



**AFONSO HENRIQUE PIMENTEL GOULART**

**ESTUDO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ALIMENTADOR  
PREDIAL COMPLEXO COM MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA EM  
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

**LAVRAS-MG  
2022**

**AFONSO HENRIQUE PIMENTEL GOULART**

**ESTUDO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ALIMENTADOR  
PREDIAL COMPLEXO COM MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA EM  
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Universidade Federal de Lavras, como parte  
das exigências do Curso de Engenharia Civil,  
para a obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

Msc. Mateus Alexandre da Silva  
Coorientador

**LAVRAS-MG  
2022**

**AFONSO HENRIQUE PIMENTEL GOULART**

**ESTUDO DO FUNCIONAMENTO HIDRÁULICO DE ALIMENTADOR  
PREDIAL COMPLEXO COM MEDIÇÃO INDIVIDUALIZADA EM  
CONDOMÍNIO RESIDENCIAL MULTIFAMILIAR**

Trabalho de conclusão de curso  
apresentado à Universidade Federal de  
Lavras, como parte das exigências do  
Curso de Engenharia Civil, para a  
obtenção do título de Bacharel.

APROVADO em 15 de setembro de 2022

Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi - DRH UFLA

Msc. Marina Neves Merlo - DRH UFLA

Msc. Mateus Alexandre da Silva - DRH UFLA

  
Prof. Dr. Michael Silveira Thebaldi  
Orientador

Msc. Mateus Alexandre da Silva  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2022**

## RESUMO

A avaliação dos alimentadores prediais dentro de um projeto hidráulico predial sem reservatórios na edificação é de extrema importância, já que o sistema de alimentação predial é responsável direto pela qualidade do abastecimento quanto às pressões disponíveis, o que implica em conforto aos consumidores. Assim, seu projeto deve assegurar o correto funcionamento de todos os componentes presentes na edificação em quantidade suficiente e mantendo a qualidade da água fornecida pelo sistema de abastecimento. Diante disso, com este trabalho propôs-se avaliar o funcionamento hidráulico do alimentador predial de uma edificação de múltiplos pavimentos e multifamiliar, com medição individualizada, por meio de metodologia adaptada do método do consumo máximo provável, onde utilizou-se de uma simplificação baseada na simetria observada no projeto para o estabelecimento de vazões prováveis dos aparelhos sanitários definidos para cada unidade habitacional. Ao modelar o problema utilizando o software EPANET 2.2, foi possível simular a rede projetada e seu comportamento hidráulico quanto as vazões e pressões nos ramais das unidades habitacionais. No decorrer dessa análise identificou-se problemas acerca da pressão a partir do terceiro pavimento nas edificações. Ao avaliar diferentes cenários de funcionamento hidráulico, foi possível identificar esses pontos de baixa pressão e propor duas soluções possíveis. A primeira solução seria a variação dos diâmetros nos ramais de alimentação predial, na qual os resultados mostraram um ganho pouco significativo, torando sua adoção inviável. Já a segunda solução possível consistiu em variar a carga hidráulica estática do reservatório, a qual possibilitou um ganho considerável de carga de pressão no ponto crítico analisado, se mostrando uma solução tecnicamente e economicamente viável a ser implementada.

**Palavras-chave:** Alimentador predial. Modelagem hidráulica. Método do consumo máximo provável. EPANET 2.2.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esboço de uma instalação Predial de água fria com abastecimento indireto.....	6
Figura 2 - Sistema de abastecimento pela rede pública.....	7
Figura 3 - Esquema de sistema predial com medição coletiva.....	8
Figura 4 - Esquema de sistema predial de medição individual .....	9
Figura 5 - Sistema predial submetido a pressão estática .....	19
Figura 6 - Sistema predial submetido a pressão dinâmica .....	20
Figura 7 - Unidade habitacional padrão utilizada na modelagem do problema .....	21
Figura 8 - Sistema de reservação do empreendimento analisado .....	23
Figura 9- Diagrama vertical da distribuição interna das torres .....	26
Figura 10 - Modelagem do projeto pelo EPANET 2.2.....	27

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Seções Equivalentes de uma tubulação de referência de 20mm .....	14
Tabela 2 - Vazões e pesos relativos nos pontos de utilização dos aparelhos sanitários .....	15
Tabela 3 - Diâmetro e comprimento dos trechos que alimentam as torres consumidoras .....	25
Tabela 4 - Peso relativo dos componentes presentes na unidade habitacional padrão.....	28
Tabela 5 - Relação de pressão para diferentes diâmetros no último ramal de distribuição.....	31

## SUMÁRIO

1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	1
2.	<b>OBJETIVO</b> .....	3
2.1.	Objetivo Geral.....	3
2.2.	Objetivos Específicos .....	3
3.	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
3.1.	Instalações hidráulicas prediais .....	4
3.2.1.	Subsistema de abastecimento .....	6
3.2.2.	Subsistema de reserva.....	9
3.2.3.	Subsistemas de distribuição.....	11
3.3.	Parâmetros de projeto .....	12
3.3.1.	Vazão .....	12
3.3.2.	Velocidade .....	16
3.3.3.	Perda de carga.....	17
4.	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	21
4.1.	Estudo do funcionamento hidráulico do empreendimento .....	22
4.2.	Dimensionamento do sistema de distribuição .....	23
4.3.	Modelagem e simulação do comportamento hidráulico da rede .....	26
5.	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
5.1.	Análise do sistema hidráulico proposto pelo empreendimento .....	30
6.	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	33
	REFERENCIAS .....	34
	ANEXO.....	34

## 1. INTRODUÇÃO

Ao utilizar qualquer componente hidráulico, muitas das vezes o usuário não tem consciência do custo e da dificuldade técnica para se estabelecer o funcionamento destes. Por trás de um simples uso diário da torneira de uma residência, por exemplo, existe um conjunto de operações, equipamentos e trabalhos envolvidos para proporcionar um conforto no dia a dia. No Brasil, o projeto, execução e manutenção das instalações prediais de água fria e água quente são regidos pela norma NBR 5626 (ABNT, 2020), na qual há uma padronização e exigências básicas, de forma a cumprir as características adequadas para seu funcionamento.

Para que as condições adequadas de abastecimento de água sejam asseguradas, é essencial uma abordagem de engenharia, e não de maneira empírica, como muitas vezes é realizado. Assim, estas instalações devem ser projetadas, implantadas e mantidas de forma correta. Para assegurar que isso ocorra, a etapa de projeto deve ser realizada de maneira a aplicar conhecimentos e processos para a utilização de recursos de forma adequada ao atendimento das necessidades humanas.

Para garantir tais condições, a análise do funcionamento hidráulico de uma edificação é indispensável. A rede projetada deve garantir o correto funcionamento de todos os componentes presentes naquela edificação, em quantidade suficiente mantendo a qualidade da água fornecida pelo sistema de abastecimento

Com relação às instalações prediais de água fria e água quente, existem diversos modos de se chegar ao correto dimensionamento, em que se destacam o Método do Consumo Máximo Provável e o Método do Consumo Máximo Possível, onde o primeiro tipo de metodologia se baseia nas probabilidades do uso simultâneo dos aparelhos envolvidos naquela instalação e a segunda metodologia está ligada ao uso simultâneo desses aparelhos.

Já para o dimensionamento dos alimentadores prediais, quando estes abastecem o reservatório das edificações, pode-se proceder dimensionamento expedito por meio da aplicação da Equação de Bernoulli, em conjunto com fórmula para estimativa da perda de carga. Porém, há o caso de condomínios abastecidos por reservatório elevado, sem que haja reservatórios individuais para as unidades habitacionais. Desta forma, os aparelhos sanitários demandam água diretamente da rede e do reservatório coletivo.

Assim, para este caso, tem-se a possibilidade da aplicação do Método dos Pesos Relativos, para o estabelecimento da vazão de projeto dos alimentadores. Já para a modelagem

e simulação do funcionamento desta rede, uma alternativa é a utilização de softwares, sendo o EPANET 2.2, uma das opções. Para tal, o Método dos Pesos Relativos pode ser adaptado, a fim de se ter a vazão demandada em cada unidade habitacional, de forma a se prever o funcionamento da rede de abastecimento do condomínio e dos alimentadores prediais individuais.

## **2. OBJETIVO**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar o funcionamento hidráulico do alimentador predial de uma edificação de múltiplos pavimentos e multifamiliar, com medição individualizada, por meio de metodologia adaptada para o estabelecimento de vazões prováveis dos aparelhos sanitários definidos para cada unidade habitacional.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Modelar a rede, como projetada, simulando seu comportamento hidráulico quanto às vazões e pressões nos ramais das unidades habitacionais, conforme metodologia adaptada do método do consumo máximo provável;
- Verificar necessidades e possibilidades de alteração de diâmetros nos ramais e alimentadores prediais, a partir da carga hidráulica estática definida;
- Simular a influência, na dinâmica do abastecimento, de cotas da superfície livre da água diferentes da estabelecida em projeto.

### **3. REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1. Instalações hidráulicas prediais**

Para Macintyre (2017), um projeto de instalação hidrossanitário é composto pelas redes hidráulicas, destacando água fria, água quente e alimentação (abastecimentos dos reservatórios), assim como as redes sanitárias, entre elas esgoto, ventilação e rede pluvial.

Uma das diferenças entre as redes hidráulicas e as sanitárias é o fato de que as redes hidráulicas são concebidas e devem, normalmente, funcionar sob pressões efetivas positivas, proporcionando o abastecimento dos pontos hidráulicos, ao passo que, nas redes sanitárias, o escoamento é livre, à pressão atmosférica, ocorrendo pela ação da gravidade, dependendo, assim, totalmente da declividade dos condutos (SILVA, 2019).

