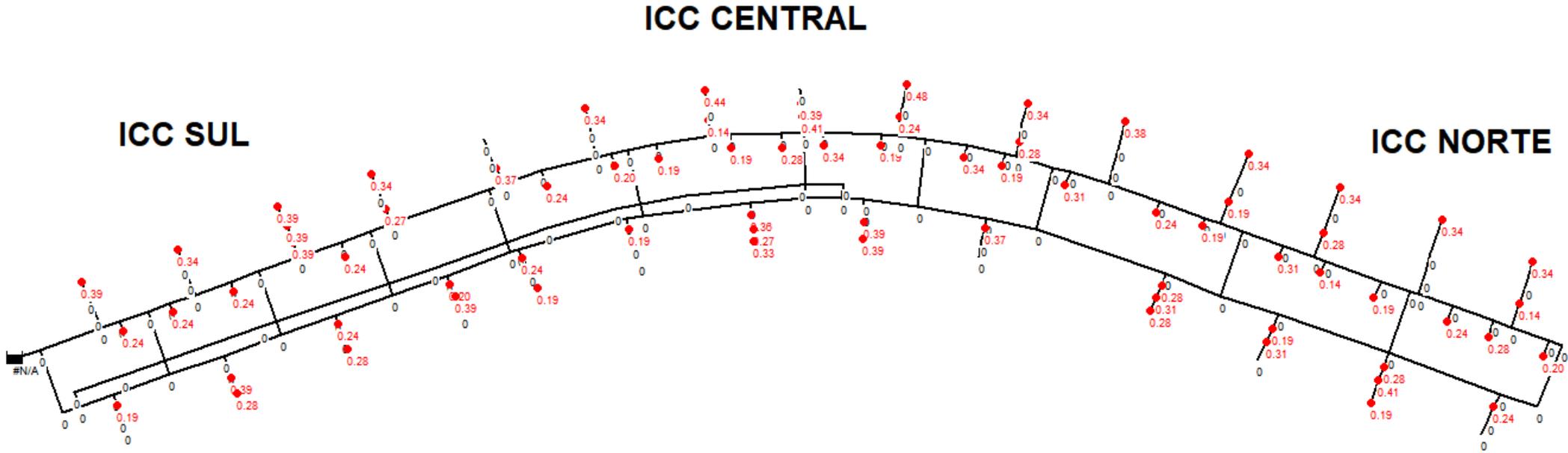
Apêndice C – Registros de pressão no banheiro do ICC Norte no dia 22 de maio de 2019

Apêndice D – Registros de vazão na ligação predial do ICC no mês de junho de 2019

Apêndice E – Registros de vazão na ligação predial do ICC no mês de julho de 2019

Apêndice F – Registros de vazão na ligação predial do ICC no mês de agosto de 2019

Apêndice A – Estimativa da vazão de entrada (em l/s) em cada nó do modelo hidráulico



Apêndice B – Registros de pressão no banheiro do ICC Sul no dia 22 de maio de 2019

