

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

MATHEUS CAVALCANTE BORGES

**ANÁLISE DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA FRIA
VISANDO O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DISSIPADA NA VRP**

Goiânia, GO
2022

Matheus Cavalcante Borges

**ANÁLISE DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA FRIA
VISANDO O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DISSIPADA NA VRP**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Coordenação de
Engenharia Civil, do Instituto Federal
de Educação, Ciência e Tecnologia de
Goiás, Campus Goiânia, como parte
dos requisitos necessários para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil.**

**Orientador: Prof. Me. Douglas Pereira
da Silva Pitaluga.**

**Goiânia, GO
2022**

B732a Borges, Matheus Cavalcante.

Análise do sistema predial de água fria: visando o aproveitamento da energia dissipada na VRP / Matheus Cavalcante Borges. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2022.

90f. : il.

Orientação: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga.

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso de Engenharia Civil, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Instalações hidráulicas. 2. Geração de energia. 3. Reaproveitamento. I. Pitaluga, Douglas Pereira da Silva (orientação). II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. III. Título.

CDD 621.252

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Lana Cristina Dias Oliveira CRB1/ 2.631
Biblioteca Professor Jorge Félix de Souza,
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Câmpus Goiânia.



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Matheus Cavalcante Borges

Matrícula: 20191011050348

Título do Trabalho: Redimensionamento do sistema predial de água fria visando o aproveitamento da energia dissipada na VRP

Autorização - Marque uma das opções

1. (X) Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. () Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. () Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- () O documento está sujeito a registro de patente.
() O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
() Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Goiânia
Local

_____, 08/02/2022.
Data

Matheus Cavalcante Borges

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS GOIÂNIA

Matheus Cavalcante Borges

Análise do sistema predial de água fria visando o aproveitamento da energia dissipada na VRP

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Campus Goiânia, como parte dos quesitos necessários para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Membros da banca: Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga (orientadora); Me. Matilde Batista Melo; Dr. Thiago Augusto Mendes.

Aprovado em 08 de Fevereiro de 2022.

Documento assinado eletronicamente por:

- Thiago Augusto Mendes, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/02/2022 10:34:28.
- Douglas Pereira da Silva Pitaluga, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/02/2022 10:34:22.
- Matilde Batista Melo, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 08/02/2022 10:31:36.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 08/02/2022. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 243908

Código de Autenticação: a88d0b411e



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás

Rua 75, nº 46, Centro, GOIÂNIA / GO, CEP 74055-110

(62) 3227-2736 (ramal: 2736)

DEDICATÓRIA

A Deus e a toda a minha família, em especial a meus pais, irmãos, a minha amada esposa e nossa querida filha. O exemplo, o companheirismo, a dedicação e o amor de vocês foram fundamentais para a conclusão desta jornada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão deste curso e, de uma maneira especial, agradeço:

Primeiramente, a Deus, pelo dom da vida e pelas graças constantemente concedidas em minha vida.

A meus pais, Luiz Antônio Borges e Luzineide Alves Cavalcante Borges, por sempre me apoiarem, por se desdobrarem para me oferecer a melhor formação e por me ajudarem a crescer como pessoa, me ensinando o que é certo e mostrando-me o caminho a ser seguido.

A minha amada esposa, Lizandra Danielle de Araújo Silva Borges, que ao longo dos últimos 8 anos, esteve ao meu lado em todas as situações, acreditando na minha capacidade, dando-me forças pra prosseguir, e me oferecendo diariamente todo o seu carinho e amor.

Aos meus irmãos, Millena Cavalcante Borges e Miguel Cavalcante Borges, companheiros de uma vida, que me incentivaram e me ajudaram chegar até aqui.

Ao meu orientador professor Douglas Pereira da Silva Pitaluga, pela confiança depositada, pela amizade e pela paciente orientação neste trabalho.

Aos engenheiros Flávio Eduardo Rios e Murilo Telles Alves da Costa e aos arquitetos Marcus Marques Basílio e Frederico Leivino Rabelo, que colaboraram de maneira imprescindível na minha formação.

À Hidrante Engenharia, que durante sete anos, desde o estágio como Técnico em Edificações, me ofereceu a base de conhecimento em projetos hidrossanitários.

À M2B Projetos e Consultoria, em conjunto com o grupo multidisciplinar BIM Connect, que no ano de 2021 confiaram em meu trabalho oferecendo-me uma excelente oportunidade de crescimento profissional.

À Universidade Federal de Goiás, onde realizei os três primeiros anos de minha formação acadêmica.

Ao Instituto Federal de Goiás, que desde o ensino médio esteve presente em minha vida e que agora, me acolheu novamente, para a conclusão do curso em Engenharia Civil.

Aos colegas de curso, de ambas as instituições, que me ajudaram em tantos momentos, compartilhando dificuldades, auxiliando mutuamente no aprendizado e no crescimento como profissional e como pessoa.

A todos os professores, por todo o empenho dedicado em transmitir o conhecimento, pelas correções e ensinamentos que me permitiram evoluir.

A todos os meus familiares e amigos, avós, padrinhos, tios, primos, sogros e cunhados, que acreditaram junto a mim que esse sonho seria possível.

Enfim, agradeço a todos àqueles que fazem parte da minha vida e que de formas variadas contribuíram na minha formação.

Por fim, dedico à minha filha, Helena, que nasceu durante a elaboração deste TCC e que veio alegrar ainda mais as nossas vidas. E ao meu segundo filho, que foi revelado por minha esposa logo após a defesa pública deste trabalho, trazendo à nossa família um grande júbilo na expectativa por sua chegada.

EPÍGRAFE

*“Cumpre o pequeno dever de cada momento;
faz o que deves e está no que fazes.”
(São Josemaría Escrivá)*

RESUMO

ANÁLISE DO SISTEMA PREDIAL DE ÁGUA FRIA VISANDO O APROVEITAMENTO DA ENERGIA DISSIPADA NA VRP

AUTOR: Matheus Cavalcante Borges

ORIENTADOR: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga

O presente trabalho tem como objetivo trazer uma análise do sistema predial de água fria de um edifício residencial de múltiplos pavimentos no intuito de aproveitar a energia dissipada nas válvulas redutoras de pressão (VRPs). Estas válvulas são dispositivos hidráulicos de controle de pressão a jusante aplicado em sistemas que apresentam pressão maior que 40 mca., limite estabelecido pela ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020). O processo de verticalização das residências provocou a construção de edifícios cada vez mais altos, desse modo, para preservar a integridade do sistema de tubulações e gerar conforto ao usuário nos pontos de consumo, se faz necessário a instalação dessas válvulas ao longo das colunas de distribuição de água fria. No entanto, do ponto de vista energético, as VRPs dissipam energia de pressão ao adicionarem ao sistema uma perda localizada. Essa perda de energia contradiz com os preceitos pertinentes de uso racional de recursos naturais. Dessa forma, essa energia que atualmente é dissipada pode ser utilizada no acionamento de equipamentos de transformação de energia, que acoplados a um gerador, poderão transformá-la em energia elétrica, ocasionando a redução dos custos de geração e contribuindo para a minimização dos impactos ambientais gerados por este desperdício de recursos. A produção de energia em sistemas de transporte de água são soluções economicamente viáveis visto que se aproveita de um sistema já executado e em pleno funcionamento, com vazão garantida devido à constante distribuição de água nos pontos de consumo da edificação, e uma fonte de energia renovável, limpa e sem impactos ambientais. A análise do sistema predial de água fria visa compreender, estimar e propor uma forma de geração de energia complementar ao sistema existente, tornando o empreendimento mais eficiente por recuperar e utilizar uma energia que anteriormente estava sendo perdida nas tubulações prediais, ou seja, deixando de ser aproveitada. Neste trabalho foi analisado um edifício residencial de 32 pavimentos, com uma altura de 79,55 m. Para este empreendimento foram consideradas duas estações redutoras de pressão (ERPs), uma no 15º pavimento e a outra no 6º pavimento. Em função da avaliação realizada, considerando a pressão e vazão a montante da ERP, estimou-se que a quantidade de energia passível de ser aproveitada no condomínio é de 488,27 kWh/mês, o que representa o fornecimento de energia elétrica para 62 lâmpadas fluorescentes de 32 W presentes nas áreas comuns do condomínio. Apesar da dificuldade em se viabilizar economicamente, o estudo mostra que o sistema é tecnicamente possível de ser implantado e apresenta relevância do ponto de vista social, ambiental e científico.

Palavras-chave: Potencial hidráulico predial. Instalações hidráulicas prediais. Sistema predial de água fria. Válvula redutora de pressão. Microgeração de energia elétrica.

ABSTRACT

ANALYSIS OF THE WATER BUILDING SYSTEM AIMING THE USE OF DISSIPATED ENERGY IN PRV

AUTHOR: Matheus Cavalcante Borges
ADVISOR: Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga

The present article aims to bring an analysis of the water building system of a residential building with multiple floors in order to take advantage of the energy dissipated in the pressure reducing valves (PRVs). These valves are hydraulic devices that downstream pressure control applied in systems that have a pressure higher than 40 mca, limit established by ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020). The process of residential verticalization has led to the construction of increasingly taller buildings, in this way, to preserve the integrity of the piping system and generate comfort to the users at the consumption points, it is necessary to install these valves along the distribution columns of water. However, from an energy point of view, PRVs dissipate pressure energy by adding a localized loss to the system. This loss of energy contradicts the pertinent precepts of rational use of natural resources. In this way, this energy that is currently dissipated can be used to turn on the equipment of energy transformation, which when is attached to a generator, can transform it into electrical energy, causing the reduction of generation costs and contributing to the minimization of the environmental impacts generated by this waste of resources. The production of energy in water transport systems are economically viable solutions since it takes advantage of a system already executed and in full operation, with guaranteed flow due to the constant distribution of water at the points of consumption of the building, and a source of renewable energy, clean and without environmental impacts. The analysis of the water building system aims to understand, estimate and propose a form to generate complementary energy to the already exist system, making the enterprise more efficient by having recovered and used an energy that was previously being lost in the building pipelines, that is, no longer being used. In this work, a 32-story residential building with 79.55 meters high was analyzed. To this enterprise were considered two Pressure Reducing Stations (PRSs), one on the 15th floor and the other on the 6th floor. Base on the evaluation carried out, considering the pressure and flow upstream of the PRS, it was estimated that the amount of energy that can be used in the condominium is 488.27 kWh/month, which represents the supply of electrical energy for 62 fluorescent lamps of 32 W that are in the common areas of the condominium. Despite the difficulty in becoming economically viable, the study shows that the system is technically possible to be implemented and have relevance from a social, environmental and scientific point of view.