#### **3.2. Instalações hidráulicas prediais de água fria**

Carvalho Júnior (2018) define que uma instalação predial de água fria, isto é, que transporta a água em temperatura ambiente, se constitui do conjunto de tubulações, equipamentos, reservatórios e dispositivos, destinados ao abastecimento dos aparelhos e pontos de utilização de água da edificação, em quantidade suficiente, mantendo a qualidade da água fornecida pelo sistema de abastecimento.

O sistema predial de água fria é constituído, de forma geral, por: ramal predial, hidrômetro, alimentador predial, reservatórios, instalação elevatória, barrilete, coluna de distribuição, ramal, sub-ramal e pontos de utilização. Pode haver variações dessa composição, dependendo da existência ou não de reservatórios, instalação elevatória e hidrômetros individuais, por exemplo (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2021).

Segundo Macintyre (2017), o abastecimento de água aos prédios é feito a partir do encanamento distribuidor público, por meio de um ramal predial, o qual compreende:

- Ramal predial propriamente dito, ou ramal externo: é o trecho do encanamento localizado entre o distribuidor público de água em frente ao prédio e o aparelho medidor ou limitador da descarga, o qual é considerado como fazendo parte integrante do ramal externo.

- Ramal interno de alimentação ou alimentador predial: é o trecho do encanamento que se estende a partir do aparelho medidor ou limitador de consumo até a primeira derivação ou até a válvula de flutuador (torneira de boia) à entrada de um reservatório. Este pode, ainda, abastecer aparelhos sanitários diretamente.

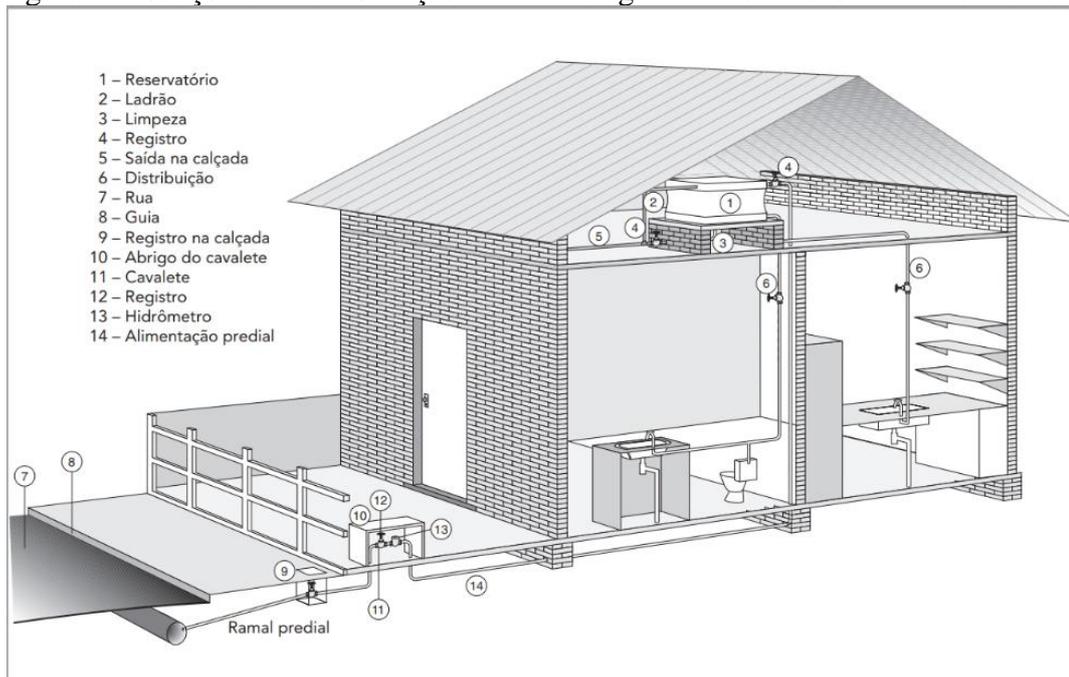
A norma que fixa as exigências e recomendações relativas a projeto, execução e manutenção da instalação predial de água fria é a ABNT NBR 5626:2020, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020), as instalações prediais de água fria devem ser projetadas de modo que, durante a vida útil do edifício que as contém, atendam aos seguintes requisitos:

- Preservar a potabilidade da água.
- Garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes.
- Promover economia de água e energia.
- Possibilitar manutenção fácil e econômica.
- Evitar níveis de ruído inadequados à ocupação do ambiente.
- Proporcionar conforto aos usuários, prevendo peças de utilização adequadamente localizadas, de fácil operação, com vazões satisfatórias e atendendo às demais exigências do usuário.

Carvalho Júnior (2018) apresenta que as instalações prediais constituem subsistemas que devem ser integrados ao sistema construtivo proposto pela arquitetura, de forma harmônica, racional e tecnicamente correta, e ainda acrescenta que quando não há coordenação e/ou entrosamento entre os arquitetos ou engenheiros e os profissionais contratados para a elaboração dos projetos complementares, podem ocorrer falhas nos processos de produção dos projetos devido à incompatibilização que, certamente, aparecerá depois, durante a execução da obra, gerando inúmeras improvisações para solucionar os problemas surgidos.

Ainda de acordo com Carvalho Júnior (2018), o sistema predial de água fria (SPAF) pode ser dividido em três subsistemas: subsistema de abastecimento, subsistema reserva e subsistema de distribuição. Uma instalação predial de água fria com identificação de todos seus componentes necessários para um bom funcionamento pode ser vista na Figura 1.

Figura 1- Esboço de uma instalação Predial de água fria com abastecimento indireto.



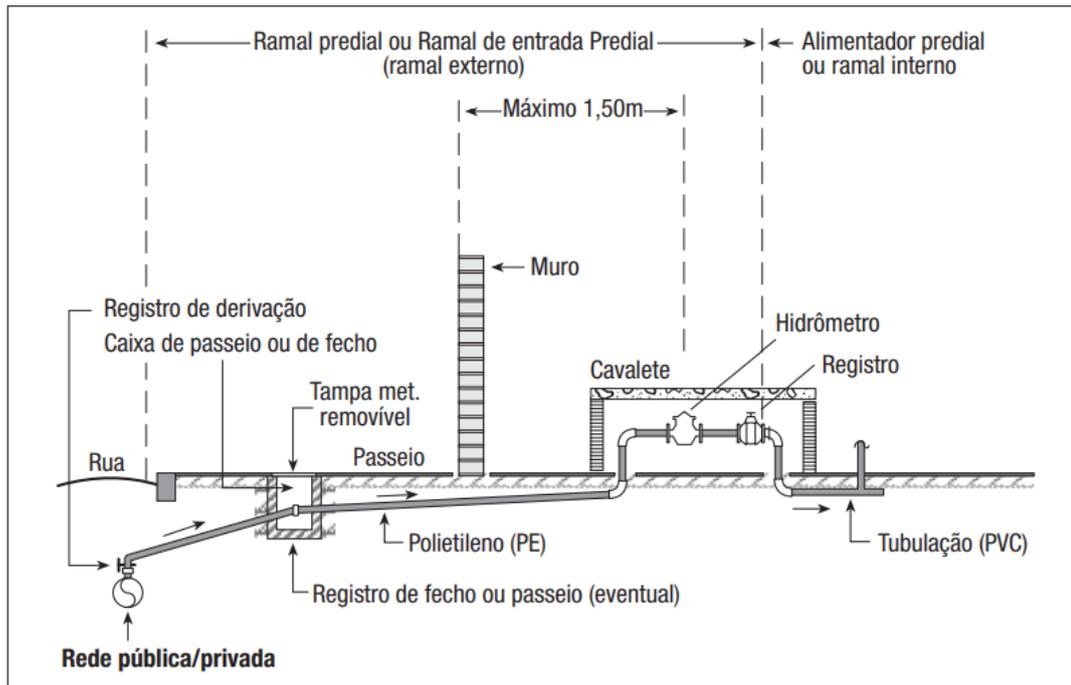
Fonte: Carvalho Júnior (2018)

### 3.2.1. Subsistema de abastecimento

O abastecimento de uma instalação predial de água fria pode ser feito pela rede pública ou por fonte particular. A utilização da rede pública é sempre preferencial em função da água ser de qualidade superior, o que pode não ocorrer em relação a outras fontes. A água não potável pode também abastecer parcialmente um sistema de água fria, desde que se garanta que as duas redes não se conectem, evitando a chamada conexão cruzada. Esta água, geralmente de menor custo, pode atender a pontos de descarga de bacias sanitárias e mictórios, combate a incêndios, uso industrial, lavagem de pisos, ou onde não se fizer necessário atender ao requisito de potabilidade. Este sistema deve se constituir totalmente independente e caracterizado, a fim de ser utilizado corretamente, e evitar o uso indevido dos componentes de distribuição de água não potável. (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

Quando a instalação for alimentada pela rede pública, a entrada de água no prédio será feita por meio do ramal predial, executado pela concessionária pública responsável pelo abastecimento, que interliga a rede pública de distribuição de água à instalação predial (CARVALHO JÚNIOR, 2018). A Figura 2 exemplifica um sistema de abastecimento pela rede pública.

Figura 2 - Sistema de abastecimento pela rede pública.



Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010)

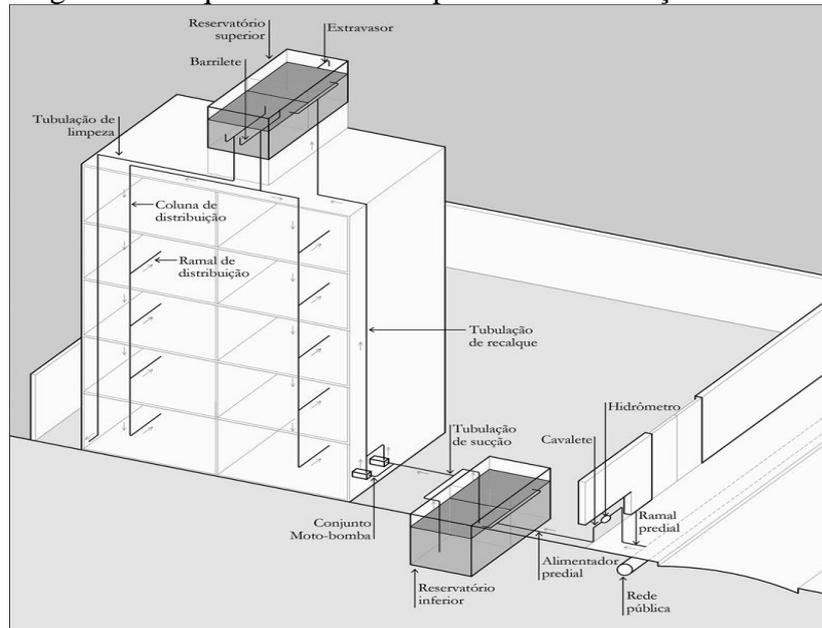
De maneira geral, todo sistema público que fornece água exige a colocação de um medidor de consumo, chamado “hidrômetro”. Esse dispositivo é instalado em um compartimento de alvenaria ou concreto, juntamente com um registro de gaveta, e a canalização ali existente é chamada de “cavalete”. A tubulação que liga o cavalete ao alimentador predial, geralmente, é do mesmo diâmetro do ramal predial (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

O hidrômetro deve ser instalado em caixa própria do imóvel abastecido, em local de fácil acesso. Em geral, é exigido uma certa disposição para os encanamentos, tendo em vista a instalação do hidrômetro em posição horizontal, acima da superfície do solo. Para a instalação do cavalete prevê-se a instalação de um abrigo com determinadas dimensões a uma distância do alinhamento do imóvel que não ultrapasse 1,50 metros (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

É possível realizar essa medição por meio da instalação dos hidrômetros de duas formas distintas, de maneira individual ou coletiva. Quando a medição é coletiva, há somente um hidrômetro, e o sistema de distribuição tem a configuração por barrilete, colunas, ramais e sub-ramais, com colunas normalmente posicionadas em diversos pontos da edificação (banheiros, cozinhas e áreas de serviço), abastecendo pontos de água em diferentes unidades consumidoras. Já quando se trata de medição individualizada, existem tantos hidrômetros quantas forem as unidades consumidoras, e o sistema de distribuição tem a mesma configuração, mas com

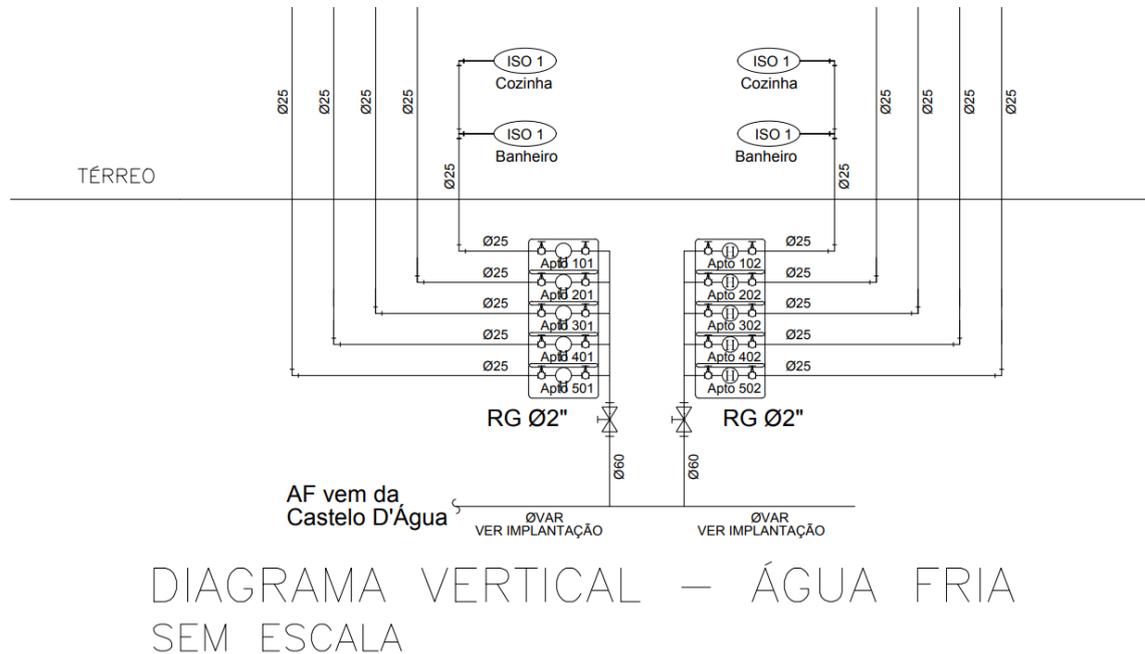
significativa alteração no traçado. Nesse caso, as colunas geralmente se posicionam em áreas mais centrais da edificação, de onde se derivam os ramais para cada unidade consumidora. Para ilustrar, as partes constituintes de um sistema predial hidráulico, em caso de medição coletiva, pode ser visto na Figura 3, enquanto na Figura 4 pode-se visualizar a configuração alternativa, em caso de medição individualizada, com a indicação, neste último caso, dos hidrômetros individuais por pavimento (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2021).

Figura 3 – Esquema de sistema predial com medição coletiva.



Fonte: Veról, Vazquez e Miguez (2021).

Figura 4 – Esquema de sistema predial de medição individual.



Fonte: Do autor (2022).

A utilização de medidores coletivos para edifícios multifamiliares é vetada no Brasil, de acordo com a lei 13.312/2016 é exigido a cobrança individual dos serviços de saneamento. Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), do governo federal, a utilização de medidores individuais pode gerar até 25% de economia, comparado com o sistema de medição coletiva. A medição individual de água em condomínios prediais é importante por diversas razões, dentre elas, destacam-se: redução do desperdício de água e, conseqüentemente, do volume efluente de esgotos; economia de energia elétrica devido à redução do volume bombeado para o reservatório superior; e a possibilidade da identificação de vazamentos de difícil percepção (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

### 3.2.2. Subsistema de reserva

Segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020) os reservatórios são dispositivos de reservação de água utilizados para garantir a regularidade do abastecimento. O reservatório inferior deve ser posicionado entre o alimentador predial e a instalação elevatória. Já o reservatório superior pode estar conectado ao alimentador predial ou à canalização de recalque e destinado a alimentar a rede de distribuição. Deve-se ter dispositivos de limpeza (tubulação destinada ao esvaziamento

do reservatório para permitir sua limpeza e manutenção) e extravasão (tubulação destinada a escoar o eventual excesso de água de um reservatório). É necessária também a utilização de uma válvula com boia, com o intuito de interromper a entrada de água nos reservatórios quando se atinge o nível operacional máximo previsto.

De acordo com a NBR 5626 (ABNT, 2020) para determinar a capacidade total de reservação de água potável deve ser considerar a frequência e duração de possíveis interrupções do sistema de abastecimento, e deve haver também um volume total de água reservado para atender, no mínimo, 24 horas de consumo normal no edifício, considerando também o eventual volume adicional de água para combate a incêndio, quando este estiver armazenado conjuntamente. A NBR 5626 (ABNT, 2020) acrescenta ainda que o volume total de água potável armazenada no reservatório deve ser limitado a um volume que assegure a sua potabilidade dentro do período de detenção médio, sob utilização normal, de modo a evitar redução excessiva da ação residual do agente desinfetante.

O consumo de água está diretamente relacionado com as características da atividade da edificação (comercial, industrial, residencial, etc.), da necessidade de uso e com o número de ocupantes da edificação. A utilização de tabelas apropriadas permite uma prévia definição do consumo, entretanto, vale ressaltar que estas tabelas são genéricas e, para casos de usos específicos, deve ser verificada a experiência prática com o referido uso (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2021).

Tal consumo pode apresentar grande variabilidade, dependendo da disponibilidade de acesso ao abastecimento e de aspectos culturais da população, entre outros fatores. Alguns estudos mostram que, por dia, uma pessoa no Brasil gasta de 50 litros a 200 litros de água. Portanto, com 200 litros/dia utilizados de forma racional, vive-se confortavelmente (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

Segundo Carvalho Júnior (2018) para calcular o consumo diário de água dentro de uma edificação, é necessária uma boa coleta de informações, como: pressão e vazão nos pontos de utilização, quantidade e frequência de utilização dos aparelhos, população, condições socioeconômicas e clima, entre outros. Na ausência de critérios e informações, para calcular o consumo diário de uma edificação, utilizam-se tabelas apropriadas: verifica-se a taxa de ocupação de acordo com o tipo de uso do edifício e o consumo per capita (por pessoa). O consumo diário (Cd) pode ser calculado por meio da Equação 1.

$$Cd = P \cdot q \quad (1)$$

Onde:

Cd = Consumo diário (L/dia);

P = População que ocupará a edificação (adimensional);

q = Consumo per capita (L/dia).

Tendo em vista a intermitência do abastecimento da rede pública, e na falta de informações, é recomendável dimensionar reservatórios com capacidade suficiente para dois dias de consumo. Essa capacidade é calculada em função da população e da natureza da edificação. Então, a quantidade total de água a ser armazenada pode ser calculada utilizando a Equação 2 (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

$$CR = 2 \cdot Cd \quad (2)$$

Onde:

CR = Capacidade total do reservatório (L).