Horário	Pressão (mca)										
00:00:44	70,93	02:05:44	52,01	04:10:44	51,62	06:15:44	60,69	08:20:44	53,10	10:25:44	46,88
00:05:44	68,49	02:10:44	52,01	04:15:44	51,55	06:20:44	60,18	08:25:44	53,75	10:30:44	51,58
00:10:44	65,35	02:15:44	52,01	04:20:44	51,38	06:25:44	60,04	08:30:44	51,16	10:35:44	55,54
00:15:44	60,83	02:20:44	51,96	04:25:44	50,82	06:30:44	55,26	08:35:44	51,76	10:40:44	58,37
00:20:44	54,12	02:25:44	52,05	04:30:44	50,90	06:35:44	59,93	08:40:44	54,70	10:45:44	47,75
00:25:44	52,30	02:30:44	51,87	04:35:44	49,58	06:40:44	57,54	08:45:44	50,37	10:50:44	42,79
00:30:44	52,22	02:35:44	51,92	04:40:44	49,94	06:45:44	55,82	08:50:44	52,36	10:55:44	32,39
00:35:44	52,27	02:40:44	51,94	04:45:44	51,41	06:50:44	54,15	08:55:44	47,49	11:00:44	45,74
00:40:44	52,34	02:45:44	51,92	04:50:44	51,11	06:55:44	55,58	09:00:44	47,71	11:05:44	42,22
00:45:44	52,30	02:50:44	51,76	04:55:44	50,60	07:00:44	58,81	09:05:44	49,03	11:10:44	51,12
00:50:44	52,32	02:55:44	51,86	05:00:44	50,69	07:05:44	50,11	09:10:44	48,54	11:15:44	52,28
00:55:44	52,32	03:00:44	51,77	05:05:44	50,68	07:10:44	50,79	09:15:44	50,11	11:20:44	50,67
01:00:44	52,36	03:05:44	51,86	05:10:44	50,47	07:15:44	54,01	09:20:44	41,79	11:25:44	47,63
01:05:44	52,30	03:10:44	51,63	05:15:44	50,60	07:20:44	54,25	09:25:44	37,61	11:30:44	53,65
01:10:44	52,24	03:15:44	51,84	05:20:44	50,36	07:25:44	56,03	09:30:44	43,32	11:35:44	52,32
01:15:44	52,22	03:20:44	51,76	05:25:44	50,18	07:30:44	3,27	09:35:44	43,17	11:40:44	51,23
01:20:44	52,21	03:25:44	51,76	05:30:44	49,92	07:35:44	46,88	09:40:44	47,40	11:45:44	50,38
01:25:44	52,25	03:30:44	51,62	05:35:44	50,61	07:40:44	47,67	09:45:44	35,95	11:50:44	43,57
01:30:44	52,21	03:35:44	51,57	05:40:44	50,28	07:45:44	49,44	09:50:44	37,75	11:55:44	46,79
01:35:44	52,16	03:40:44	51,67	05:45:44	49,04	07:50:44	45,65	09:55:44	40,49	12:00:44	50,66
01:40:44	52,03	03:45:44	51,64	05:50:44	48,67	07:55:44	50,22	10:00:44	40,32	12:05:44	51,00
01:45:44	52,09	03:50:44	51,47	05:55:44	41,92	08:00:44	52,74	10:05:44	34,93	12:10:44	32,02
01:50:44	52,12	03:55:44	51,65	06:00:44	44,49	08:05:44	50,40	10:10:44	44,74	12:15:44	45,09
01:55:44	52,18	04:00:44	51,63	06:05:44	60,15	08:10:44	48,79	10:15:44	49,63	12:20:44	48,74
02:00:44	52,05	04:05:44	51,61	06:10:44	60,52	08:15:44	52,13	10:20:44	53,25	12:25:44	48,07

Apêndice B – Registros de pressão no banheiro do ICC Sul no dia 22 de maio de 2019 (continuação)