Keywords: Building hydraulic potential. Building hydraulic installations. Building water system. Pressure reducing valve. Microgeneration of electrical energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista aérea de Goiânia apresentando a verticalização na cidade.....	24
Figura 2 – Órion Business & Health Complex (à esquerda) e Kingdom Park Residence (à direita)	27
Figura 3 – Geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas	30
Figura 4 – Equipamento desenvolvido pela <i>startup</i> Lucid Energy	31
Figura 5 – Abastecimento de água fria em edificações através da rede pública	33
Figura 6 – Sistema de distribuição direta	34
Figura 7 – Sistema de distribuição indireto RI-RS (reservatório inferior – reservatório superior)	35
Figura 8 – Sistema de distribuição mista	36
Figura 9 – Reservatório inferior e casa de bombas	37
Figura 10 – Vista de barrilete em reservatório superior	38
Figura 11 – Válvulas redutoras de pressão	40
Figura 12 – Modo genérico de funcionamento de uma VRP do tipo convencional	41
Figura 13 – Válvula Redutora de Pressão de ação direta	43
Figura 14 – Princípio de funcionamento da VRP de ação direta	43
Figura 15 – Funcionamento da VRP de ação direta sem consumo	44
Figura 16 – Válvula Redutora de Pressão pilotada	45
Figura 17 – Funcionamento da VRP pilotada	46
Figura 18 – Funcionamento da VRP proporcional	47
Figura 19 – Instalação horizontal da Válvula Redutora de Pressão	47
Figura 20 – Instalação vertical da Válvula Redutora de Pressão	48
Figura 21 – Componentes utilizados na estação redutora de pressão – padrão PVC	49
Figura 22 – Desenho esquemático de uma turbina Pelton	51
Figura 23 – Desenho esquemático de uma turbina Banki	52
Figura 24 – Desenho esquemático de uma turbina Francis vertical	53
Figura 25 – Desenho esquemático de uma turbina Kaplan vertical	53
Figura 26 – Gráfico para seleção de turbinas para CMH.....	55
Figura 27 – Fluxograma metodológico da monografia	58
Figura 28 – Fachada do empreendimento estudado	59
Figura 29 – Planta baixa de arquitetura do Pavimento Tipo no “Empreendimento A”	60
Figura 30 – Casa de bombas no Subsolo 2 com a elevatória de água potável ...	65
Figura 31 – Placa de identificação do motor	67
Figura 32 – Conjunto de motobombas instalada no ambiente “Casa de Bombas” e detalhe em projeto do Conjunto Motor Bomba (Água Potável)	68
Figura 33 – Esquemático das prumadas de água fria do “Empreendimento A” ...	69
Figura 34 – Ambiente do Barrilete no “Empreendimento A”	70

Figura 35 – Detalhes das Estações Redutoras de Pressão (ERP) em projeto hidrossanitário	71
Figura 36 – ERP no 6º Pavimento Tipo (esquerda) e no 15º Pavimento Tipo (direita)	71
Figura 37 – Manômetro antes (esquerda) e depois (direita) da VRP no 15º Pavimento	72
Figura 38 – Cavalete padrão "E" – Ø2"- Hidrômetro 50mm ou 2" – Tipo Woltmann	77
Figura 39 – Modelo de bomba selecionado para a elevatória de água	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classificação das edificações quanto a ocupação ou uso.....	62
Quadro 2 – Aplicabilidade dos tipos de sistemas e volume de reserva de incêndio mínima	62
Quadro 3 – Dimensões do tubo PVC (Cloreto de Polivinila, cor marrom)	64
Quadro 4 – Seleção de bombas a partir da curva característica no catálogo da Schneider	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Principais características das turbinas fabricadas no Brasil	50
Tabela 2	– Dimensionamento de hidrômetros conforme consumo médio mensal	63
Tabela 3	– Dimensões do tubo PBS (Ponta Bolsa Solda)	66
Tabela 4	– Altura Manométrica Total para escolha da bomba	79
Tabela 5	– Dados para escolha das bombas de recalque	79
Tabela 6	– Estimativa da energia gerada nas turbinas	80

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
APTO(S)	Apartamento(s)
CA	Corrente Alternada
CBM-GO	Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás
CC	Corrente Contínua
CMH	Central Mini Hidrelétrica
CTBUH	Conselho de Edifícios Altos e Habitat Urbano
EJ	Exajoules
ERP	Estação Redutora de Pressão
IFG	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
MCA	Metros de coluna d'água
NBR	Norma Técnica Brasileira da ABNT
NT	Norma Técnica do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás
RI	Reservatório inferior
RPM	Rotações por minuto
RS	Reservatório superior
RTI	Reserva Técnica de Incêndio
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
VRP	Válvula Redutora de Pressão
2Q	2 quartos
3Q	3 quartos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	19
1.1	Justificativa	20
1.2	Objetivos	21
1.2.1	Objetivo geral	21
1.2.2	Objetivos específicos	22
2	REVISÃO DA LITERATURA	23
2.1	Processo de verticalização das cidades	23
2.2	Construção de prédios altos no Brasil	25
2.3	Consumo de energia no setor predial	27
2.4	Aproveitamento de energias renováveis disponíveis	28
2.5	Energia hidráulica	29
2.6	Sistema predial de água fria	32
2.6.1	Sistema de abastecimento	33
2.6.2	Sistema de distribuição	34
2.6.3	Reservatório de água fria	36
2.6.4	Sistema de recalque	37
2.6.5	Rede de distribuição de água fria	38
2.7	Pressão estática máxima no sistema de distribuição conforme NBR ABNT 5626:2020	38
2.8	Válvulas Redutoras de Pressão	40
2.8.1	Considerações da ABNT NBR 5626:2020 sobre as válvulas redutoras de pressão	40
2.8.2	Funcionamento da VRP	41
2.8.3	Problemas na ausência ou na ineficiência das VRPs	42
2.8.4	Tipos de Válvulas Redutoras de Pressão	42
2.8.4.1	Válvula redutora de pressão de ação direta	42
2.8.4.2	Válvula redutora de pressão pilotada	44
2.8.4.3	Válvula redutora de pressão de proporcional	46
2.8.5	Instalação da VRP	47
2.8.6	Elementos na estação redutora de pressão predial	48
2.9	Máquinas Hidráulicas e Microgeração de Energia Elétrica	49
2.9.1	Tipos de turbinas hidráulicas	50
2.9.1.1	Turbina Pelton	51
2.9.1.2	Turbina Michell-Banki	51
2.9.1.3	Turbina Francis	52
2.9.1.4	Turbina Kaplan	53
2.9.2	Escolha da turbina	54
2.9.3	Geradores	55
2.9.3.1	Gerador CC	56
2.9.3.2	Gerador CA	56
3	METODOLOGIA	58
3.1	Escolha do edifício	59
3.2	Estudo do projeto do sistema predial de água fria	60
3.3	Análise da viabilidade do projeto	73
3.4	Escolha dos equipamentos de geração de energia	73
3.5	Posicionamento e procedimentos de instalação das turbinas	73
3.6	Quantificação da energia passível de ser aproveitada no condomínio	74

3.7	Definição do destino final da energia gerada	75
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	76
5	CONCLUSÃO	83
6	REFERÊNCIAS	84

1. INTRODUÇÃO

Quando se fala em água, pode-se dizer que esse é um dos elementos da natureza que tem fundamental importância para os seres vivos. A água é um recurso natural que vai além da sua função elementar, pois está inserida em todos os aspectos da vida humana e sem ela seríamos incapazes de sobreviver, visto que ela é a fonte principal de todos os hábitos e processos realizados pelas sociedades (SOUZA, 2015).

Sendo assim, além do seu primordial uso no abastecimento das residências e edifícios, a água há milênios é utilizada para a geração de energia. O potencial hidráulico era aproveitado para a movimentação dos moinhos de trituração do trigo, em processos de serragem da madeira, em moinhos de confecção de produtos de manufatura. No entanto, foi a partir do século XVIII, que estudos mais sistematizados foram desenvolvidos para a conversão de energia advinda de fontes hidráulicas (JÚNIOR; BARBOSA, 2017).

De acordo com os autores Bonow, Ibañez e Neto (2014), com a origem da Revolução Industrial, a energia tornou-se de suma importância para a sociedade, pois conforme as indústrias iam crescendo e se desenvolvendo tecnologicamente, consequentemente, aumentava a sua demanda. Os grandes avanços nos setores fabris eram impulsionados pelo avanço na geração de energia. Nesse advento evolucionário, ao passo que as tecnologias progrediam também era maior a necessidade por fontes energéticas que atendessem ao consumo vigente.

Os autores Bonow, Ibañez e Neto (2014) acrescentam que tal cenário provocou uma exaustão das fontes de energia disponíveis, cujo a qual gerou grandes movimentos de busca por modos operantes que viessem a ocasionar menores impactos no meio ambiente. Deste modo, a criação de novos processos de conversão energética no atual cenário das grandes cidades é primordial, pois descentraliza a produção e expande a oferta de energia, aproveitando-se de potenciais energéticos que anteriormente eram desperdiçados. Esse panorama pode ser visto também nas instalações prediais hidrossanitárias de um edifício.

Na concepção do sistema predial de água fria, em atendimento a norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020), prédios de altura elevada que possuem pressões estáticas superiores a 40 mca requerem o controle desta pressão. Esse controle é realizado pelas válvulas redutoras de pressão (VRPs). No entanto, as VRPs

dissipam energia de pressão d'água ao propiciar a perda de carga localizada. Do ponto de vista ambiental, esse processo não é bem-visto, pois vai na contramão das medidas de uso racional dos recursos disponíveis (SILVA, 2019).

O sistema predial de água fria, utiliza-se de bombas de recalque para transportar a água do reservatório inferior para o reservatório superior. Após a reservação de água, ela é distribuída ao longo da rede de tubulações, na maior parte por gravidade. No entanto, para não superar os limites de pressão, ocorre a dissipação da energia hidráulica através destas válvulas (VRPs). É importante salientar que pressões estáticas acima de 40 mca, valor estabelecido em norma, podem ocasionar ruídos, golpe de aríete e manutenção constante nas instalações (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Desta forma, a energia hidráulica que é desperdiçada pode ser aproveitada como energia elétrica para a própria edificação, por meio da instalação de geradores/turbinas que realizariam essa conversão, contribuindo para a minimização dos impactos ambientais advindos desse desperdício (VENTURI, 2011).

1.1 Justificativas

Em uma sociedade cada vez mais concentrada nos centros urbanos, desafiada pela necessidade de habitação para toda a população, a verticalização das edificações é um processo que vem evoluindo ao longo dos anos. A construção de edifícios residenciais de múltiplos pavimentos, com alturas superiores a 100 metros tem se tornado comum. Dentre as diversas instalações prediais que devem ser projetadas e executadas para o bem-estar dos moradores, tem-se o abastecimento de água, função que tem grande relevância na edificação.

No entanto, para realizar o fornecimento de água para o sistema predial, dispõe-se da utilização de bombas elevatórias que realizam o transporte de água entre reservatórios, sendo que estas demandam de um razoável consumo de energia. Após a reservação, por meio de prumadas de distribuição, a água é conduzida até os pontos de consumo nos apartamentos.

Para o sistema de distribuição de água fria, a norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020) recomenda que não se ultrapasse a pressão estática de 40 mca., ou seja, a diferença de altura da tubulação em trabalho não deve ser superior a 40 metros. Quando o sistema é submetido a pressões que excedem a este limite, as tubulações

e as conexões que a compõem estão sujeitas ao risco de ruptura ou degradação.

Como os novos empreendimentos em construção estão cada vez mais altos é recorrente a previsão de se instalar VRPs nas prumadas, pois estes equipamentos reduzem a pressão e permitem que a água não alcance pressões que ultrapassem o limite estabelecido em norma.

Então, pode-se refletir e concluir que primeiro gasta-se energia para recalcar a água e em sequência, haverá dispositivos que dissipam essa energia. Logo, há uma contradição com a realidade atual do planeta, onde os recursos naturais estão cada vez mais escassos. Os sistemas vigentes de geração de energia estão chegando em seu limite, sendo assim, será essencial o desenvolvimento de novas formas de produção da energia que são usadas constantemente em nosso cotidiano. O surgimento de energias limpas e renováveis se torna uma necessidade imprescindível para a sobrevivência e avanço da humanidade.

Frente ao exposto, nota-se que a presente pesquisa apresenta relevância social, ambiental e científica. O desperdício dos recursos ambientais é tido como uma problemática de política pública, que deve ser submetida a mecanismos de utilização racionalizada dos subsídios naturais. Nesse viés, devem ser incentivadas e apoiadas as iniciativas que visam o fortalecimento de novas práticas de geração de energia que consideram o desenvolvimento de consciência ecológica, a partir de diferentes funções, bem como instrumentos, metas e tarefas que possam e devam ser utilizados no Poder Público e pelo setor privado, de forma integrada, preventiva e precaucional (LEITE; PEREIRA; LEITE, 2013).