### 3.2.3. Subsistemas de distribuição

Segundo Carvalho Júnior (2018) existem três sistemas de abastecimento da rede predial de distribuição: direto, indireto e misto. O sistema de distribuição direto é aquele executado diretamente da rede pública, ou seja, sem a utilização de reservatórios e só deve ser utilizado quando se tem consistência em termos de vazão e pressão na rede pública, cenário praticamente inexistente no Brasil, o que faz esse método cair em desuso. Na distribuição indireta, o reservatório ou um sistema hidropneumático é o responsável por abastecer os pontos de utilização da edificação. Já o sistema misto é aquele que se utiliza, concomitantemente, o sistema direto e indireto, geralmente o indireto por gravidade interligado com o direto, sendo este o sistema mais utilizado para abastecimento no Brasil (BAPTISTA; COELHO, 2010).

Segundo Carvalho Júnior (2018) a rede de distribuição de água fria é constituída pelo conjunto de canalizações que interligam os pontos de consumo ao reservatório da edificação, e pode ser dividida em diferentes componentes. A NBR 5626 (ABNT, 2020) define que um componente é qualquer produto que compõe o sistema predial de água fria que cumpri

individualmente uma função específica. São exemplos desses componentes os tubos, conexões, válvulas, reservatórios, entre outros. A NBR 5626 (ABNT, 2020, p.3) também traz outras definições importantes em relação aos diferentes trechos de tubos de uma instalação, sendo elas:

- Barrilete: conjunto de tubulações de saída do reservatório superior que alimentam as colunas de distribuição.
- Coluna de distribuição: tubulação derivada do barrilete e destinada a alimentar os ramais.
- Ramal: Tubulação derivada da coluna de distribuição ou diretamente de barrilete, destinada a alimentar os sub-ramais;
- Ramal predial: Tubulação compreendida entre a rede pública de abastecimento de água e a extremidade à montante do alimentador predial ou da rede predial de distribuição.
- Sub-ramal: Tubulação que liga o ramal ao ponto de utilização.

Ainda de acordo com Carvalho Júnior (2018), para traçar uma rede de distribuição, é sempre aconselhável fazer uma divisão dos pontos de consumo. Dessa forma, os pontos de consumo de diferentes ambientes devem ser alimentados por colunas independentes.

A escolha adequada dos materiais, dispositivos e peças de utilização é essencial para o bom funcionamento das instalações. Os principais materiais utilizados nos tubos são: cloreto de polivinila (PVC rígido), aço galvanizado e cobre. A maior parte das tubulações destinadas ao transporte de água potável são executadas com tubos de plástico (PVC), pois são imunes à corrosão, leves, fáceis de transportar e manusear, possuem durabilidade ilimitada, são de fácil instalação, apresentam baixo custo de aquisição e menor perda de carga quando comparado aos outros materiais. Os tubos metálicos apresentam algumas vantagens como: maior resistência mecânica; menor deformação e resistem a altas temperaturas, porém, são suscetíveis à corrosão, transmitem mais ruídos, têm uma maior perda de carga e, geralmente, são mais caros. Já os tubos de aço galvanizado são mais utilizados em instalações aparentes, nos sistemas hidráulicos de combate a incêndio e em algumas conexões, por serem mais resistentes (CARVALHO JÚNIOR, 2018).

### **3.3. Parâmetros de projeto**

#### **3.3.1. Vazão**

A vazão utilizada no projeto está relacionada com a pressão dinâmica da água no ponto de utilização. Segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020) a pressão mínima da água atuante nos

pontos de utilização deve ser aquela necessária pra assegurar a vazão de projeto. A pressão dinâmica requerida para o funcionamento apropriado da peça de utilização ou do correspondente aparelho sanitário, operando com vazão de projeto, pode ser obtida junto ao respectivo fabricante ou responsável pela colocação do produto no mercado nacional, ou na especificação técnica do componente. O valor numérico desse parâmetro também pode ser obtido através de métodos probabilísticos ou empíricos. A seguir serão apresentadas algumas formas para se obter esse parâmetro através de métodos empíricos.

Uma das formas de se obter esse parâmetro é utilizando a Equação 3, uma vez que o fator de vazão da peça ou do aparelho sanitário for constante para a faixa operacional de pressão prevista.

$$Q = K \cdot \sqrt{P} \quad (3)$$

Onde:

Q = a vazão de projeto da peça de utilização ou aparelho sanitário (L/s);

K = fator de vazão do aparelho sanitário (L/s  $kPa^{-0,5}$ );

P = pressão dinâmica da água no ponto de utilização (kPa), a qual não pode ser inferior a 10 kPa ou 1 mca (kPa).

Dentre as formas citadas para estimar a vazão, destacam-se o Métodos do Consumo Máximo Possível e o Método do Consumo Máximo Provável, apresentados a seguir.

### 3.3.1.1 Método do Consumo Máximo Possível

O consumo simultâneo ou consumo máximo possível ocorre em locais onde a utilização de peças é simultânea, em razão de horários específicos como, por exemplo, nos quartéis, escolas, estabelecimentos industriais, os quais, no momento de sua maior utilização, têm todos os pontos funcionando ao mesmo tempo (BOTELHO; RIBEIRO JÚNIOR, 2010).

Ainda segundo Botelho e Ribeiro (2010), para efeito de dimensionamento adota-se os seguintes passos:

- Utiliza-se uma tubulação de referência com 20 mm (1/2”), a partir da qual todos os diâmetros são referidos, com seções equivalentes.

- Adota-se diâmetros mínimos de sub-ramais referenciados;
- Obtém-se as seções de cada trecho através da soma das seções equivalentes;
- Determina-se os diâmetros dos sub-ramais pela tabela de seções equivalentes, como mostra a Tabela 1 .

Tabela 1 - Seções equivalentes de uma tubulação de referência de 20mm.

Diâmetros em polegadas	Diâmetros DN (mm)	Número de tubos de 20mm, com a mesma capacidade
1/2	20	1
3/4	25	2,9
1	32	6,2
1 1/4	40	10,9
1 1/2	50	17,4
2	60	37,8
2 1/2	75	65,5
3	85	110,5
4	110	189

Fonte: Botelho e Ribeiro Júnior (2010).

### 3.3.1.2 Método do Consumo Máximo Provável

Para o dimensionamento das tubulações de água fria em uma edificação, é usual estabelecer como provável uma demanda simultânea de água menor que a máxima possível.

Segundo Carvalho Júnior (2014), o “Método do Consumo Máximo Provável” (Método dos Pesos Relativos) é baseado no cálculo de probabilidades, bem como na análise prática de instalações prediais hidráulico-sanitárias com funcionamento satisfatório.

De acordo com Azevedo Netto e Fernandez (2015), são três os métodos usualmente empregados para a estimativa das vazões máximas prováveis:

- Curvas de consumo simultâneo, obtidas por observação;
- Aplicação da teoria das probabilidades, atribuindo-se pesos diferentes aos aparelhos (método Roy B. Hunter);
- Aplicação de critérios regulamentares ou normativos (como apresentado na norma NBR 5626:1998 – fora de vigência atualmente).

Cada peça de utilização demanda uma vazão para seu correto funcionamento, e essas vazões estão relacionadas empiricamente com um número convencional de pesos. Esses pesos, por sua vez, têm relação direta com os diâmetros mínimos necessários para o funcionamento das peças. A vazão de um trecho a ser analisado pode ser estimado utilizando a Equação 4.

$$Q = C \cdot \sqrt{\sum "peso"} \quad (4)$$

Onde:

Q = vazão em L/s;

C = coeficiente de descarga = 0,30 L/s;

Σ" peso" = soma dos "pesos" das peças ligadas à tubulação a ser dimensionada (adimensional).

Estão dispostos na Tabela 2 o peso de alguns aparelhos encontrados nas instalações prediais.

Tabela 2 - Vazões e pesos relativos nos pontos de utilização dos aparelhos sanitários.

Aparelho sanitário	Peças de utilização	Vazão de projeto (L/s)	Peso relativo
Bacia ou vaso sanitário	Caixa de descarga	0,15	0,3
	Válvula de descarga	1,70	32
Banheira	Misturador (água fria)	0,30	1
Bebedouro	Válvula obturadora	0,10	0,1
	Misturador (água fria x quente)	0,10	0,1
Chuveiro elétrico	Válvula obturadora	0,10	0,1
Lavadora de Pratos ou de roupas	Válvula obturadora	0,30	1
	"Torneira" ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Lavatório	"Torneira" ou misturador (água fria)	0,25	0,7
	"Torneira"	0,25	0,7
"Torneira" de jardim ou lavagem em geral	"Torneira" (válvula obturadora)	0,20	0,4

Fonte: Azevedo Netto e Fernández (2015).

### 3.3.2. Velocidade

Segundo NBR 5626 (ABNT, 2020) para manter os níveis de ruído dentro dos limites definidos pela ABNT NBR 10152:2017 e manter a integridade dos componentes, a velocidade do escoamento deve ser limitada a um valor que não levem a transientes hidráulicos danosos à estrutura hidráulica. Segundo Baptista e Coelho (2010) não há fixação de velocidades mínimas, contudo, a velocidade máxima não deve exceder ao valor definido pela Equação 5 e nem ao valor de três metros por segundo. Essa limitação deve-se ao intuito de limitar os ruídos e evitar o problema do golpe de aríete.

$$V = 14 \cdot \sqrt{D} \quad (5)$$

Onde:

V = velocidade (m/s);

D = diâmetro nominal (m).

Denomina-se golpe de aríete a variação brusca de pressão em uma tubulação, que normalmente está associada a uma mudança de velocidade súbita (AZEVEDO; FERNÁNDEZ, 2015):

Segundo Azevedo, Fernández (2015), as principais causas do golpe de aríete são:

- Fechamento ou a abertura de válvulas (ou rompimento);
- A partida ou a parada de bombas ou turbinas (ou rompimento de um eixo, por exemplo);
- O rompimento ou a obstrução súbita de uma secção de tubo (por exemplo, por colapso estrutural em determinado ponto);
- A presença de bolsões de ar ou vapor, quando as duas frentes de líquido voltam a se encontrar;
- A colisão da superfície da água dentro de um tubo com a ventosa quando termina o escape do ar, se for muito rápido.