Horário	Pressão (mca)										
12:30:44	32,44	14:30:44	58,38	16:30:44	50,39	18:30:44	58,30	20:30:44	59,15	22:30:44	63,47
12:35:44	46,77	14:35:44	49,87	16:35:44	56,24	18:35:44	60,52	20:35:44	44,07	22:35:44	63,18
12:40:44	51,03	14:40:44	49,98	16:40:44	48,41	18:40:44	57,95	20:40:44	61,52	22:40:44	64,05
12:45:44	44,98	14:45:44	46,57	16:45:44	55,81	18:45:44	48,16	20:45:44	61,90	22:45:44	64,53
12:50:44	43,85	14:50:44	53,32	16:50:44	46,74	18:50:44	49,76	20:50:44	57,12	22:50:44	64,51
12:55:44	38,37	14:55:44	46,29	16:55:44	57,31	18:55:44	55,03	20:55:44	62,00	22:55:44	54,18
13:00:44	45,32	15:00:44	40,10	17:00:44	52,63	19:00:44	45,36	21:00:44	63,24	23:00:44	65,40
13:05:44	48,99	15:05:44	49,36	17:05:44	56,94	19:05:44	55,68	21:05:44	62,27	23:05:44	65,11
13:10:44	52,67	15:10:44	51,15	17:10:44	45,69	19:10:44	58,45	21:10:44	60,12	23:10:44	65,27
13:15:44	43,60	15:15:44	50,80	17:15:44	57,10	19:15:44	58,53	21:15:44	65,33	23:15:44	65,26
13:20:44	44,06	15:20:44	43,42	17:20:44	59,03	19:20:44	62,29	21:20:44	63,49	23:20:44	65,10
13:25:44	41,51	15:25:44	49,29	17:25:44	52,78	19:25:44	53,62	21:25:44	62,99	23:25:44	65,15
13:30:44	42,64	15:30:44	39,35	17:30:44	53,92	19:30:44	60,57	21:30:44	61,24	23:30:44	64,98
13:35:44	46,97	15:35:44	52,99	17:35:44	55,66	19:35:44	50,41	21:35:44	64,78	23:35:44	65,19
13:40:44	49,02	15:40:44	41,73	17:40:44	51,15	19:40:44	63,15	21:40:44	64,33	23:40:44	65,14
13:45:44	44,63	15:45:44	42,13	17:45:44	48,47	19:45:44	62,73	21:45:44	65,21	23:45:44	64,99
13:50:44	47,96	15:50:44	49,26	17:50:44	53,65	19:50:44	59,25	21:50:44	61,89	23:50:44	65,19
13:55:44	41,97	15:55:44	38,10	17:55:44	41,75	19:55:44	62,27	21:55:44	63,56	23:55:44	65,93
14:00:44	47,81	16:00:44	45,91	18:00:44	51,28	20:00:44	62,50	22:00:44	63,14		
14:05:44	45,76	16:05:44	45,78	18:05:44	53,44	20:05:44	61,83	22:05:44	57,51		
14:10:44	44,93	16:10:44	52,06	18:10:44	47,82	20:10:44	53,09	22:10:44	63,74		
14:15:44	39,98	16:15:44	38,29	18:15:44	44,22	20:15:44	59,54	22:15:44	63,87		
14:20:44	48,42	16:20:44	48,91	18:20:44	45,83	20:20:44	54,95	22:20:44	61,78		
14:25:44	52,23	16:25:44	52,12	18:25:44	48,53	20:25:44	60,17	22:25:44	63,91		

Apêndice C – Registros de pressão no banheiro do ICC Norte no dia 22 de maio de 2019