Por se tratar de um aproveitamento energético, essa proposta de pesquisa é proeminente, tendo em vista a importância de sustentabilidade de recursos. Desta forma, o estudo justifica-se pela necessidade de evolução tecnológica na proposição de novas formas de geração de energia, aproveitando energias já existentes e que são dissipadas no sistema predial de água fria, reduzindo assim a utilização de outras fontes de energia que provocam impactos ambientais.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo deste trabalho consiste em analisar o sistema predial de água fria

de um edifício residencial de múltiplos pavimentos executado e habitado, avaliando a possibilidade da instalação de um sistema de microgeração de energia a partir do potencial energético dissipado na Válvula Redutora de Pressão (VRP), visando o seu aproveitamento na própria edificação.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinar a energia gasta no empreendimento com o recalque de água por meio de bombas;
- Quantificar a energia dissipada pela VRP da edificação, a qual pode ser usada como fonte alternativa de energia;
- Estimar a energia passível de ser aproveitada no condomínio;
- Apresentar uma proposta de implementação de um sistema visando o aproveitamento da energia dissipada na VRP.
- Avaliar a compensação econômica e ambiental com a implantação do sistema.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Considerando a problemática analisada e a hipótese levantada, busca-se compreender o contexto em que o aproveitamento da energia dissipada em uma válvula redutora de pressão está inserida.

Deste modo, o presente capítulo far-se-á uma breve fundamentação teórica a qual irá abordar o processo de verticalização das cidades, a construção de prédios altos no Brasil, o consumo de energia no setor predial, o aproveitamento de energias renováveis disponíveis, a energia hidráulica, o sistema predial de água fria, a pressão estática máxima estabelecida em norma, as válvulas redutoras de pressão e as máquinas hidráulicas para microgeração de energia elétrica.

Nesse viés, o conjunto de conhecimentos serão elencados na construção de um modelo de pesquisa, nas suas metodologias e métodos, fornecendo parâmetros para a análise dos resultados e contribuindo no desenvolvimento da conclusão do estudo, com o intuito de melhor alicerçar as delimitações deste tema preconizado.

2.1 Processo de verticalização das cidades

O processo de verticalização das cidades consiste na ocupação do solo urbano, o qual é caracterizado pela existência de edificações que em uma determinada área consegue agregar uma área construída consideravelmente maior que a área do terreno, através de múltiplos pavimentos. Esse movimento ocorre da necessidade de se aproveitar melhor os espaços urbanos, concentrando em uma pequena área, um número cada vez maior de moradores/usuários do empreendimento, fruto da consolidação da cidade moderna e dos conceitos atuais de organização espacial. Impulsionado pelo desenvolvimento da construção civil, principalmente com a tecnologia do concreto armado e dos conceitos de arquitetura moderna, nas últimas décadas, percebe-se uma mudança considerável na paisagem urbana (BENEVOLO, 2001).

De acordo com Souza (1994), o histórico da verticalização no Brasil se dá em paralelo com a história da indústria da construção civil, devido sobretudo às descobertas de novos materiais que permitiram a construção de edifícios cada vez maiores e complexos. Até o final do século XIX, as construções eram limitadas pelos materiais e técnicas disponíveis na época. No entanto, o aprimoramento de toda a

cadeia produtiva da engenharia implicou tanto numa alteração nas relações trabalhistas como no rearranjo intenso das práticas de arquitetura, principalmente no que tange à nova esquematização de aproveitamento dos terrenos. Assim, com o uso de novas tecnologias e com maiores gastos na construção, buscava-se o aumento do conforto, a melhoria na qualidade e aplicação dos melhores materiais.

A opção de verticalizar as edificações surgiu através de acontecimentos no final do século XIX, onde o desenvolvimento da indústria e o uso do aço na construção civil, permitiram aos profissionais de arquitetura e de engenharia, realizarem a experimentação de novos materiais e técnicas construtivas, as quais até então não haviam sido utilizadas (CYSNEIROS, 2014).

Como pode-se observar na Figura 1, as grandes construções espalhadas pela cidade de Goiânia, apresentando sua verticalização.

Figura 1 – Vista aérea de Goiânia apresentando a verticalização na cidade.



Fonte: A redação, 2019.

De acordo com o autor Cano (2007), foi a partir da década de 1930 que a industrialização brasileira impulsionou o desenvolvimento da construção civil em âmbito nacional, pois o processo de importação de materiais era moroso e caro. Com a produção nacional, incrementou-se no mercado interno o fornecimento de recursos que suprissem as necessidades das construtoras. Outro fator que facilitou a

modificação nos padrões construtivos é o processo de urbanização e acelerado crescimento das cidades.

Com a alteração nos padrões produtivos, econômicos e de consumo brasileiro, ocorreu a transição de uma matriz majoritariamente agrária para uma matriz industrial, onde as cidades brasileiras receberam um contingente populacional considerável que gerou, por consequência, o crescimento das periferias, uma vez que os migrantes - na sua maioria provenientes do interior dos estados - não conseguiram se estabelecer com dignidade no incipiente espaço urbano brasileiro que encontraram, fora a inexistência de políticas habitacionais abrangentes para esta população que perduram até os dias atuais (CASSIANO DE ARAÚJO, 2009).

Todos estes fatores anteriormente mencionados contribuíram diretamente para a consolidação de que os espaços em concordância com o que há de moderno são os espaços verticalizados. Sabe-se que o Brasil é um país com grande potencial de crescimento econômico e por consequência, ambiente propício para a construção de grandes edificações. A existência de grandes metrópoles no território brasileiro, caracterizadas pela intensidade de suas atividades econômicas, implica numa constante demanda pela construção de edifícios de múltiplos pavimentos, tanto residenciais, como comerciais e corporativos.

2.2 Construção de prédios altos no Brasil

O crescimento vertical das edificações marcou o processo de urbanização ao longo do século XX, onde não era visado apenas a otimização dos investimentos imobiliários, mas também a representação simbólica da modernização urbana, através da imagem do "arranha-céu" que transmitia a percepção do progresso da cidade e de sua inserção no contexto internacional (SOMEKH, 1997).

A construção de edifícios altos é verificada em inúmeras cidades em distintos países, fazendo com que tais edificações modifiquem a paisagem e a organização destas cidades. Desde então, os edifícios altos têm sido objeto de diversos estudos, focados principalmente nos aspectos construtivos e nos impactos que estão atrelados ao seu surgimento e expansão (SCUSSEL; SATTLER, 2010).

Os edifícios altos foram difundidos pela possibilidade de concentrar a população em áreas centrais das cidades, tornando as cidades mais acessíveis e possibilitando atender a demanda por apartamentos e escritórios, devido ao

aumento da densidade populacional (TURRER, 2012).

O Conselho de Edifícios Altos e Habitat Urbano (CTBUH) desenvolveu os padrões internacionais para medir e definir edifícios altos, e é reconhecido como o árbitro para conceder designações como "Edifício Mais Alto do Mundo". Esses padrões também fornecem a base da principal fonte mundial de informações precisas e confiáveis sobre dados de edifícios altos, o The Skyscraper Center.

Não há uma definição absoluta do que constitui um "prédio alto"; a definição é subjetiva, considerada em relação a uma ou mais categorias. De tal modo, para avaliação dos prédios, a CTBUH utiliza os critérios de altura relativa ao contexto, a sua proporção e o uso de tecnologias. Se um edifício pode ser considerado subjetivamente relevante para uma ou mais dessas categorias, ele pode ser considerado um edifício alto.

Embora o número de andares seja um mau indicador de definição de um edifício alto devido à alteração da altura do andar a andar entre diferentes edifícios e funções (por exemplo, escritório versus uso residencial), um edifício de 14 ou mais andares - ou mais de 50 metros de altura - normalmente pode ser usado como uma soleira para um "prédio alto".

Edifícios altos que alcançam alturas significativas são classificados em dois subgrupos adicionais: um prédio "super alto" é um edifício alto de 300 metros ou mais alto, e um "mega alto" é um edifício alto de 600 metros ou mais alto. Atualmente, em todo o mundo, existem 173 prédios "super altos" e apenas 3 prédios "mega altos" concluídos (CTBUH, 2021).

A elaboração e execução de prédios com altura superior a 50 metros, tem se tornado cada vez mais comum em todo o Brasil. Em Goiânia, essa tendência não foi diferente e as construtoras e incorporadoras goianas tem investido cada vez mais em lançamentos deste tipo, os chamados arranha-céu.

Para ilustrar esse cenário, existem construções recentemente inauguradas na capital goiana. Em 2018 foi entregue o Órion Business & Health Complex (Figura 2), empreendimento composto por hospital, torre comercial, hotel e shopping, que momentaneamente foi o prédio mais alto do Brasil e que ainda ostenta o título de maior prédio em Goiânia, com seus 191,5 m de altura (CTBUH, 2021).

Outro exemplo, é o Kingdom Park Residence (Figura 2), edifício residencial inaugurado em 2019, com uma altura de 180,7 m, é o segundo prédio mais alto de Goiânia (CTBUH, 2021).

Figura 2 – Órion Business & Health Complex (à esquerda) e Kingdom Park Residence (à direita), ambos em Goiânia-GO.



Fonte: Órion Complex; Kingdom Park Residence, 2021.

2.3 Consumo de energia no setor predial

Entre 1971 e 2002 houve um crescimento significativo do consumo global de energia primária na construção, uma média de 2,2% ao ano. A energia usada para fornecer aquecimento, refrigeração, iluminação e outros cresceu de 86 para 165 EJ neste período (Price et al., 2006).

Pode-se destacar os países em desenvolvimento que, nos últimos 30 anos, tiveram um aumento no consumo de energia consideravelmente mais rápido que em países industrializados, o primeiro com 2,9 % e o segundo com 1,4%. De todo o consumo primário, 38% é utilizado para fornecer energia em edifícios, dos quais os prédios comerciais exigiram uma maior demanda, crescendo até 50% mais rapidamente do que para prédios residenciais (INTERACADEMY COUNCIL, 2007).

Segundo a InterAcademy Council (2007), essa demanda se dá em decorrência da rápida urbanização (que tem acontecido especialmente nos países em desenvolvimento), do crescimento populacional (que ocorre de forma predominante em áreas urbanas), da adição de equipamentos que utilizam novas energias, das características construtivas, das condições climáticas e de fatores comportamentais.

A InterAcademy Council (2007) diz ainda que crescimento significativo da população gera uma maior demanda de acomodação que por sua vez criam novas demandas de energia utilizada para iluminação, equipamentos e sistemas de aquecimento e refrigeração. Esse crescimento populacional traz também como consequência mudanças na estrutura da economia, assim como a expansão do setor de serviços, gerando assim um aumento no número de edifícios comerciais.

De acordo com a InterAcademy Council (2007), para garantir uma maior eficiência e otimização da energia de edifícios, o ideal é que haja uma integração de todos os agentes desse setor: arquitetura, projeto, construção, sistemas construtivos e materiais. Quando esse cuidado é feito desde a fundação do edifício, é possível chegar a melhores resultados. Pensando nisso, seria de grande ajuda a implementação de políticas diferenciadas que visem os novos empreendimentos, auxiliando, assim, nessa eficiência e otimização energética nas regiões/países onde há um rápido crescimento na construção de edifícios.