### 3.3.3. Perda de carga

De acordo com Botelho e Ribeiro Júnior (2010) a perda de carga pode ser subdividida em perda de carga distribuída e perda de carga localizada. A perda de carga distribuída deve-se ao fato da perda de energia ao longo do percurso na tubulação por atrito da água com ela mesma e com a parede do material que compõe o tubo. Já as perdas de cargas localizadas são perdas de energia pontuais, essas ocorrem nas conexões, nos registros, válvulas e outros componentes que são encontrados nas instalações prediais. O somatório dessas duas perdas de energia fornece a perda de carga total do trecho analisado.

As perdas de cargas podem ser calculadas de diversas maneiras, a NBR 5626 (ABNT, 2020) recomenda a utilização da equação universal de Darcy-Weisbach, mas não veda a utilização de equações empíricas, desde que seja adequada para o material e o diâmetro daquele trecho analisado.

A perda de carga distribuída pode ser determinada a partir da relação que leva em consideração os parâmetros geométricos do escoamento no conduto e as propriedades do fluido, uma das maneiras de se chegar a seu valor numérico é por meio da fórmula de Darcy-Weisbach, expressa na Equação 6.

$$h_f = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (6)$$

Onde:

$h_f$  = perda de carga distribuída (m);

$f$  = fator de atrito (valor adimensional);

$D$  = diâmetro interno da tubulação (m);

$L$  = comprimento do trecho considerado de forma retilínea (m);

$v$  = velocidade do escoamento (m/s).

Uma das formas de se calcular a perda de carga localizada é utilizando-se do método dos comprimentos equivalentes, que consiste em substituir, para simples efeito de cálculo, cada

acessório da instalação por comprimentos de tubos retilíneos, de mesmo diâmetro, nos quais a perda de carga seja igual à provocada pelo acessório, desde que a vazão em ambos seja a mesma.

Pode-se então introduzir um novo termo denominado de comprimento virtual ( $L_v$ ), representada pela Equação 7, que será a soma do comprimento do trecho considerado ( $L$ ) com o comprimento equivalente do acessório analisado ( $Leq$ ).

$$L_v = L + Leq \quad (7)$$

Onde:

$L_v$  = comprimento virtual (m);

$L$  = comprimento do trecho considerado de forma retilínea (m);

$Leq$  = comprimento equivalente dos acessórios (m).

Ao substituir o comprimento  $L$  na Equação 6 pelo comprimento virtual ( $L_v$ ), obtém-se o valor total da perda de carga naquele trecho, representada na Equação 8.

$$\Delta h = f \cdot \frac{L_v}{D} \cdot \frac{V^2}{2g} \quad (8)$$

Onde:

$\Delta h$  = perda de carga total (m);

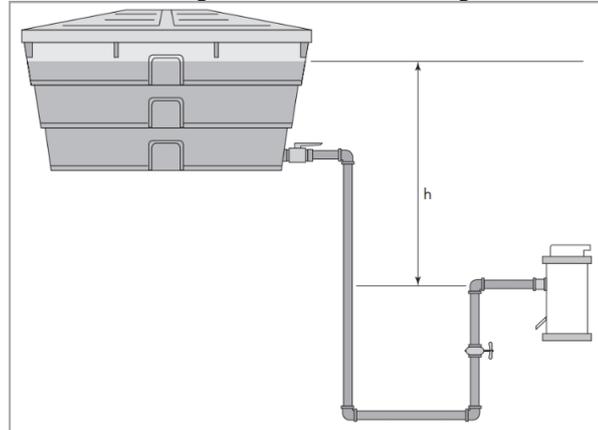
#### 3.3.4. Pressão

Quando se considera a pressão, implicitamente relaciona-se uma força à unidade de área sobre a qual ela atua. Em uma instalação predial, a água exerce uma força contra as tubulações. Para instalações prediais são considerados três tipos de pressão: a pressão estática, esta ocorre nas tubulações quando não há o escoamento da água; a pressão dinâmica, durante o movimento da água dentro da tubulação, e a pressão de serviço, pressão máxima que se pode aplicar ao componente durante seu uso normal (NBR 5626, 2020).

Com relação à pressão estática, a NBR 5626 (ABNT, 2020) limita a um valor de 40 kPa nos pontos de utilização, portanto, a diferença entre a altura do reservatório superior e o ponto mais baixo da instalação não deve ser maior que, aproximadamente, 40 metros. Uma pressão acima desse valor ocasionará ruído, golpe de aríete e necessidade de manutenção constante nas

instalações (VERÓL; VAZQUEZ; MIGUEZ, 2021). A Figura 5 ilustra uma situação a qual os componentes estão submetidos a uma pressão estática.

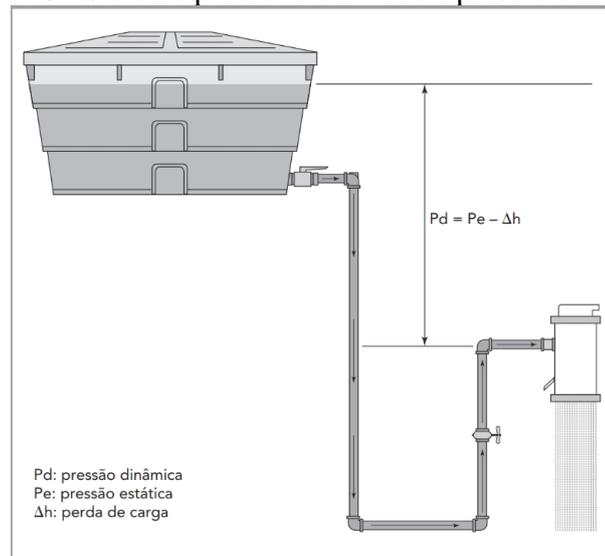
Figura 5 - Sistema predial submetido a pressão estática.



Fonte: Carvalho Júnior (2018).

Segundo a NBR 5626 (ABNT, 2020), em qualquer ponto da rede predial de distribuição, a pressão da água em regime de escoamento não deve ser inferior a meio quilopascal (0,50 kPa). De acordo com Veról, Vazquez e Miguez (2021) esse valor visa impedir que o ponto crítico da rede de distribuição, geralmente o ponto de encontro entre o barrilete e a coluna de distribuição, possa obter pressão negativa. Esses autores também apontam que para as peças de utilização terem um funcionamento satisfatório, a pressão da água nos pontos de utilização (pressão dinâmica) não deve ser inferior a um quilopascal e ainda acrescentam que uma pressão excessiva na peça de utilização tende a aumentar desnecessariamente o consumo de água. Portanto, em condições dinâmicas, os valores das pressões nessas peças devem ser controlados, para serem próximos aos mínimos necessários. A Figura 6 ilustra uma situação a qual os componentes estão submetidos a uma pressão dinâmica.

Figura 6 - Sistema predial submetido a pressão dinâmica.



Fonte: Carvalho Júnior (2018).

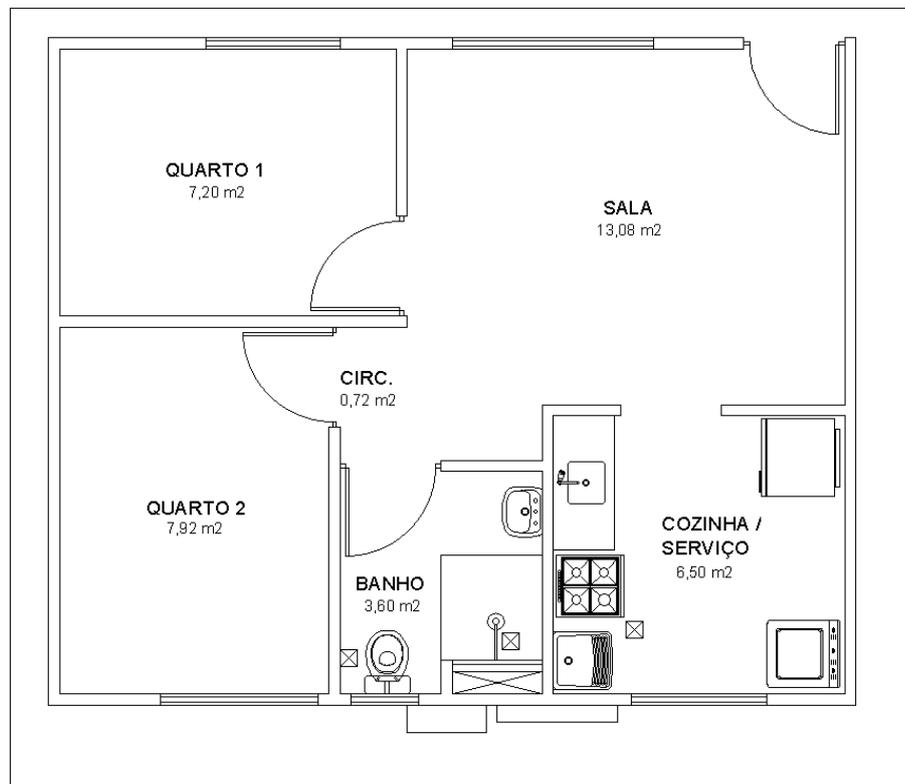
#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

O projeto analisado neste estudo é um condomínio residencial multifamiliar, que possui 12 blocos habitacionais. Cada bloco foi projetado com 5 pavimentos, contendo 4 unidades habitacionais básicas por pavimento, como pode ser visto no Anexo A. Os pontos de distribuição para utilização nas unidades habitacionais serão abastecidos por um reservatório elevado. Para o sistema de medição utilizou-se medição individual.