Horário	Pressão (mca)										
00:02:59	66,33	02:07:59	49,53	04:12:59	49,05	06:17:59	54,78	08:22:59	34,00	10:27:59	18,38
00:07:59	63,78	02:12:59	49,54	04:17:59	49,04	06:22:59	57,18	08:27:59	29,33	10:32:59	15,36
00:12:59	60,26	02:17:59	49,56	04:22:59	48,72	06:27:59	55,95	08:32:59	12,07	10:37:59	34,65
00:17:59	55,41	02:22:59	49,31	04:27:59	46,61	06:32:59	56,62	08:37:59	23,80	10:42:59	22,39
00:22:59	49,46	02:27:59	49,50	04:32:59	44,96	06:37:59	55,86	08:42:59	45,75	10:47:59	4,48
00:27:59	49,71	02:32:59	49,43	04:37:59	44,40	06:42:59	53,68	08:47:59	41,63	10:52:59	12,61
00:32:59	50,48	02:37:59	49,43	04:42:59	47,01	06:47:59	51,47	08:52:59	36,19	10:57:59	13,21
00:37:59	49,83	02:42:59	49,45	04:47:59	48,79	06:52:59	52,74	08:57:59	38,73	11:02:59	31,92
00:42:59	49,86	02:47:59	49,41	04:52:59	47,26	06:57:59	55,46	09:02:59	24,30	11:07:59	42,79
00:47:59	49,61	02:52:59	49,35	04:57:59	47,05	07:02:59	44,14	09:07:59	36,25	11:12:59	8,19
00:52:59	49,79	02:57:59	49,38	05:02:59	46,74	07:07:59	41,50	09:12:59	19,81	11:17:59	35,43
00:57:59	49,63	03:02:59	49,34	05:07:59	46,97	07:12:59	31,81	09:17:59	19,93	11:22:59	18,55
01:02:59	49,76	03:07:59	49,32	05:12:59	46,98	07:17:59	5,03	09:22:59	24,23	11:27:59	34,23
01:07:59	49,86	03:12:59	49,32	05:17:59	46,95	07:22:59	36,03	09:27:59	23,92	11:32:59	30,95
01:12:59	49,57	03:17:59	49,26	05:22:59	46,28	07:27:59	41,85	09:32:59	32,39	11:37:59	38,73
01:17:59	49,78	03:22:59	48,91	05:27:59	46,52	07:32:59	34,92	09:37:59	20,83	11:42:59	36,80
01:22:59	49,39	03:27:59	49,23	05:32:59	46,72	07:37:59	45,35	09:42:59	18,17	11:47:59	34,39
01:27:59	49,71	03:32:59	49,20	05:37:59	47,86	07:42:59	38,07	09:47:59	16,80	11:52:59	38,26
01:32:59	49,63	03:37:59	49,17	05:42:59	47,17	07:47:59	24,50	09:52:59	13,25	11:57:59	29,87
01:37:59	49,86	03:42:59	49,16	05:47:59	43,38	07:52:59	25,94	09:57:59	27,59	12:02:59	20,25
01:42:59	49,58	03:47:59	48,98	05:52:59	37,36	07:57:59	3,33	10:02:59	14,44	12:07:59	29,03
01:47:59	49,65	03:52:59	49,06	05:57:59	41,54	08:02:59	31,90	10:07:59	26,54	12:12:59	36,42
01:52:59	49,60	03:57:59	49,06	06:02:59	55,93	08:07:59	21,93	10:12:59	19,62	12:17:59	33,43
01:57:59	49,60	04:02:59	49,14	06:07:59	56,70	08:12:59	38,77	10:17:59	25,79	12:22:59	33,44
02:02:59	49,62	04:07:59	49,10	06:12:59	56,99	08:17:59	8,91	10:22:59	38,24	12:27:59	28,39

Apêndice C – Registros de pressão no banheiro do ICC Norte no dia 22 de maio de 2019 (continuação)