Para uma maior transformação dos edifícios em diferentes realidades, faz-se necessário o uso de tecnologias, habilidades humanas, incentivos financeiros e exigências regulatórias visando alcançar oportunidades de eficiência tanto em estruturas novas, quanto nas já existentes. Em países que o número de edifícios existentes é muito maior do que o número de novos edifícios a cada ano, as políticas diferenciadas podem auxiliar na obtenção de oportunidades de adaptação custo-efetivas (INTERACADEMY COUNCIL, 2007).

2.4 Aproveitamento de energias renováveis disponíveis

As atividades humanas têm causado enormes danos aos sistemas ambientais, desencadeando uma série de novos desafios que exigem novos padrões de comportamento no que diz respeito ao uso da energia. O progresso tecnológico trouxe grandes facilidades, mas junto com ele, além dos problemas ambientais, em algumas regiões houve o aumento da desigualdade social, e por consequência, novas ameaças à segurança (INTERACADEMY COUNCIL, 2007).

Ao longo dos anos, aumenta-se a necessidade real de mudar a forma como a humanidade lida com a energia. O uso sustentável da mesma visa reduzir os riscos à saúde pública, minimizar a sobrecarga sobre os sistemas naturais e gerenciar de maneira mais eficiente os riscos proporcionados pelas mudanças climáticas.

As preocupações com a segurança energética têm estado na vanguarda das agendas políticas nacionais e internacionais. Incentivar o desenvolvimento de alternativas às fontes de energia convencionais com fontes de energia sustentáveis pode contribuir na resolução desses entraves. Além do problema ambiental, o acesso à energia limpa e acessível, pode impactar também na redução das tensões geopolíticas geradas pela disputa de reservas naturais (gás e petróleo), facilitando o acesso de populações mais carentes às fontes de energia, que por consequência, estimularia o aumento das oportunidades educacionais e na diminuição os riscos à saúde, causada muitas vezes pelo incorreto gerenciamento de resíduos.

Todas as áreas que a sustentabilidade ou a falta dela afeta, sejam elas sociais, econômicas e ambientais, dependem especialmente da energia. Portanto, encontrar maneiras de produzir e usar energia limpa deve ser uma das principais questões políticas enfrentadas por todos os governos. A busca por fontes renováveis de energia é de essencial importância. O desenvolvimento econômico mais sustentável passou a ser uma preocupação mundial, visto que as fontes não renováveis são de alto custo e tem apresentado dificuldade na sua obtenção.

Exemplos de fontes de energia renováveis são energia solar, eólica, do mar e geotérmica. Elas originam-se de ciclos naturais dos quais a fonte primária é abundantemente disponível na Terra, de forma praticamente inesgotável, sem alterar o balanço térmico do planeta (PACHECO, 2006).

O desenvolvimento das nações tem causado grandes danos ao meio ambiente, tornando imperativa a compreensão global da dicotomia que envolve o desenvolvimento versus meio ambiente. A questão econômica não pode ser vista sob uma perspectiva exata e isolada. O desenvolvimento sustentável tem surgido como um novo modelo ecologicamente estruturado, que busca uma relação harmônica entre essas duas questões, ao considerar os problemas ambientais dentro de um processo de planejamento contínuo que garantirá uma gestão mais racional dos recursos naturais (LIMA, 2012).

2.5 Energia hidráulica

De acordo com a física, o conceito de energia é definido como a capacidade de produzir trabalho. Conforme a relação com o objeto de análise, essa definição pode ser mais abrangente, sendo também considerada como fator de produção, que

é um importante insumo para promover o desenvolvimento econômico nacional (KAEHLER, 2000). Geralmente, a energia hidrelétrica é produzida a partir de turbinas que recebem o fluxo de água corrente. O gerador converte a energia cinética do movimento da turbina em eletricidade (MORAIS, 2015).

A quantidade de energia que pode ser extraída de um corpo d'água depende da altura da queda da usina (diferença entre o nível do reservatório e o nível do rio a jusante) e da vazão das turbinas utilizadas. Diante desses dois fatores principais, pode-se determinar o potencial de geração de energia do projeto, o tipo de turbinas utilizadas, além do tipo de barragem e do reservatório (ANEEL, 2008).

O aproveitamento do potencial gravitacional da água corrente e de quedas d'água gera a energia hidráulica que nada mais é que a energia cinética das massas d'água. Para a obtenção de eletricidade é comum a associação da energia hidráulica a energia dos fluentes com grandes altitudes (ENERGIA, 2021).

Para compensar as variações sazonais do fluxo de água nos rios, as grandes usinas hidrelétricas (Figura 3) usam barragens e comportas de controle, que podem regular a energia gerada nas turbinas (AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS, 2021).

Devido à ampla disponibilidade, distribuição geográfica, facilidade de operação e custo relativamente baixo, a energia hidráulica é a fonte de energia mais utilizada. Seu uso foi consolidado no século XX com a crescente industrialização que exigiu uma grande demanda energética para a operação de máquinas, bem como a crescente urbanização que aumentou o consumo de energia para iluminação, climatização e uso de equipamentos eletroeletrônicos (GOLDMEIER, 2013).

Figura 3 – Geração de energia elétrica através de usinas hidrelétricas.



Fonte: Site sustentável, 2021.

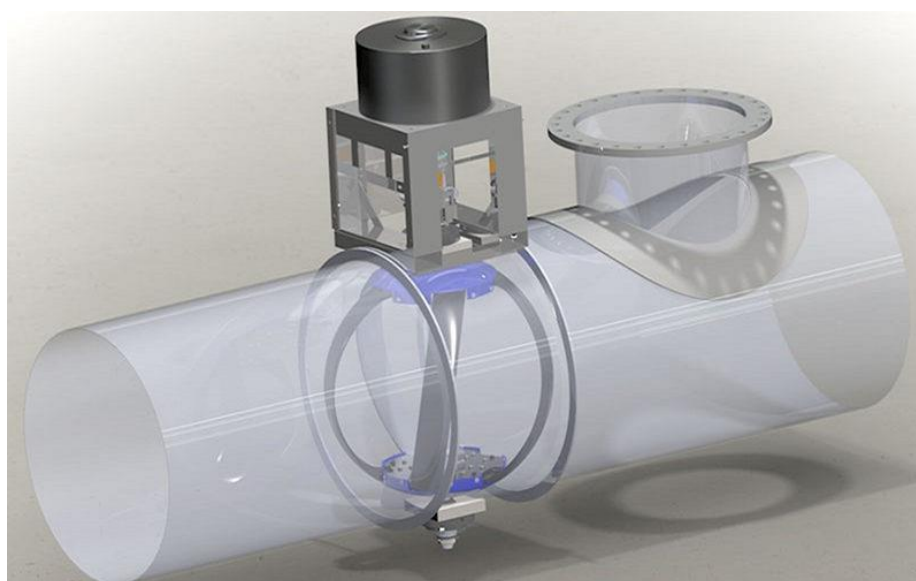
Goldmeier (2013) afirma que se for comparado a maioria das formas de geração de energia, a hidráulica é considerada uma “energia limpa” devido a seus baixos índices de degradação ambiental. No Brasil ainda existe um número significativo de redes hídricas inexploradas. A tendência é que essa seja a fonte energética de preferência devido às suas várias características favoráveis.

No entanto, devido ao grande uso, e muitas vezes de forma inadequada, das reservas de água pra fins energéticos, viu-se ao longo das últimas décadas uma redução gradativa de fontes de água potável no mundo e no Brasil. Com isso, os governos se viram obrigados a tomar medidas na tentativa de reverter o quadro de degradação dessas reservas. Pensando nisso, criou-se uma taxa em que 0,75% do valor gerado e os recursos em sua maioria, devem ser aplicados em projetos ambientais, dando preferência à própria bacia de origem (GOLDMEIER, 2013).

Tornou-se comum o uso de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), usinas de pequena potência, que causam menor impacto ambiental e são mais fáceis de serem introduzidas nas construções já existentes (ENERGIA, 2021).

Em Portland, Oregon (EUA), uma *startup* chamada Lucid Energy, desenvolveu um sistema com grande potencial para um dia estar em todo o país ou até no mundo. O sistema recupera a inexplorada energia que pode ser retirada de tubulações, oleodutos, entre outros, tanto nas cidades quanto nas áreas rurais, de forma limpa e renovável, sem afetar as operações, conforme pode se verificar na Figura 4 (MEIO INFO, 2021).

Figura 4 – Equipamento desenvolvido pela *startup* Lucid Energy.



Fonte: Meio Info, 2021.

O sistema funciona como uma pequena hidrelétrica, que armazena a energia gerada a partir da água corrente que gira pequenas turbinas colocadas dentro das tubulações, que depois é armazenada em um gerador externo (MEIO INFO, 2021).

2.6 Sistema predial de água fria

O abastecimento de água para o consumo humano, em todas as épocas da história, sempre foi uma preocupação para os povos. As civilizações mais remotas se desenvolveram em torno de cursos d'água, pois este é um elemento essencial para a vida humana. Vários documentos históricos registraram ao longo dos séculos, a busca da humanidade por soluções que possibilitassem abastecer de água as sociedades. As obras hidráulicas, como aquedutos, represas, canais, entre outros, são registradas desde a Antiguidade (CREDER, 2017).

Segundo Carvalho Júnior (2013), uma instalação predial de água fria consiste em um conjunto de tubulações, equipamentos, reservatórios e dispositivos destinados a abastecer os pontos de consumo de água da edificação, com quantidade suficiente e mantendo a sua qualidade.

Ilha e Gonçalves (1994) enfatizam que o projeto de sistemas prediais de água fria deve prever a garantia da chegada de água a todos os pontos de consumo de forma contínua, atendendo aos requisitos de disponibilidade, quantidade, qualidade, rastreabilidade e acessibilidade.

Para a norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020), os sistemas prediais de água fria e água quente devem ser projetados para atender aos seguintes requisitos durante a vida útil de projeto:

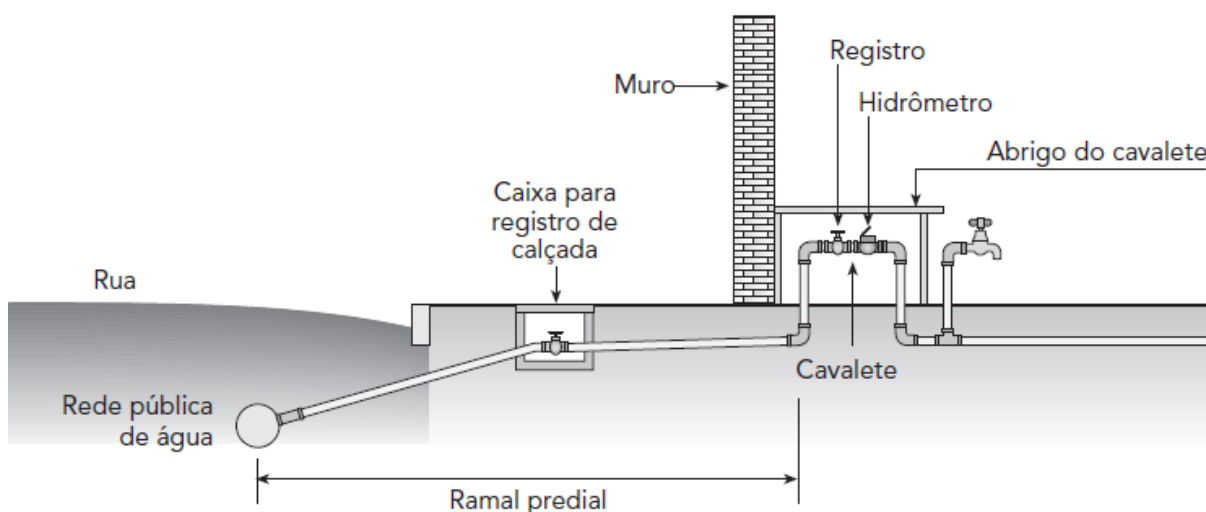
- a) conservar a potabilidade da água potável;
- b) assegurar um abastecimento contínuo de água com volume, pressão e vazão de água adequados ao funcionamento pretendido do aparelho sanitário, peças usadas e outros componentes, e a uma temperatura apropriada à utilização;
- c) considerar o acesso para verificação e manutenção;
- d) prever o zoneamento adequado do sistema de distribuição;
- e) evitar níveis de ruído inadequados ao ambiente;
- f) fornecer ao usuário adequado posicionamento das peças de uso garantindo a fácil operação dos mesmos;
- g) minimizar a ocorrência de anomalias e disfunções;

- h) prever a manutenibilidade do sistema;
- i) proporcionar a equalização de pressões nas redes de água fria e quente a montante dos misturadores convencionais, quando utilizados.