Tendo em vista o público-alvo desse empreendimento, as instalações, bem como os materiais utilizados atendem apenas as condições básicas para o funcionamento ideal de uma edificação deste porte, sendo então de médio padrão.

As unidades habitacionais que serão abastecidas contam com um banheiro e uma cozinha com área de serviço. Os aparelhos sanitários do banheiro são: lavatório, chuveiro e vaso sanitário. Para o ambiente da cozinha e área de serviço os pontos de utilização são: pia, tanque e máquina de lavar roupas. A unidade habitacional padrão é representada na Figura 7.

Figura 7 - Unidade habitacional padrão utilizada na modelagem do problema.



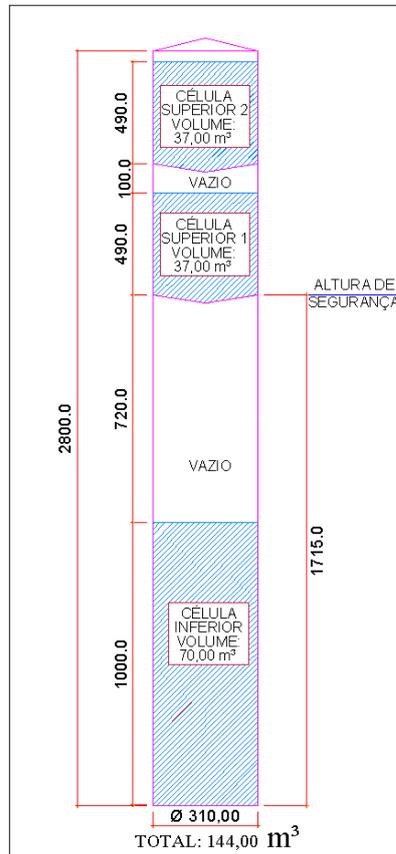
Fonte: Do autor (2022).

#### **4.1. Estudo do funcionamento hidráulico do empreendimento**

A análise hidráulica do empreendimento foi feita em 2 partes, a iniciar-se pelo sistema de reservação elevado e terminando na análise do sistema de distribuição, com a avaliação do funcionamento dos componentes hidráulicos consumidores presentes nas unidades habitacionais padrão.

O sistema de reservação deste empreendimento possui um castelo d'água situado próximo da entrada. Este conta com um sistema de três células, a célula inferior contém um volume de 70 metros cúbicos de água e uma altura de 10 metros com relação à cota da base de 890 metros. Para se obter a pressão necessária para que o sistema hidráulico funcione com um bom custo-benefício, utiliza-se espaços vazios entre as células para elevar a carga hidráulica obtendo uma maior pressão em todo o sistema. A célula superior 1 possui um volume reservado de 37 metros cúbicos de água e seu topo está a 22,1 metros em relação a cota da base. A célula superior 2 contém também um volume de reservação de 37 metros cúbicos de água, totalizando um volume de reservação de 144 metros cúbicos, esta célula situa-se no ponto mais alto do reservatório, totalizando 28 metros. O reservatório possui um diâmetro de 3,10 metros. O reservatório descrito pode ser visualizado na Figura 8.

Figura 8 Sistema de reservação do empreendimento analisado, em centímetros.



Fonte: Do autor (2022).

É importante ressaltar que esse reservatório foi dimensionado para um volume de 144 metros cúbicos de demanda. Essa demanda foi obtida por meio de uma relação simples, onde em cada unidade habitacional espera-se uma população de 4 pessoas, tendo em vista que o empreendimento conta com 12 blocos habitacionais, cada um com 5 pavimentos e 4 apartamentos por pavimento, então, chega-se a uma população total de 960 pessoas. Admitindo-se um consumo de 150 litros por pessoa por dia, chega-se ao valor diário demandado de 144 mil litros de água.

#### 4.2. Dimensionamento do sistema de distribuição

O dimensionamento da rede de distribuição do empreendimento analisado neste estudo levou em conta também o consumo de acordo com a quantidade de habitantes em cada bloco habitacional. Para a variável vazão, foram quantificados dois valores distintos: a vazão do dia de maior consumo e vazão da hora de maior consumo. Para a obtenção os valores da vazão do

dia de maior consumo e da vazão da hora de maior consumo, utilizou-se as equações 9 e 10, respectivamente.

$$Q_d = \frac{(P \cdot Q_{pc} \cdot K_1)}{86400} \quad (9)$$

Onde:

$Q_d$  = vazão do dia de maior consumo (L/s);

$P$  = população analisada (habitante);

$Q_{pc}$  = consumo diário per capita (L/habitante dia);

$K_1$  = coeficiente para dia de maior consumo (adimensional). Adotado: 1,2.

$$Q_h = \frac{(P \cdot Q_{pc} \cdot K_1 \cdot K_2)}{86400} \quad (10)$$

Onde:

$Q_h$  = vazão da hora de maior consumo ( $L \cdot s^{-1}$ )

$K_2$  = coeficiente para a hora de maior consumo (adimensional). Adotado: 1,5.

Os coeficientes de reforço  $k_1$  e  $k_2$  foram utilizados de acordo com a região do empreendimento, e ressalta-se que esses valores não são constantes e variam de acordo com a localização geográfica.

Os diâmetros utilizados para a execução desse projeto diferem ao longo do percurso de água. Os diâmetros das tubulações que ligam o reservatório aos pontos de consumo podem ser vistos na Tabela 3.

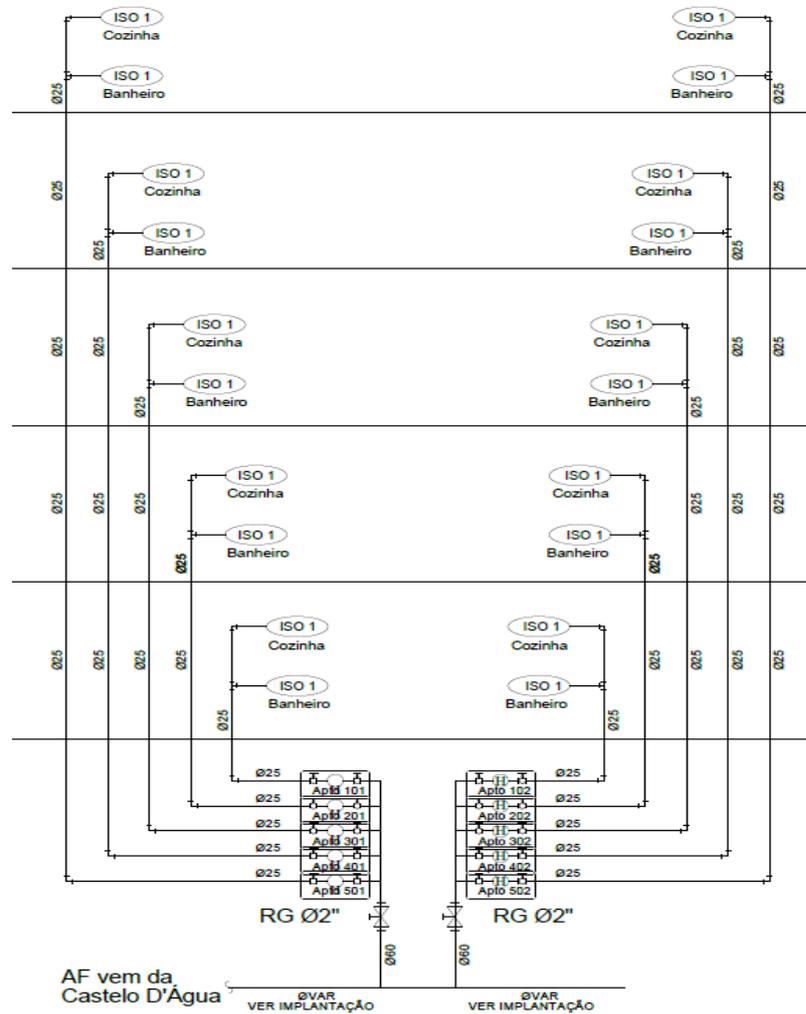
Tabela 3 - Diâmetro e comprimento dos trechos que alimentam as torres consumidoras.

Trecho	Diâmetro nominal (mm)	Comprimento da tubulação (m)
R1-A	110	20,20
A-B	110	30,20
B-C	110	20,00
C-D	110	5,00
D-E	110	20,00
E-F	110	5,00
F-G	110	20,00
G-H	85	15,00
H-I	85	20,00
I-J	85	5,00
J-K	85	20,00
K-L	85	5,00
L-M	85	20,00

Fonte: Do autor (2022).

Os dados mostrados na Tabela 3 representam os parâmetros utilizados para a modelagem do problema nos trechos que ligam o reservatório as torres residenciais consumidoras. Para a modelagem dessas torres residenciais, utilizou-se do esquema vertical de distribuição, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Diagrama vertical da distribuição interna das torres habitacionais.