Horário	Pressão (mca)										
12:32:59	26,80	14:32:59	36,90	16:32:59	49,16	18:32:59	41,27	20:32:59	56,25	22:32:59	57,62
12:37:59	44,45	14:37:59	24,45	16:37:59	43,55	18:37:59	59,48	20:37:59	51,66	22:37:59	58,02
12:42:59	42,67	14:42:59	43,74	16:42:59	48,57	18:42:59	57,24	20:42:59	53,39	22:42:59	55,91
12:47:59	32,58	14:47:59	24,84	16:47:59	48,61	18:47:59	51,32	20:47:59	57,48	22:47:59	59,38
12:52:59	36,54	14:52:59	43,50	16:52:59	47,21	18:52:59	50,62	20:52:59	59,88	22:52:59	59,96
12:57:59	28,38	14:57:59	30,75	16:57:59	44,75	18:57:59	56,32	20:57:59	43,76	22:57:59	61,66
13:02:59	14,74	15:02:59	38,54	17:02:59	52,40	19:02:59	32,57	21:02:59	43,32	23:02:59	62,52
13:07:59	38,33	15:07:59	34,31	17:07:59	32,29	19:07:59	50,17	21:07:59	61,56	23:07:59	62,65
13:12:59	37,30	15:12:59	38,67	17:12:59	52,38	19:12:59	42,04	21:12:59	61,58	23:12:59	62,59
13:17:59	43,15	15:17:59	23,99	17:17:59	55,93	19:17:59	55,13	21:17:59	57,03	23:17:59	62,51
13:22:59	33,01	15:22:59	38,76	17:22:59	32,45	19:22:59	56,37	21:22:59	62,26	23:22:59	62,47
13:27:59	21,30	15:27:59	37,41	17:27:59	53,60	19:27:59	55,75	21:27:59	61,96	23:27:59	62,40
13:32:59	20,66	15:32:59	8,44	17:32:59	52,13	19:32:59	58,12	21:32:59	55,39	23:32:59	62,35
13:37:59	23,57	15:37:59	42,79	17:37:59	44,78	19:37:59	60,58	21:37:59	57,12	23:37:59	62,42
13:42:59	25,10	15:42:59	27,27	17:42:59	53,62	19:42:59	59,18	21:42:59	57,72	23:42:59	62,34
13:47:59	33,16	15:47:59	26,79	17:47:59	51,08	19:47:59	59,41	21:47:59	62,27	23:47:59	62,35
13:52:59	17,75	15:52:59	34,65	17:52:59	45,23	19:52:59	60,09	21:52:59	53,97	23:52:59	62,65
13:57:59	37,44	15:57:59	29,56	17:57:59	53,34	19:57:59	58,92	21:57:59	58,62	23:57:59	63,60
14:02:59	18,32	16:02:59	34,72	18:02:59	49,80	20:02:59	49,24	22:02:59	59,11		
14:07:59	39,65	16:07:59	25,27	18:07:59	57,14	20:07:59	55,86	22:07:59	48,05		
14:12:59	44,30	16:12:59	36,11	18:12:59	22,22	20:12:59	45,59	22:12:59	49,17		
14:17:59	15,13	16:17:59	34,34	18:17:59	40,71	20:17:59	55,51	22:17:59	58,96		
14:22:59	45,01	16:22:59	48,12	18:22:59	31,58	20:22:59	56,70	22:22:59	59,03		
14:27:59	39,78	16:27:59	30,43	18:27:59	48,84	20:27:59	54,00	22:27:59	58,22		

Apêndice D – Registros de vazão na ligação predial do ICC no mês de junho de 2019