2.6.1 Sistema de abastecimento de água fria

O abastecimento de água fria para as instalações prediais pode ser feito de duas formas: através de uma rede pública de água (Figura 5) ou através de um sistema privado. No primeiro caso, o abastecimento de água da edificação será realizado por meio do ramal predial, executado pela concessionária responsável pelo abastecimento de água, interligando a rede pública de abastecimento de água com as instalações prediais (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Figura 5 – Abastecimento de água fria em edificações através da rede pública.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

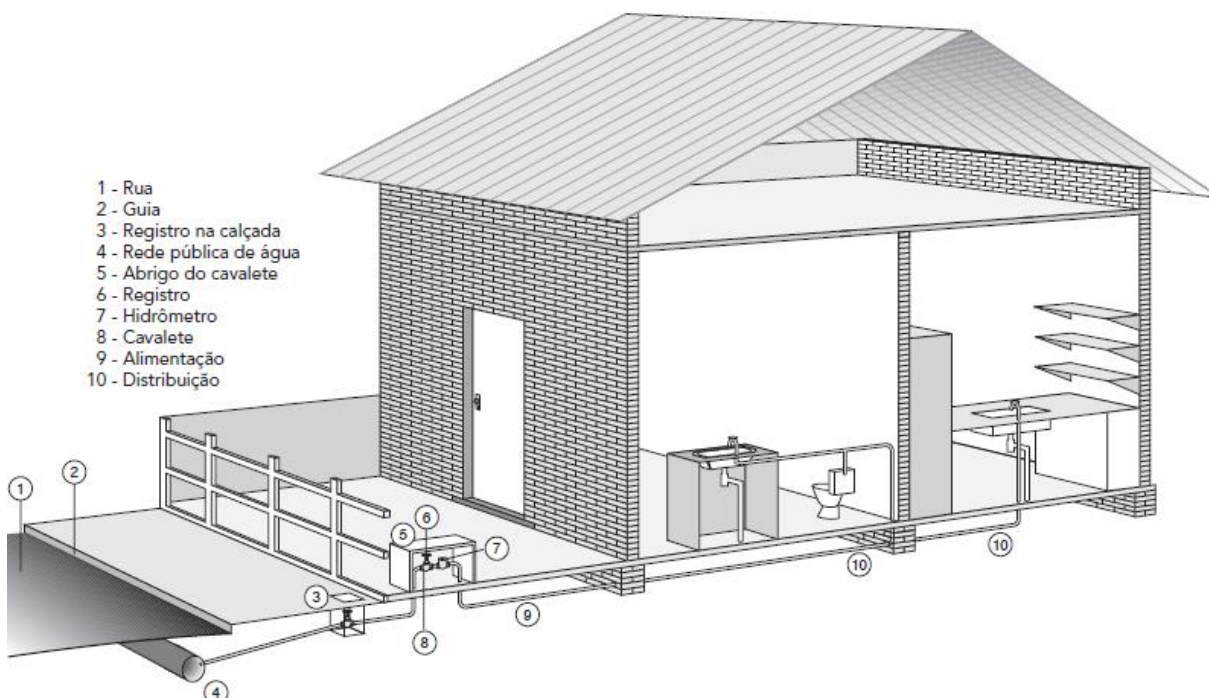
A água é fornecida através de uma ligação predial que engloba o ramal predial e o alimentador predial. O primeiro inclui a extensão entre a rede pública e o aparelho de medição (hidrômetro). Já o segundo abrange a extensão entre o hidrômetro e a primeira derivação, ou até a válvula de boia na entrada do reservatório (ILHA; GONÇALVES, 1994).

2.6.2 Sistema de distribuição de água fria

Venturini (2011) aponta a existência de dois sistemas que abastecem a rede predial de distribuição: direto e indireto. O sistema misto, como o próprio nome diz, é a mistura de ambos. As características próprias de cada edificação exigem uma análise individualizada do sistema de abastecimento, pois cada uma delas possui pontos negativos e positivos que devem ser levados em consideração na escolha de uma instalação.

Em um sistema de distribuição direta (Figura 6), a rede de distribuição do edifício é alimentada diretamente pela rede pública de abastecimento. Nesse sistema, não há reservatório domiciliar e consequentemente, os pontos de consumo de água são abastecidos diretamente da rede pública, de forma ascendente. A vantagem deste sistema é o baixo custo de instalação, mas se houver algum problema com o abastecimento de água no sistema público, a edificação dependente ficará sem abastecimento.

Figura 6 – Sistema de distribuição direto.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

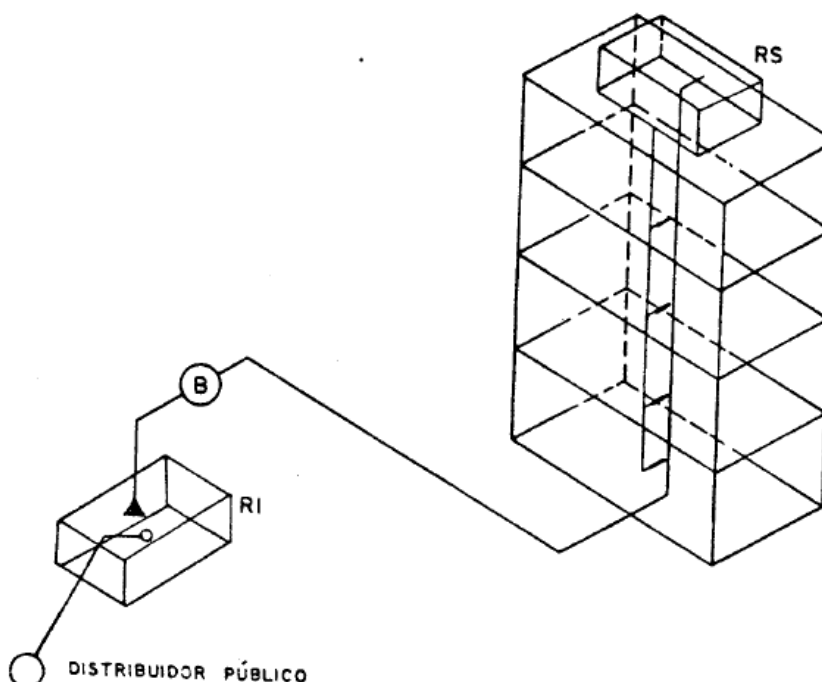
Ilha e Gonçalves (1994) definem que o sistema indireto é aquele em que a rede de distribuição é alimentada por um sistema de abastecimento, através de um

conjunto de suprimento e reservação. No sistema indireto, adotam-se reservatórios para minimizar os problemas referentes à intermitência ou a irregularidades no fornecimento de água e a variações de pressões da rede pública.

O sistema indireto mais utilizado na construção de edifícios altos é o RI-RS (reservatório inferior – reservatório superior), ver Figura 7. Este sistema possui um alimentador predial com válvula de boia, reservatório inferior, instalação elevatória (recalque), reservatório superior e rede de distribuição. O ciclo de operação do sistema começa quando o reservatório superior atinge seu nível máximo e a instalação elevatória é fechada. O desligamento ocorre através de um interruptor de uma chave elétrica de nível, com a ativação no nível mais baixo e a desativação no nível mais alto (ILHA; GONÇALVES, 1994).

Quando o nível da água no reservatório superior desce, devido ao consumo, atinge o nível de acionamento da instalação elevatória, que será desligada quando a água voltar a atingir o nível máximo, e assim o ciclo é concluído. Com o acionamento da instalação elevatória, a válvula de boia abre-se parcial ou totalmente, e o alimentador predial passa a atender o reservatório inferior. Este reservatório também possui uma chave de nível elétrica que impede o acionamento da instalação elevatória quando o reservatório estiver vazio (ILHA; GONÇALVES, 1994).

Figura 7 – Sistema de distribuição indireto RI-RS
(reservatório inferior – reservatório superior).

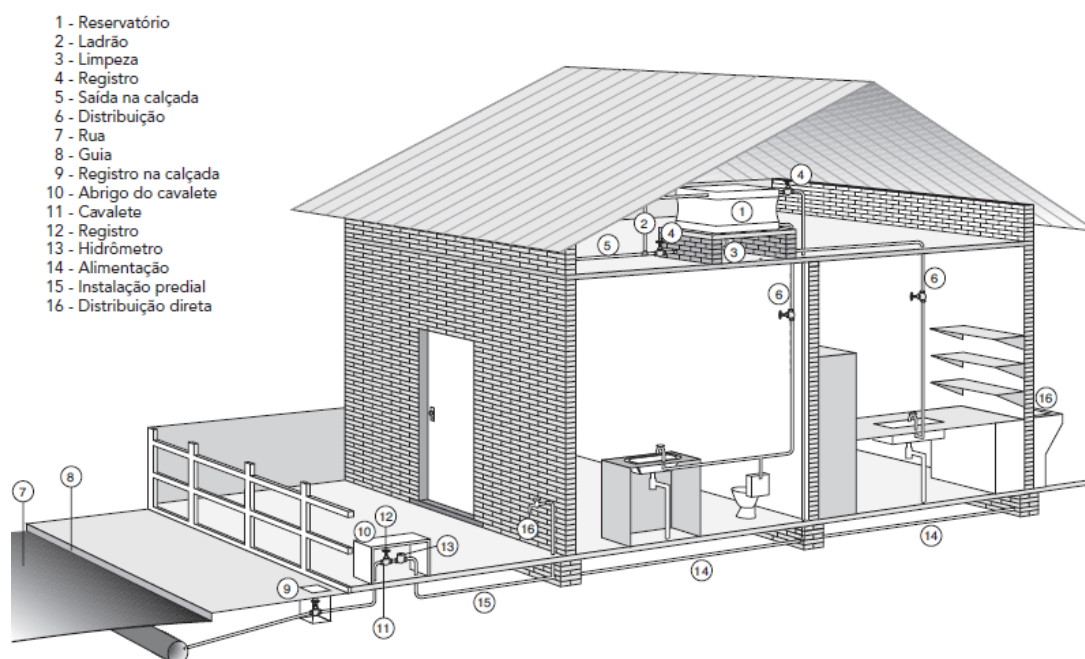


Fonte: Ilha; Gonçalves, 1994.

No sistema misto de distribuição de água, apresentado na Figura 8, uma parte do abastecimento de água é feito diretamente pela rede pública e a outra parte é alimentada pelo reservatório superior.

No sistema de distribuição mista (Figura 8), parte da alimentação de água é realizada diretamente pela rede pública de abastecimento e parte pelo reservatório superior. Esse sistema é mais vantajoso que os demais, e por isso mais utilizado, porque algumas peças podem ser alimentadas diretamente pela rede pública, como torneiras externas, piscinas e tanques nas áreas comuns do condomínio, localizados normalmente no pavimento térreo. Neste caso, a pressão proveniente da rede pública geralmente é maior que a obtida a partir do reservatório superior, portanto a pressão nos pontos de utilização de água será maior (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Figura 8 – Sistema de distribuição mista.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

2.6.3 Reservatórios de água fria

De acordo com a ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020), a capacidade dos reservatórios deve ser determinada com base nos padrões de uso da água do edifício. O ideal é, se possível, obter informações sobre a frequência e duração das interrupções no fornecimento.