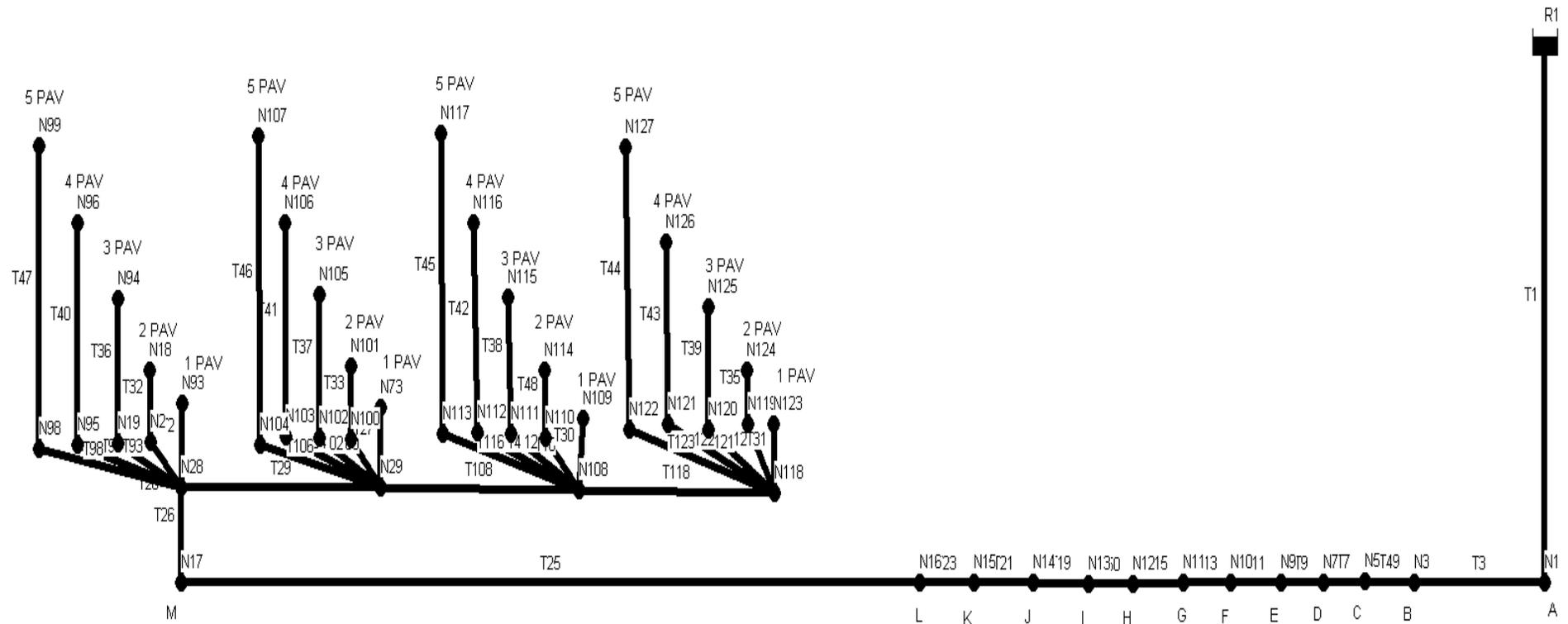
Fonte: Do autor (2022).

Nota-se por meio da Figura 9 e da Tabela 3 que a variação dos diâmetros utilizados ocorre nos trechos de montante aos medidores individuais e, a jusante, se mantem um padrão de utilização das tubulações com diâmetro nominal de 25 mm, de acordo com o projeto.

#### 4.3. Modelagem e simulação do comportamento hidráulico da rede

A rede foi modelada com o auxílio do *software* EPANET 2.2. O modelo construído pode ser visto na Figura 10. Neste, tem-se que os nós 99, 107, 117 e 127 são os pontos mais altos da rede de distribuição, situados no 5º pavimento.

Figura 10 - Modelagem do projeto pelo EPANET 2.2.



Fonte: Do autor (2022).

Para a simulação da vazão na rede de distribuição e alimentadores prediais, chegando até os ramais de abastecimento das unidades habitacionais individualmente, utilizou-se o conceito de vazão provável, por meio do Método dos Pesos Relativos descrito na Equação 4, empregado para o dimensionamento de instalações hidráulicas prediais. Desta forma, pôde-se simular demanda por água provável à rede dimensionada a partir dos aparelhos sanitários, e não só de um consumo diário.

Portanto, através da Equação 4, pôde-se estimar a vazão demandada, uma vez que se tem a descrição de todos os componentes consumidores da edificação. Para essa modelagem, o ponto M caracteriza a modelagem do padrão de distribuição de uma torre, representada pela Figura 10, como há simetria, optou-se por uma modelagem simplificada em que nós descritos após o ponto M são caracterizados pelos ramais onde estão instalados os medidores individuais de cada apartamento. Essa simetria se mantém em todas as torres deste empreendimento, portanto nos nós gerais de B ao L (Figura 10), tem-se uma simplificação dessa modelagem, onde a demanda de vazão será a mesma considerada no ponto M, uma vez que se tem a mesma distribuição.

De acordo com o layout apresentado pela Figura 7, e os componentes presentes nela, consultou-se a Tabela 2 para obtenção dos pesos relativos desses componentes e posteriormente aplicá-los na Equação 4 para obtenção da demanda da vazão em cada nó. A Tabela 4 descreve os componentes presentes na unidade habitacional padrão analisada e o peso relativo de cada um.

Tabela 4 - Peso relativo dos componentes presentes na unidade habitacional padrão.

Componente presente no apartamento padrão	Peso
Lavatório	0,3
Chuveiro	0,1
Vaso sanitário com caixa acoplada	0,3
Pia	0,7
Tanque	0,7
Máquina de lavar roupas	1,0
Total	3,1

Fonte: Do autor (2022).

Portanto foi estimado a demanda de vazão do ponto M, considerando que cada ramal contém 5 pavimentos e 4 derivações, tem-se 20 unidades consumidoras. Utilizando a Equação 4 tem-se uma vazão de 2.36 L/s. Como cada nó geral (B ao M) tem-se 20 unidades habitacionais, a vazão em cada uma se dá pela vazão Q dividida por 20, ou seja, 0.118 L/s.

Com os parâmetros de demanda de vazão obtidos associados com os dados apresentados pela Tabela 3 pôde-se executar a análise hidráulica do funcionamento desses componentes descritos através do EPANET 2.2. Com esta modelagem, também foi possível realizar a variação da carga hidráulica estática do reservatório, possibilitando simular o funcionamento proposto pelo projeto analisado quando este estiver funcionando com a célula superior 1 e com a célula superior 2 e analisar o efeito causado na pressão que chegará até os pontos críticos analisados.

No sistema de abastecimento proposto pelo empreendimento há duas possibilidades de distribuição quanto ao sistema de reservação escolhido: uma quando se tem somente a célula 1 funcionando e a segunda com a célula 2. A célula inferior é responsável pela captação da água distribuída pela concessionária a qual é bombeada para as demais células. Através da modelagem proposta, pôde-se variar a carga hidráulica do reservatório de modo a simular o funcionamento de acordo com essas especificações. No primeiro cenário, o sistema de distribuição funcionando somente com a célula 1, tem-se uma coluna de água de 22,10 metros, já no segundo cenário, onde ambas as células estão em funcionamento, tem-se uma coluna de água de 28 metros.

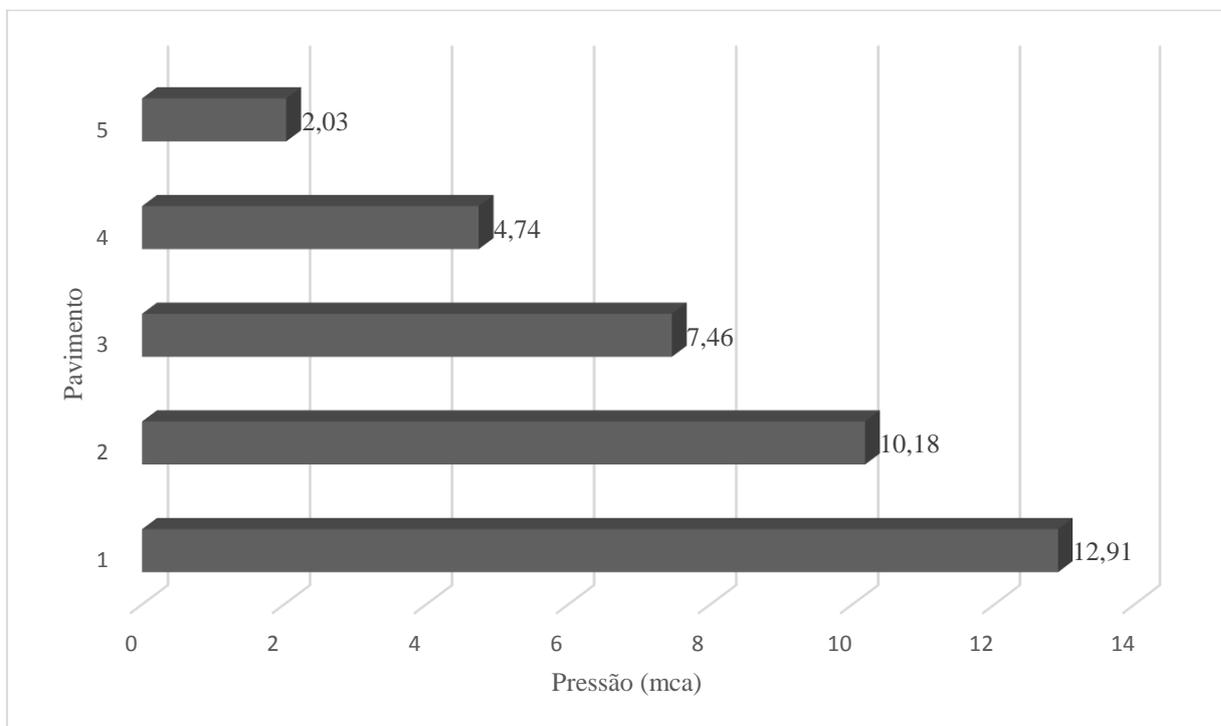
## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1. Análise do sistema hidráulico proposto pelo empreendimento

Para o primeiro cenário, onde o nível da água no reservatório elevado está cota 22.10 m, considerando a vazão de distribuição definida pelos pesos relativos dos aparelhos sanitários abastecidos de 2.36 L/s, e através de uma análise da modelagem ilustrada pela Figura 10, a pressão não seria suficiente para atender os componentes hidráulicos a partir do terceiro pavimento. Uma medida que pode ser usada para mitigar esse problema é o aumento do diâmetro da tubulação, ou simplesmente aumentar a carga hidráulica estática. Tem-se que alteração dos diâmetros da tubulação seria pouco efetiva ou mesmo inviável para a solução do problema, já que a maioria dos trechos da rede já possuem DN 110.