Dia	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30
1	-	-	-	-	-	-	0,750	0,833	0,889	0,861	0,917	1,000	1,083	0,500	-
2	-	-	-	-	-	-	-	0,444	0,861	0,861	0,861	0,861	1,083	0,528	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,694	0,194	0,667	0,972	1,333	0,722	-
4	-	-	-	-	-	0,556	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	0,889	1,222	0,583	-
5	-	-	-	0,778	1,500	1,000	0,972	0,944	0,972	0,972	1,028	1,056	1,306	0,889	-
6	-	1,944	2,917	1,917	1,722	1,667	1,472	1,222	1,250	1,222	1,250	1,278	1,639	1,917	-
7	-	1,778	1,472	1,361	1,194	0,861	0,833	0,833	0,806	0,833	0,917	0,972	1,861	1,722	-
8	-	0,750	1,444	1,278	1,194	1,028	0,861	0,806	0,806	0,806	0,806	0,833	1,028	1,167	0,111
9	-	0,278	0,889	0,889	0,917	0,861	0,722	0,694	0,667	0,694	0,778	0,861	0,917	0,472	-
10	-	0,056	0,833	0,833	0,889	0,861	0,694	0,694	0,667	0,667	0,667	0,667	1,139	1,056	-
11	-	1,250	1,861	1,444	1,361	1,139	0,944	0,917	0,917	0,889	1,028	1,028	1,389	1,694	-
12	-	0,611	1,611	1,250	1,139	0,694	0,639	0,639	0,667	0,639	0,639	0,667	0,917	3,028	0,278
13	-	-	1,389	1,333	1,194	0,694	0,639	0,639	0,639	0,639	0,722	0,778	0,889	0,972	-
14	-	0,639	0,139	1,250	1,139	0,667	0,611	0,611	0,583	0,583	0,583	0,611	0,778	0,444	-
15	-	-	0,750	0,778	0,806	0,583	0,556	0,556	0,583	0,556	0,611	0,694	0,750	0,500	-
16	-	-	0,694	0,694	0,750	0,556	0,528	0,528	0,500	0,528	0,528	0,528	0,667	0,500	-
17	-	0,472	0,694	0,722	0,722	0,556	0,528	0,528	0,500	0,528	0,583	0,667	0,861	1,361	-
18	0,583	1,583	1,389	1,083	1,056	0,611	0,583	0,583	0,556	0,611	0,556	0,583	0,917	1,306	-
19	-	0,083	1,611	1,139	1,083	0,639	0,583	0,611	0,611	0,583	0,667	0,750	0,889	1,306	-
20	-	-	1,222	1,528	1,194	0,611	0,556	0,556	0,583	0,556	0,556	0,556	0,722	0,500	-
21	0,111	0,722	0,722	0,722	0,722	0,556	0,556	0,556	0,528	0,528	0,639	0,667	0,778	1,333	-
22	-	0,833	0,917	0,806	0,806	0,583	0,556	0,556	0,528	0,556	0,583	0,556	0,694	0,611	-
23	0,111	0,861	0,750	0,778	0,778	0,639	0,556	0,583	0,583	0,556	0,667	0,694	0,750	0,611	-
24	0,306	0,778	0,750	0,722	1,639	1,917	1,833	1,861	1,889	1,861	1,861	1,861	2,472	1,972	-
25	1,694	1,500	1,389	1,000	0,917	0,583	0,556	0,528	0,556	0,528	0,639	0,667	1,000	3,083	0,306
26	-	-	-	-	-	0,056	0,389	0,528	0,500	0,528	0,528	0,528	0,778	1,500	-
27	0,639	1,750	1,167	1,417	1,083	0,611	0,583	0,556	0,583	0,583	0,667	0,694	0,944	1,500	-
28	-	-	0,611	1,389	1,278	0,694	0,639	0,639	0,611	0,611	0,583	0,639	0,917	1,333	-
29	0,028	1,333	1,194	0,889	0,861	0,556	0,500	0,528	0,500	0,500	0,583	0,639	0,750	0,861	0,444
30	-	0,611	0,778	0,778	0,778	0,556	0,528	0,500	0,528	0,500	0,528	0,500	0,694	0,556	-

Apêndice E – Registros de vazão na ligação predial do ICC no mês de julho de 2019