A quantidade de água reservada para uso doméstico deve ser, pelo menos, a necessária para atender ao uso convencional do edifício durante 24 horas. Para

edifícios residenciais multifamiliares, a quantidade de água necessária para extinguir o incêndio também deve ser considerada, de acordo com as normas técnicas do Corpo de Bombeiros local.

Os reservatórios devem ser projetados em ambientes de fácil acesso a fim de garantir a eficiência e a economia de sua operação, verificação e manutenção.

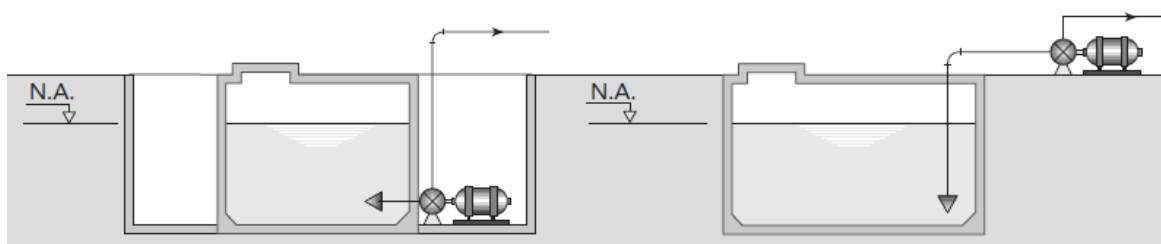
Diferente do que ocorre na Europa e nos Estados Unidos, onde o abastecimento de água normalmente é feito de forma direta pela rede pública, no Brasil é comum a utilização de reservatórios superiores que permitem as instalações hidráulicas trabalharem sob baixa pressão. Além disso, os reservatórios são frequentemente utilizados para suprir a falta de água devido às falhas existentes no sistema público de abastecimento (VENTURINI, 2011).

2.6.4 Sistema de recalque

Segundo Creder (2007), a tubulação que vai da bomba de sucção do reservatório inferior ao reservatório superior é denominada de sistema de recalque. A ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020) recomenda que o sistema elevatório deve possuir no mínimo duas bombas com funcionamento independente entre si, no intuito de assegurar o fornecimento de água em caso de falha ou desativação de uma delas para manutenção. Este sistema deve estar dotado de comandos de acionamento e desativação automáticos, condicionados ao nível de água nos reservatórios.

O sistema elevatório deve estar junto com o reservatório inferior. As bombas geralmente ocupam dois tipos básicos de disposição, com relação ao nível de água do poço de sucção: acima do reservatório; no nível do piso do reservatório (bomba afogada), conforme mostrado na Figura 9. No entanto, o arranjo em nível mais alto é considerado melhor que o arranjo em nível mais baixo, pois proporciona melhores condições de abrigo e de manutenção do sistema (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Figura 9 – Reservatório inferior e casa de bombas.

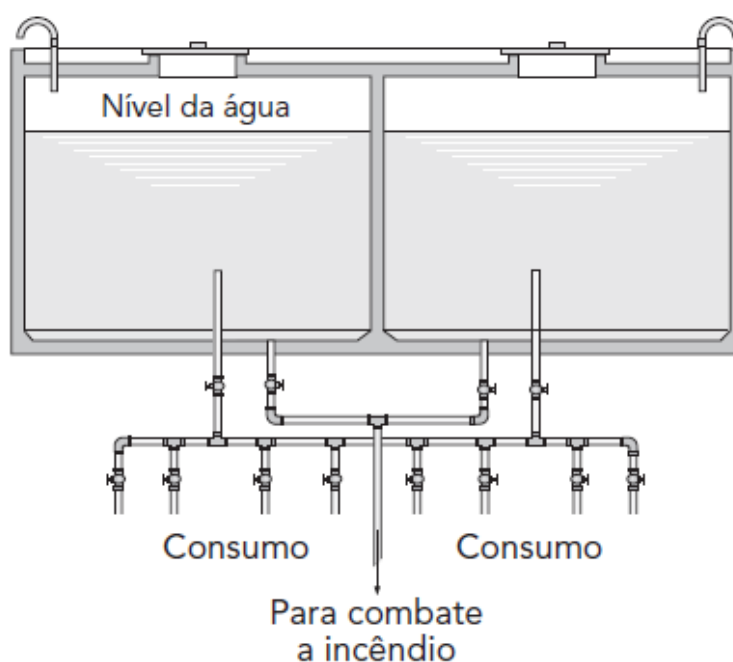


Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

2.6.5 Rede de distribuição de água fria

A rede de distribuição de água fria é constituída pelo conjunto de canalizações que ligam o reservatório aos pontos de consumo. Para traçar uma rede de distribuição, deve-se levar em consideração a medição individualizada. Do barrilete, derivam-se prumadas (Figura 10) que atendem determinada região da edificação. Desta prumada de alimentação, ramifica-se para cada apartamento passando pelo hidrômetro. Dentro de cada unidade, realiza-se a distribuição para todos os ambientes que necessitem do provimento de água. O traçado mais econômico deve ser priorizado, considerando a simultaneidade na utilização dos pontos de consumo (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Figura 10 – Vista de barrilete em reservatório superior.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

2.7 Pressão estática máxima no sistema de distribuição de água fria conforme NBR ABNT 5626:2020

A norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020) aplica-se às instalações prediais de água fria e de água quente, especificando os requisitos para projeto, execução, operação e manutenção. Conforme apresentado anteriormente, com terrenos em escassez e com alta valorização nas regiões mais nobres das grandes cidades, a

verticalização das edificações tem sido recorrente. Este fato levou à necessidade de criar sistemas de abastecimento de água que atendam às necessidades destes usuários e cumpram as especificações exigidas pela norma. Assim, métodos específicos de dimensionamento e execução são adotados para o fornecimento de água, no intuito de regular a pressão em todos os pontos de distribuição.

Na rede de alimentação de água e em suas respectivas instalações, a água exerce uma força sobre as paredes das tubulações, conhecida como “pressão”. Em condições normais, a pressão tem dependência da altura do nível da água, desde um ponto qualquer da tubulação até o nível d’água do reservatório. Quanto maior for a altura nesse desnível, a pressão estática no trecho também será maior, portanto, a ampliação da pressão está diretamente ligada à altura do edifício. Desta forma, as instalações hidráulicas devem ser projetadas adequadamente para atender a norma em qualquer ponto da rede (FERNANDES; URBANO, 2016).

De acordo com a ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020), define-se que a pressão estática é uma carga de pressão ou carga piezométrica atuante em determinada seção de tubulação sob carga, porém sem escoamento, considerada em sua linha de eixo. No item 6.9.4, a mesma norma especifica que a pressão estática nos pontos de consumo não deve ultrapassar o limite de 400kPa, que corresponde a 40 m.c.a. Esta pressão deve ser controlada, para que o limite indicado em norma não seja ultrapassado, pois a presença de altas pressões na rede podem danificar a própria tubulação, o que com o tempo, podem gerar rupturas no conjunto de distribuição.

Para edifícios altos que apresentem pressão estática acima de 40 m.c.a, situação bastante comum no atual cenário imobiliário brasileiro, existem soluções que regulam a pressão na rede, mantendo a pressão estática no sistema em consonância com o que exige a norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020).

Segundo Ilha e Gonçalves (1994), o controle da pressão estática máxima em edifícios muito altos, pode ser feito de duas formas: construindo reservatórios intermediários, também conhecidos como caixas de quebra pressão, ou então, introduzindo válvulas redutoras de pressão (VRPs) ao longo do sistema. No entanto, a opção por esses reservatórios intermediários implica na necessidade de um espaço técnico considerável do empreendimento para sua alocação, além da execução de mais um barrilete. Logo, a solução que apresenta menor custo, menor mão de obra e que ocupa menor espaço consiste na instalação de VRPs.

2.8 Válvulas Redutoras de Pressão (VRP)

A válvula redutora de pressão é um equipamento hidráulico para reduzir pressões em tubulações que excedam a pressão estática a montante admissível pela ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020) de 40 mca, ou 4,0 Kgf/cm² (VRP Premium, 2021).

Estes dispositivos tem como finalidade reduzir e regularizar no sistema as pressões elevadas e variáveis na entrada, para pressões menores e constantes na saída, independentemente de possíveis variações das vazões na rede. A pressão de saída deve ser mantida sob controle constante (VENTURI, 2011).

Figura 11 – Válvulas redutoras de pressão.



Fonte: VRP Premium, 2021.

2.8.1 Considerações da ABNT NBR 5626:2020 sobre as válvulas redutoras de pressão

ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020), no item 6.9.7, determina que as estações redutoras de pressão que atendem múltiplas unidades condominiais ou diferentes setores da edificação devem ser dotadas de pelo menos duas VRPs, instaladas em paralelo, sendo uma sobressalente.

Na sequência, no item 6.9.8, a norma estabelece que a exigência de duas ou mais VRPs em paralelo não se aplica quando a VRP não for instalada em ERP e se destinar a um único apartamento ou a reduzir a pressão dinâmica para certa zona do edifício ou trecho da rede de distribuição ou ponto de consumo. Neste caso, a redução pode ser feita por meio de uma só válvula, sem tubo de desvio (*by pass*).

Por fim, no item 6.9.15, a mesma norma diz que a ERP deve ser projetada em

área comum, com acesso para operação e manutenção, em espaço dotado de meio de coleta e drenagem de água.

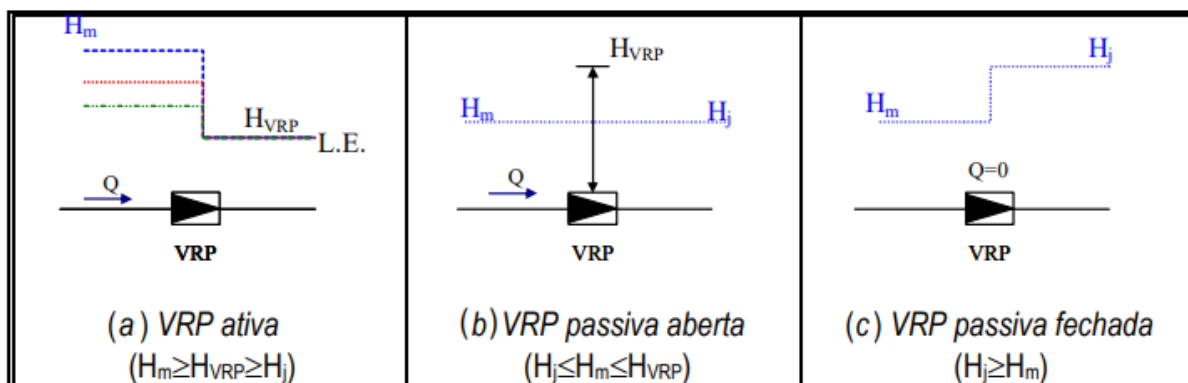
2.8.2 Funcionamento da VRP

Sempre quando houver altas pressões a jusante, a VRP provocará o aumento da perda de carga localizada na rede (RAMOS; COVAS, 2004). Para essas situações, o dispositivo de bloqueio é ativado e a pressão a jusante é reduzida para o valor de carga predefinido para a válvula redutora de pressão. No momento em que as pressões a jusante se encontram dentro dos limites estabelecidos, a VRP permanece aberta ao ponto que a perda de carga seja reduzida e haja o incremento de pressão a jusante para o valor definido em projeto.