As cargas de pressão dinâmica obtidas nos ramais de abastecimento das unidades habitacionais, em cada pavimento do último bloco, ao analisar o segundo cenário onde a carga hidráulica estática no reservatório é de 28 m, podem ser vistas no Gráfico 1.

Gráfico 1 – Carga de pressão dinâmica, por pavimento do último ramal para o segundo cenário de análise, quando o nível de água no reservatório se encontra a 28 metros de altura.



Fonte: Do autor (2022).

De acordo com os valores apresentados no Gráfico 1, o valor de pressão no quinto pavimento, não seria suficiente para se ter uma pressão dinâmica de 10 kPa no chuveiro, já que este se encontra na cota 2,10 m, valor superior ao de carga de pressão dinâmica disponível no ramal analisado. Outro fator que indica que o valor de carga de pressão resultante dessa análise é efetivamente baixo, é o fato de não ter sido considerado a perda de carga nos medidores, que é considerável, mais um indício de que com os dados utilizados para essa modelagem, mostra um cenário hidráulico com mal funcionamento no ponto crítico do sistema analisado.

Dentro da modelagem proposta há duas possibilidades para aumentar a pressão que chega ao ponto crítico analisado, a primeira é aumentando o diâmetro das tubulações e a segunda é variar a carga hidráulica do reservatório.

Mantendo-se a altura do reservatório no nível original de projeto de 28 metros, variou-se os diâmetros dos tubos nas prumadas dos pavimentos 1 ao 5 do último ramal, mantendo a demanda de vazão utilizada. Os resultados obtidos podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação de pressão para diferentes diâmetros no último ramal de distribuição.

	Diâmetro 25 mm	Diâmetro 32 mm	Diâmetro 40 mm	Diâmetro 50 mm	Diâmetro 60 mm
Pressão no 1º pav. (mca)	12,91	12,91	12,91	12,91	12,91
Pressão no 2º pav. (mca)	10,18	10,20	10,21	10,21	10,21
Pressão no 3º pav. (mca)	7,46	7,50	7,51	7,51	7,51
Pressão no 4º pav. (mca)	4,74	4,79	4,80	4,81	4,81
Pressão no 5º pav. (mca)	2,03	2,08	2,10	2,11	2,11

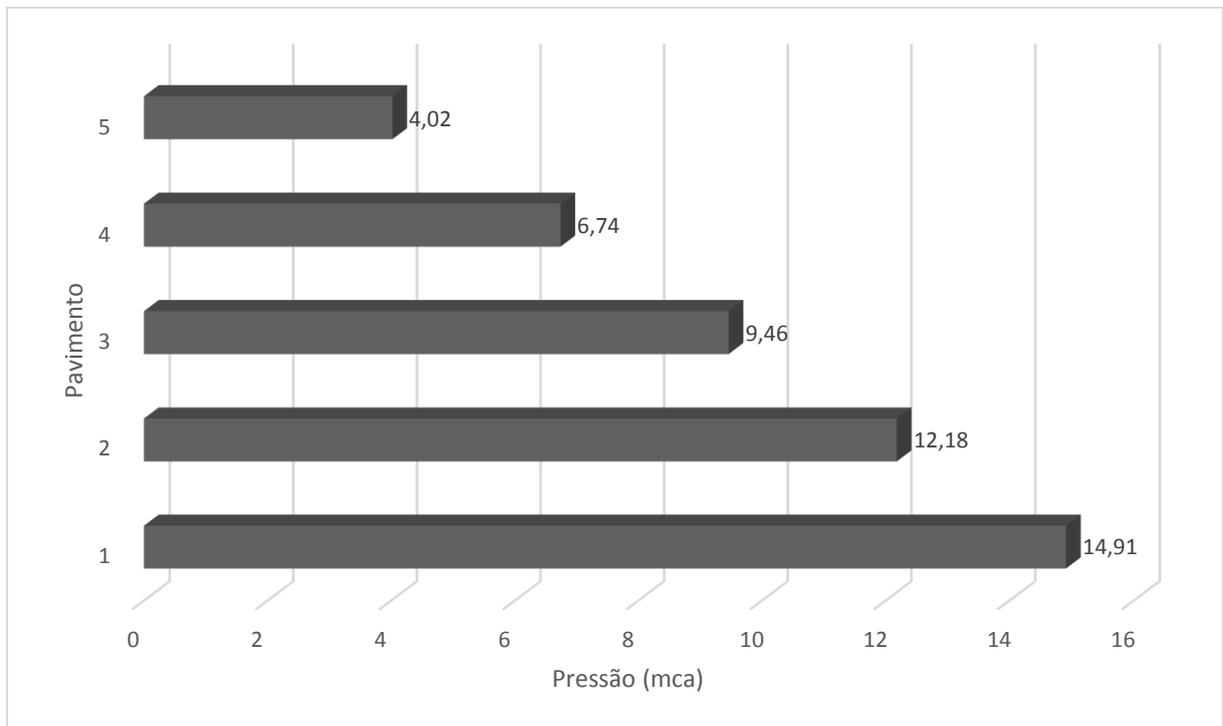
Fonte: Do autor (2022).

Como pode ser analisado com a Tabela 5, o aumento do diâmetro das tubulações nas prumadas de distribuição do medidor até o ponto analisado, implica em um aumento pouco significativo na pressão. Ao alterar o diâmetro da tubulação de 25 mm para 60 mm, há um ganho de 0.08 mca, valor pouco significativo pela dimensão de aumento do diâmetro dentro da modelagem analisada, portanto uma solução inviável para o empreendimento.

Como o aumento do diâmetro das tubulações não é viável para propósitos de ganho de pressão, outra alternativa é elevar o reservatório para que a diferença de cotas em relação ao ponto crítico analisado seja suficiente para um bom funcionamento hidráulico dentro do contexto analisado. Diante desse fato, alterou-se a altura do reservatório de 28 para 30 metros,

e simulou-se novamente o cenário. Os valores de pressão obtidos para o novo cenário podem ser vistos no Gráfico 2.

Gráfico 2 – Carga de pressão, por pavimento do último ramal, quando o nível de água no reservatório se encontra a 30 metros de altura.



Fonte: Do autor (2022).

De acordo com o Gráfico 2, ao elevar o reservatório de 28 para 30 metros de altura, há um ganho considerável na pressão no trecho do último pavimento passando de 2.03 mca, de acordo com o Gráfico 1, para 4.02 mca (Gráfico 2). Este valor, pode ser suficiente para um bom funcionamento hidráulico dos componentes, porém, este fato deve ser investigado a partir da verificação do funcionamento hidráulico da rede interna.

Portanto, de acordo com os resultados apresentados, a solução mais eficaz para o problema descrito é aumentar a carga de pressão estática do reservatório. Como não se tem restrições quanto à altura, uma vez que o reservatório não se encontra em ambiente confinado, pode-se facilmente aumentar em 2 metros de coluna d'água, para que atinja a cota de 30 metros obtendo a pressão de 4.02 mca no 5º pavimento último bloco, não necessitando de alterar os diâmetros pré-definidos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para o cenário onde somente a célula 1 está em funcionamento, a análise mostra um alerta de mal funcionamento dos componentes hidráulicos a partir do terceiro pavimento, uma vez que, com relação aos parâmetros adotados, a carga de pressão foi insuficiente a partir daquele ponto, acarretando no mal funcionamento dos aparelhos sanitários, pronunciada principalmente no funcionamento do chuveiro, por exemplo, que é geralmente o ponto mais crítico de uma instalação.

Quando se analisa um segundo cenário onde a célula 2 passa a ser a principal fonte de distribuição, há uma mitigação no problema enfrentado ao utilizar apenas a célula 1. O problema passa a atingir valores preocupantes a partir do quinto pavimento.

Para uma análise mais criteriosa, seria necessário dados para que se possa verificar o funcionamento desses cenários exatamente no ponto de consumo do chuveiro, sendo necessário também avaliar a perda de carga nos hidrômetros, nas peças especiais, até os pontos de consumo, sendo essa uma limitação deste trabalho.

É importante ressaltar, que, com a modelagem do sistema e as análises de diferentes funcionamentos, foi possível identificar o problema de baixa pressão, quando da utilização de metodologia para estimativa de vazão provável a partir da demanda de água dos aparelhos sanitários instalados em cada bloco, bem como criar diferentes cenários e avalia-los no ponto de interesse para encontrar uma solução economicamente e tecnicamente viável. De posse das informações do reservatório, foi possível identificar uma estratégia de aumento da altura da coluna de água, melhorando o estado da análise sem comprometer a rede projetada previamente, evitando diversos transtornos na obra.

## REFERENCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação Predial de Água Fria. Rio de Janeiro, 2020.

AZEVEDO, N.; J. M. de; FERNÁNDEZ, M. F. Y. **Manual de hidráulica**. 9 ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2015.

BOTELHO, M. H. C.; RIBEIRO JÚNIOR, G. A..**Instalações Hidráulicas Prediais**: Usando Tubos de PVC e PPR. São Paulo: Blucher, 2010.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. São Paulo: Blucher, 2018.

JÚNIOR, Roberto.de. C. **Instalações Prediais Hidráulico-Sanitárias**:princípios básicos para elaboração de projetos. Editora Blucher, 2014.

JÚNIOR, Roberto.de. C. **Patologias em sistemas prediais Hidráulico-Sanitários**. Editora Blucher, 2013.

MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias**. [S.l.]: LTC-Livros Técnicos e Científicos, 1990.

VERÓL, A. P.; VAZQUEZ, E. G.; MIGUEZ, M. G. **Sistemas prediais hidráulicos e sanitários projetos práticos e sustentáveis**. Rio de Janeiro: LTC, 2021.