Dia	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30
1	-	0,750	0,750	0,694	0,750	0,528	0,500	0,500	0,500	0,500	0,611	0,639	0,833	1,500	-
2	0,250	1,472	1,444	1,056	0,972	0,611	0,611	0,583	0,583	0,583	0,583	0,611	0,833	1,750	-
3	0,667	1,667	1,500	1,361	1,250	0,861	0,833	0,806	0,806	0,778	0,861	0,889	1,139	2,111	-
4	2,000	1,667	1,472	1,306	1,028	0,583	0,583	0,528	0,528	0,556	0,528	0,556	0,833	2,444	-
5	1,139	1,389	1,306	1,083	0,917	0,556	0,500	0,528	0,500	0,528	0,583	0,667	0,833	1,528	-
6	-	-	0,306	1,083	0,861	0,556	0,528	0,528	0,556	0,528	0,528	0,556	0,750	0,889	0,389
7	1,139	0,778	0,806	0,778	0,833	0,583	0,556	0,556	0,556	0,556	0,639	0,667	0,778	0,778	0,139
8	0,694	0,778	0,778	0,806	0,778	0,611	0,556	0,556	0,556	0,583	0,528	0,583	1,278	3,167	1,944
9	1,306	1,694	1,194	0,972	0,917	0,667	0,583	0,583	0,583	0,583	0,667	0,694	0,889	1,639	-
10	1,389	1,472	1,028	0,917	0,889	0,667	0,583	0,583	0,611	0,611	0,583	0,583	0,889	2,639	-
11	2,889	2,056	1,500	1,167	1,333	0,944	0,778	0,778	0,750	0,778	0,806	0,861	1,083	2,361	0,278
12	2,167	2,972	2,833	2,639	1,972	0,972	0,750	0,583	0,583	0,583	0,611	0,611	0,944	1,889	-
13	1,833	2,556	2,417	1,750	1,639	0,778	0,667	0,694	0,667	0,667	0,750	0,778	0,889	0,806	-
14	0,361	0,833	0,861	0,833	0,889	0,694	0,639	0,639	0,611	0,583	0,611	0,639	0,833	0,722	-
15	0,778	0,861	0,861	0,889	0,889	0,639	0,583	0,611	0,583	0,611	0,694	0,722	0,944	2,639	-
16	0,583	0,861	0,806	0,750	0,778	0,556	0,528	0,500	0,528	0,500	0,500	0,556	0,778	1,694	-
17	0,472	0,889	0,778	0,778	0,778	0,583	0,528	0,556	0,528	0,528	0,639	0,667	0,861	1,444	-
18	-	-	0,361	0,833	0,833	0,556	0,556	0,528	0,528	0,528	0,528	0,556	0,917	1,722	-
19	-	0,139	0,833	0,806	0,806	0,611	0,556	0,556	0,556	0,556	0,639	0,667	0,861	1,556	-
20	1,306	1,444	1,306	1,278	0,806	0,583	0,556	0,556	0,556	0,556	0,528	0,556	0,778	0,889	0,278
21	0,806	1,000	1,000	1,000	1,028	0,750	0,722	0,722	0,694	0,722	0,806	0,833	1,028	1,056	0,694
22	-	-	0,472	0,917	0,972	0,722	0,722	0,694	0,694	0,722	0,694	0,722	1,000	2,806	3,778
23	0,750	0,972	0,917	0,889	0,917	0,694	0,667	0,667	0,667	0,667	0,750	0,778	0,972	1,167	-
24	-	0,444	0,889	0,889	0,889	0,667	0,667	0,639	0,639	0,611	0,639	0,639	0,972	2,111	1,000
25	0,417	1,028	0,972	0,917	0,944	0,694	0,694	0,667	0,667	0,694	0,750	0,806	0,972	1,639	-
26		0,444	0,917	0,861	0,889	0,694	0,639	0,639	0,611	0,639	0,611	0,639	0,889	1,333	-
27	0,278	0,806	0,778	0,750	0,778	0,556	0,556	0,528	0,556	0,528	0,611	0,667	0,722	0,583	-
28	0,528	0,722	0,750	0,722	0,778	0,583	0,528	0,556	0,528	0,556	0,528	0,556	0,694	0,778	0,389
29	-	-	0,278	0,750	0,750	0,583	0,556	0,528	0,556	0,556	0,611	0,694	0,833	1,111	-
30	0,472	0,944	0,833	0,250	0,778	0,611	0,583	0,556	0,583	0,556	0,583	0,583	0,861	1,167	-
31	-	-	0,361	0,778	0,806	0,639	0,611	0,583	0,611	0,583	0,694	0,750	0,889	2,500	0,806

Apêndice F – Registros de vazão na ligação predial do ICC no mês de agosto de 2019