Ramos e Covas (2004) descrevem, que ao levar em conta os acontecimentos antecedentes de oscilação da pressão à jusante, é observado que as VRPs trabalham em consonância com o:

- (a) estado ativo da válvula: situação na qual aumenta-se a perda de carga localizada na rede, provocando a diminuição da pressão à jusante;
- (b) estado passivo com a válvula aberta: estado no qual a pressão à montante apresenta-se insuficiente, com valor abaixo do previamente definido para a VRP. Nesta situação, a VRP permanece aberta até que haja a equalização da pressão de montante e jusante levando em conta a perda de carga prevista na abertura da VRP;
- (c) estado passivo da válvula fechada: caso em que a VRP evita a inversão do escoamento do fluido na situação em que a pressão à jusante esteja maior que à pressão a montante.

Figura 12 – Modelo genérico do comportamento de uma VRP do tipo convencional.



Fonte: RAMOS; COVAS, 2004.

2.8.3 Problemas na ausência ou na ineficiência das VRPs

Os problemas que ocorrem na ausência ou na ineficiência das VRPs, são:

- Ruptura de tubulação, conexões e flexíveis;
- Ruídos na tubulação;
- Golpe de aríete;
- Desconforto no banho;
- Excessivo consumo de água;
- Panes em equipamentos que dependem do fornecimento de água, como as máquinas de lavar louça e roupa.

2.8.4 Tipos de Válvulas Redutoras de Pressão (VRPs)

Comercialmente, encontra-se três tipos de válvulas redutoras de pressão:

- VRP de ação direta, com funcionamento por válvula de mola;
- VRP pilotada, que possui controle por diafragmas;
- VRP proporcional, que trabalha com o uso de pistão.

A diferença entre elas ocorre no mecanismo de funcionamento. Para cada aplicação, haverá um modelo mais indicado, onde também será levado em consideração a eficiência energética, o menor índice de manutenção e a maior produtividade relacionada ao processo térmico e fabril.

2.8.4.1 Válvula redutora de pressão de ação direta

A válvula redutora de pressão de ação direta (Figura 13) é um dispositivo instalado na rede de distribuição de água de uma instalação predial para reduzir a pressão da água a montante de um ponto do sistema (ponto de instalação) para um valor desejado à jusante, impedindo a transmissão da pressão estática de montante para jusante. Essas válvulas são de “ação direta” e podem ser reguladas no valor desejado de pressão antes da sua instalação através de um manípulo próprio, equipado com indicador da pressão de regulação (SOUZA, 2017).

Figura 13 – Válvula Redutora de Pressão de ação direta.

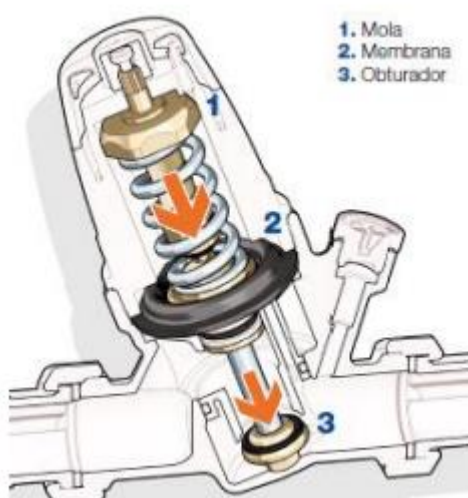


Fonte: BERMAD, 2021.

Após a sua instalação, a pressão atingirá automaticamente o valor previamente definido. O cartucho interno contendo todos os elementos de ajuste está integrado em uma unidade, a fim de facilitar as operações de inspeção e manutenção (BERMAD, 2021). Conforme mostra a Figura 14, este tipo de VRP funciona com base no equilíbrio de duas forças opostas:

- 1) A tensão da mola (1) força a abertura do obturador (3);
- 2) A pressão de saída é aplicada sob a membrana (2) e força o fechamento do obturador (3).

Figura 14 – Princípio de funcionamento da VRP de ação direta.



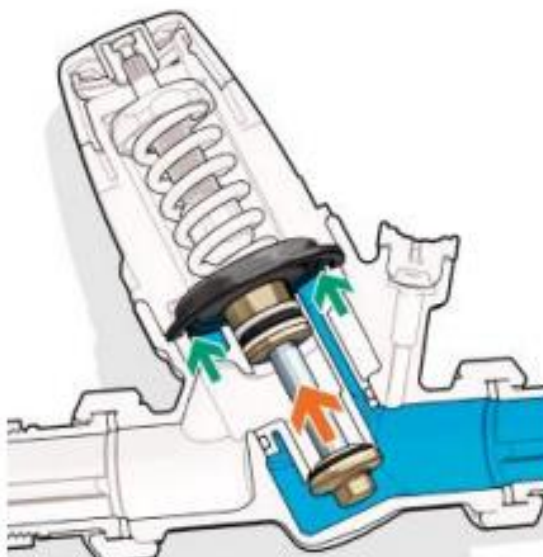
Fonte: BERMAD, 2021.

Segundo catálogo da Bermad (2021), quando um consumidor abre a torneira, a força exercida pela pressão de saída sob a membrana diminui e o obturador

desloca-se para baixo, abrindo a passagem de água. Quanto maior é a demanda de água, menor é a pressão sob a membrana, provocando assim uma maior passagem de fluido através do obturador. A mola perde força à medida em que é distendida, portanto, quanto maior o consumo, maior a abertura da válvula e menor a pressão necessária à jusante para manutenção do equilíbrio. Pode-se observar que a pressão de jusante é menor, quanto maior for o consumo. A pressão de saída é derivada do valor ajustado no manípulo menos a perda de carga para cada valor de vazão instantânea.

À medida em que a demanda diminui, a tendência é que a pressão de jusante aumente, assim a força sob o diafragma supera a força desempenhada pela mola e desloca a membrana para cima. Deste modo o obturador fecha-se, controlando o fluxo do fluido e mantendo a pressão de jusante dentro do limite estabelecido pelo valor regulado, ver Figura 15. Uma mínima diferença em favor da força sob a membrana em relação à força da mola faz com que a válvula se feche completamente (BERMAD, 2021).

Figura 15 – Funcionamento da VRP de ação direta sem consumo.



Fonte: BERMAD, 2021.

2.8.4.2 Válvula Redutora de Pressão Pilotada

As VRPs pilotadas são dispositivos que ao serem instalados no sistema de distribuição de água, reduzem a pressão de entrada a uma pressão de saída estável e constante, independentemente da pressão na rede e das variações habituais de

vazão. O piloto redutor monitora a pressão a jusante e modula a abertura da válvula, mantendo a pressão de saída no valor pré-estabelecido. Quando não há consumo, a válvula fecha automaticamente. A VRP pilotada, apresentada na Figura 16, possui excelente performance em relação a capacidade de vazão (CV), além de apresentar baixa perda de carga. Fabricada em *nylon* reforçado, possui um corpo extremamente leve que facilita sua instalação e manutenção, além de garantir uma alta durabilidade (BERMAD, 2021).

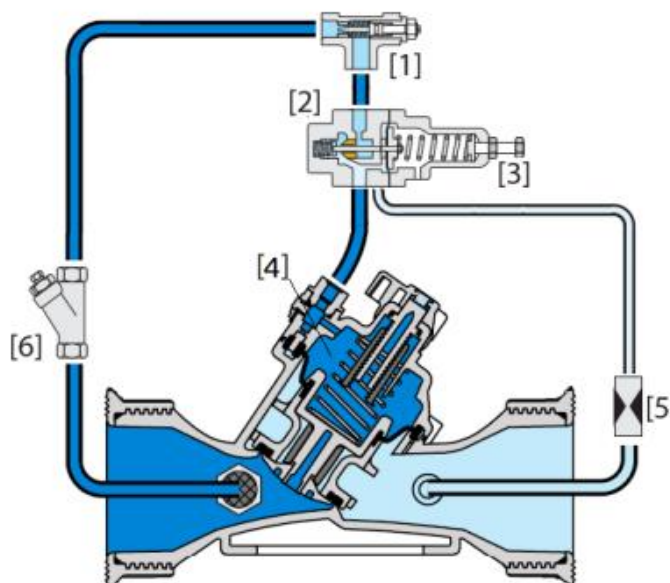
Figura 16 – Válvula Redutora de Pressão pilotada.



Fonte: BERMAD, 2021.

A válvula pilotada, como mostra a Figura 17, é controlada por um piloto ajustável de 2 vias que reduz a pressão [2]. O registro de agulha [1] permite que a água flua continuamente com vazão controlada (para evitar que a válvula se feche muito rapidamente), da entrada da válvula para o piloto [2] que monitora a pressão de jusante permanentemente. Se a pressão de jusante tende a subir e ultrapassar o valor ajustado através do parafuso [3], o piloto [2] estrangula a saída de água, injetando maior volume na câmara de controle [4], fazendo com que a pressão aumente e conseqüentemente a válvula seja fechada, evitando que a pressão de saída desejada exceda o valor desejado (BERMAD, 2021).

Figura 17 – Funcionamento da VRP pilotada.



Fonte: BERMAD, 2021.

Se a pressão a jusante tende a cair, o piloto [2] responde imediatamente, liberando a pressão acumulada na câmara de controle [4]. A válvula abre para atender a demanda, conservando a pressão a jusante estável e constante. Na saída do piloto [2], uma placa de orifício [5] é usada para o manejo da vazão de saída da câmara de controle [4], impedindo que a válvula abra muito rapidamente. A água que flui através do circuito de comando é filtrada através do filtro tipo Y [6], evitando o entupimento de dispositivos e a falha da válvula (PEREIRA et al., 2021; SILVA, 2019).

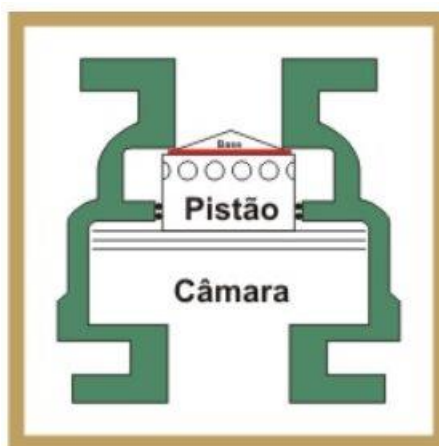
2.8.4.3 Válvula Redutora de Pressão Proporcional

A VRP proporcional não funciona a partir de sistemas de molas ou parafusos de regulagem. Seu mecanismo é automático e funciona obedecendo o Princípio de Pascal. Ela se mantém fechada quando não há consumo, permitindo que a pressão após o ponto de instalação não seja superior à permitida pela norma. Conforme mostra a Figura 18, o pistão flutuante se move acompanhando às alterações no fluxo de água e se fecha quando não há mais fluxo (SILVA, 2019).

À medida que a água é consumida, seu movimento gera uma diferença de pressão devido às câmaras separadas, que puxa o êmbolo e obriga o pistão a se movimentar no sentido do fluxo, ou seja, quanto maior o fluxo, maior a abertura.

Como não há pontos de regulação, essa válvula não nos dá uma pressão de saída precisa, e a perda varia conforme a vazão da água. Quando se encerra o consumo de água, o pistão retorna à sua posição original devido ao empuxo gerado pela estabilização das pressões (PEREIRA et al., 2021).

Figura 18 – Funcionamento da VRP proporcional.



Fonte: Hidroshop, 2021.

2.8.5 Instalação da VRP

A instalação das VRPs pode ocorrer, seguindo as orientações do fabricante para os respectivos modelos, na posição horizontal (Figura 19) ou na posição vertical (Figura 20). Algumas marcas, permitem que as VRPs sejam instaladas em qualquer uma das duas formas.

Figura 19 – Instalação horizontal da Válvula Redutora de Pressão.