Dia	07:30	08:30	09:30	10:30	11:30	12:30	13:30	14:30	15:30	16:30	17:30	18:30	19:30	20:30	21:30
1	-	-	-	0,333	0,722	0,500	0,500	0,500	0,472	0,500	0,472	0,528	0,722	1,167	-
2	-	0,778	0,722	0,639	0,667	0,500	0,472	0,444	0,444	0,444	0,556	0,556	0,722	1,111	-
3	-	-	0,528	0,667	0,694	0,472	0,472	0,444	0,472	0,444	0,472	0,472	0,611	0,472	-
4	-	0,028	0,639	0,611	0,639	0,500	0,444	0,472	0,444	0,444	0,556	0,583	0,639	0,444	-
5	-	-	0,556	0,389	0,333	0,500	0,528	0,500	0,528	0,528	0,528	0,528	0,806	2,194	2,028
6	-	-	-	0,528	0,694	0,500	0,444	0,472	0,444	0,444	0,556	0,583	0,778	2,111	2,889
7	0,306	0,972	0,861	0,750	0,806	0,583	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,556	0,889	2,111	-
8	0,056	0,944	0,861	0,806	0,750	0,556	0,500	0,528	0,500	0,472	0,611	0,611	0,806	0,833	-
9	0,028	0,833	0,806	0,694	0,694	0,583	0,556	0,556	0,528	0,556	0,528	0,556	0,778	0,750	-
10		0,694	0,806	0,750	0,722	0,528	0,500	0,472	0,500	0,472	0,583	0,611	0,694	0,417	-
11	0,694	0,417	0,250	0,000	0,167	0,528	0,528	0,500	0,472	0,500	0,500	0,472	0,694	0,306	-
12	-	-	-	-	-	-	0,194	0,500	0,500	0,500	0,583	0,611	0,917	0,694	-
13	-	1,028	1,778	1,361	1,111	0,667	0,639	0,611	0,639	0,611	0,639	0,611	1,028	0,944	-
14	-	1,028	1,139	0,972	0,833	0,611	0,556	0,500	0,500	0,472	0,583	0,639	0,833	0,861	-
15	-	1,333	1,722	1,278	1,056	0,528	0,528	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,806	0,722	-
16	-	-	0,917	1,167	0,972	0,583	0,528	0,528	0,556	0,528	0,639	0,639	0,889	0,944	-
17	-	-	0,917	1,028	0,806	0,500	0,417	0,444	0,417	0,417	0,417	0,417	0,556	0,639	0,306
18	-	0,444	0,611	0,583	0,611	0,444	0,417	0,417	0,417	0,417	0,500	0,556	0,583	0,306	-
19	-	-	-	-	-	0,444	0,417	0,417	0,417	0,417	0,389	0,444	0,694	0,861	-
20	-	-	-	-	-	0,250	0,528	0,556	0,528	0,528	0,611	0,667	0,806	1,889	-
21	-	-	-	0,917	1,250	0,694	0,639	0,639	0,639	0,639	0,639	0,667	0,944	0,889	-
22	-	-	0,778	1,528	1,528	0,917	0,861	0,861	0,861	0,833	0,944	0,806	0,972	1,139	-
23	-	-	-	-	0,694	1,861	1,778	1,750	1,750	1,750	1,750	1,778	2,278	1,000	-
24	-	-	0,778	1,139	1,056	0,722	0,639	0,667	0,639	0,667	0,722	0,806	0,861	0,472	-
25	-	-	-	0,389	0,917	0,694	0,667	0,667	0,667	0,639	0,667	0,639	0,833	0,333	-
26	-	-	-	1,139	0,917	0,667	0,639	0,639	0,667	0,639	0,722	0,778	1,083	0,667	-
27	-	0,611	1,806	1,389	1,278	0,722	0,694	0,722	0,694	0,694	0,694	0,694	1,028	0,556	-
28	-	0,417	2,222	1,611	1,583	1,194	1,222	1,194	1,222	1,250	1,389	1,417	1,361	0,472	-
29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30	-	-	-	-	0,167	1,111	1,000	1,000	1,028	1,056	1,222	1,278	1,250	2,306	-
31	-	-	-	0,417	1,444	1,194	1,222	1,167	2,222	2,278	2,306	2,306	2,278	0,500	-