Fonte: VRP Premium, 2021.

Figura 20 – Instalação vertical da Válvula Redutora de Pressão.



Fonte: VRP Premium, 2021.

2.8.6 Elementos na estação redutora de pressão predial

Para a boa instalação de uma estação redutora de pressão é imprescindível que se realize um projeto eficiente, onde haja a previsão dos componentes ideais que integram a ERP. De acordo com as características, tamanho e necessidades do empreendimento, cada componente é estudado para tornar a estação redutora de pressão predial eficaz no controle de pressão (PEREIRA et al., 2021).

A estação redutora de pressão, apresentada na Figura 21, é composta pelos seguintes aparelhos e elementos hidráulicos:

- manômetros: medidor de pressão instalado na entrada e saída da tubulação;
- válvula de esfera: instalada antes e depois da VRP, ela é utilizada para controlar a vazão de água de entrada e saída da estação de redução;
- filtro “Y”: instalado antes do VRP para evitar a entrada de impurezas que possam afetar o funcionamento normal do equipamento;
- VRP: equipamento hidráulico que controla a pressão da água a jusante do fluxo de água (PEREIRA et al., 2021).

Figura 21 – Componentes utilizados na estação redutora de pressão – padrão PVC.



Fonte: VRP Premium, 2021.

2.9 Máquinas hidráulicas e microgeração de energia elétrica

As máquinas hidráulicas são equipamentos que realizam a conversão de energia. Enquanto que as bombas hidráulicas transformam a energia mecânico-motriz em energia mecânico-hidráulica, as turbinas ou motores hidráulicos recebem energia mecânico-hidráulica e fornecem energia mecânico-motriz (SIMONE, 2013).

Estes dispositivos tem essencial importância para a indústria e para as centrais elétricas modernas. De modo geral, o seu funcionamento é fundamentado em características pertinentes, a saber:

- o fluxo do fluído dentro da máquina;
- a variação de energia específica do fluido através da máquina;
- propriedade cinemática do equipamento.

Para otimizar o tipo e os atributos desses itens, dependerá da adequada relação entre quatro condições (TIAGO FILHO et al., 2008):

- diminuição das despesas de manutenção e operação;

- gasto minorado de energia;
- maior geração de energia;
- máxima performance do sistema.

O fluxo do fluido dentro da máquina é retratado pela vazão ali existente. A diferença de energia se dá através de uma altura H (a queda da turbina ou a altura da bomba hidráulica) e o intervalo de pressão Δh , medido continuamente em m.c.a e N/m^2 . A cinemática do dispositivo se dá através da rotação n aferida em rpm (CAMPOS, 2015).

2.9.1 Tipos de turbinas hidráulicas

As turbinas são classificadas em dois grupos, as turbinas que trabalham com a ação e as turbinas que atuam através da reação. Essa turbina de ação recebe energia na configuração mecânico-hidráulica, oferecendo energia mecânico-motriz, utilizando a energia cinética proveniente da água para funcionar. As turbinas de reação convertem energia mecânico-hidráulica em energia mecânico-motriz, operando com a energia cinética e de pressão (SIMONE, 2013).

Na Tabela 1, apresenta-se os tipos mais comuns de turbinas fabricadas no Brasil, com suas respectivas características hidráulicas, elétricas e físicas.

Tabela 1 – Principais características das turbinas fabricadas no Brasil.

Nome	Rotação Específica NS		Vazão Q (m³/s)	Queda H (m)	Potência kW	η máximo (%)
Pelton	Nº Jatos	Ns				
	1	30				
	2	30 - 50	0,05 - 50	30 - 1.800	0,1 - 300.000	70 - 91
	4	40 - 60				
	6	50 - 70				
Banki	-	40 - 160	0,025 - 5	1 - 50	1 - 750	65 - 82
Francis	Tipo	Ns				
	Lenta	60 - 170				
	Normal	150 - 250	0,05 - 700	2 - 750	1 - 750.000	80 - 93
	Rápida	250 - 400				
Kaplan	-	300 - 800	0,3 - 1.000	5 - 80	2 - 200.000	88 - 93

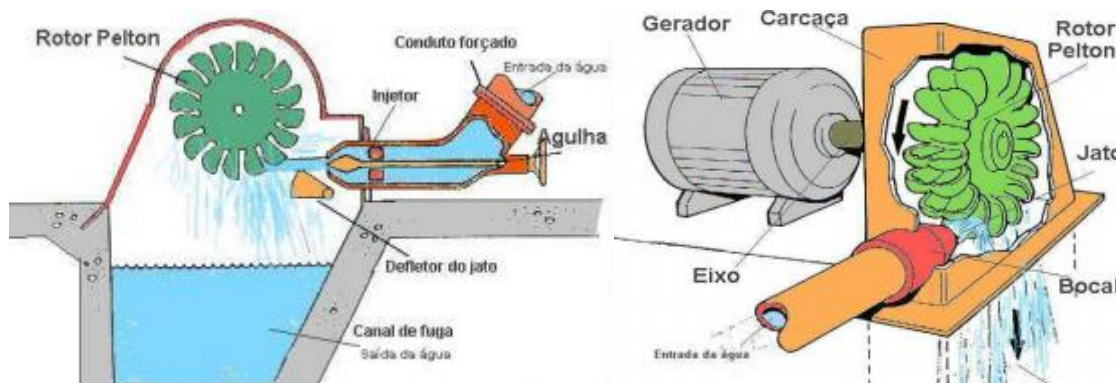
Fonte: Adaptado de TIAGO FILHO (2004).

2.9.1.1 Turbina Tesla-Pelton

A turbina do modelo conhecido como Tesla-Pelton é adequada para pressões que variam entre de 30 a 1.800 mca. Dotada de uma roda circular e de um conjunto de copos em seu contorno que são sujeitados a ação de um jato de água gerado por um ou mais jatos que estão dispostos de maneira uniforme na extremidade da roda.

Conforme mostrado na Figura 22, a Tesla-Pelton detém duas possibilidades de orientação do eixo, podendo ser horizontal ou vertical, para ocasiões de vazões baixas com grande queda útil (30 a 500m) na faixa de potência de 500 a 12.500 kW. O eixo horizontal é econômico de instalar e fácil de manter, permitindo que dois rotores sejam montados na mesma árvore. O eixo vertical é indicado para situações onde há quatro ou seis injetores nas pás do rotor (GOMES, 2010).

Figura 22 – Desenho esquemático de uma turbina Pelton.



Fonte: JUNIOR, 2000.

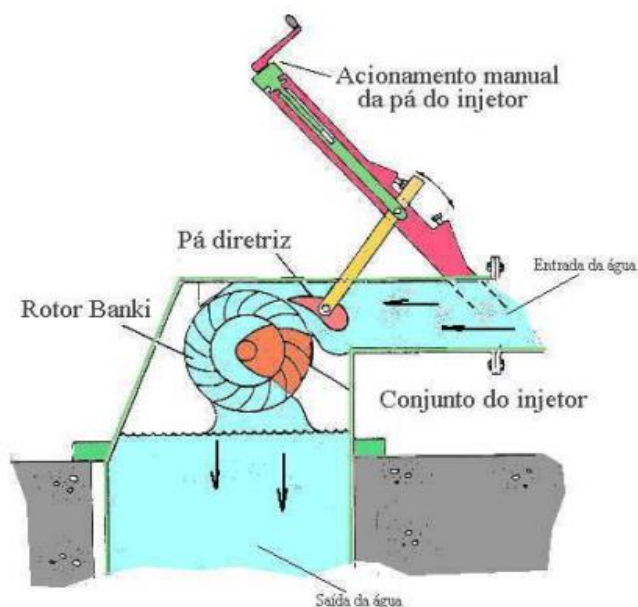
A turbina do modelo Pelton se caracteriza pela simplicidade na produção, no ajuste e na montagem, com fácil instalação em pequenas usinas e zonas rurais, utilizando-se de baixas vazões e diferença de altura para gerar dezenas de cavalos de potência (CV). É recomendada para situações em que a vazão a ser aproveitada é geralmente restrita, pois a captação ocorre em alturas nas quais o fluxo d'água ainda tem pouca vazão.

2.9.1.2 Turbina Michell-Banki

A turbina do modelo Michell-Banki funciona através de pás que, ao colidirem com a água em movimento, acionam o rotor, acionando a turbina (Figura 23). O modelo é recomendado para quedas menores que 30 mca (BONOW *et al.*, 2014). O

alcance de queda desta turbina varia de 1 a 200 metros e é amplamente utilizado em micro e mini usinas (classificadas com potência menor que 1000 kW) devido ao seu adequado desempenho, menor investimento e simplicidade de execução.

Figura 23 – Desenho esquemático de uma turbina Banki.



Fonte: Junior, 2000.

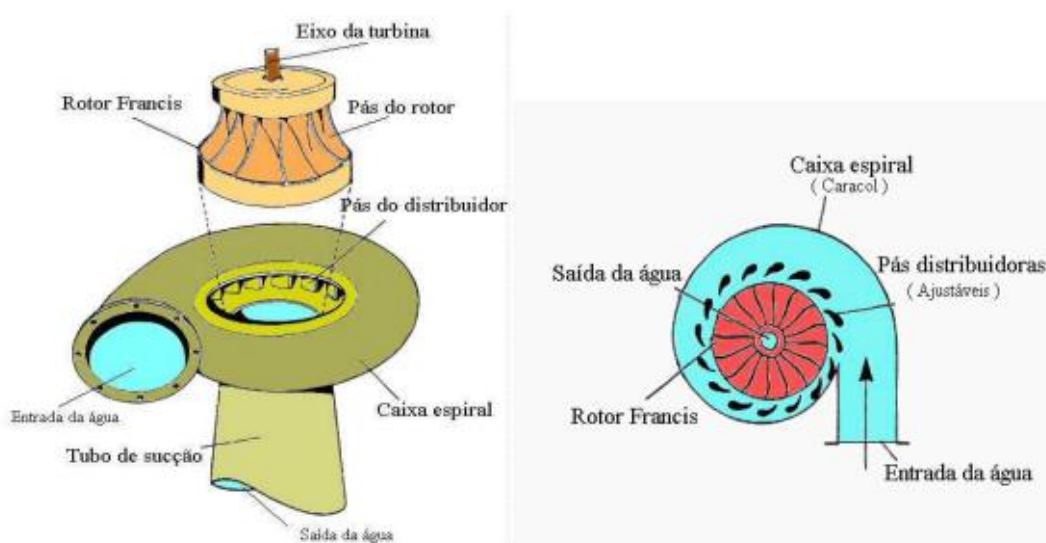
2.9.1.3 Turbina Francis

A turbina do modelo Francis é um equipamento que atua a partir de reação do modelo de ação total, distintas por eixo, método de montagem e velocidade do rotor. Ela é o modelo de turbina mais usado no mundo e é adequado para quedas que variam entre 2 e 150 m. Conforme mostrado na Figura 24, o impulsor está dentro do distribuidor para que a água chegue mais próxima do eixo ao passar pelo impulsor (RAMOS e SILVA, 2009).

A turbina possui velocidade específica com variação de modo lento, normal, rápido ou muito rápido, afetando diretamente as possíveis formas dos rotores. O distribuidor possui um conjunto de palhetas posicionadas ao redor do impulsor que podem adotar ângulos de ajuste nas saídas para reduzir as perdas hidráulicas. O distribuidor dispõe de pás integrantes de um centro de rotatividade que potencializa ou inibe a seção de vazão, em paralelo ao eixo da turbina (GERMER, 2019).

A única desvantagem desta turbina é que a curva de rendimento varia com a vazão (JUNIOR, 2000).

Figura 24 – Desenho esquemático de uma Turbina Francis vertical.

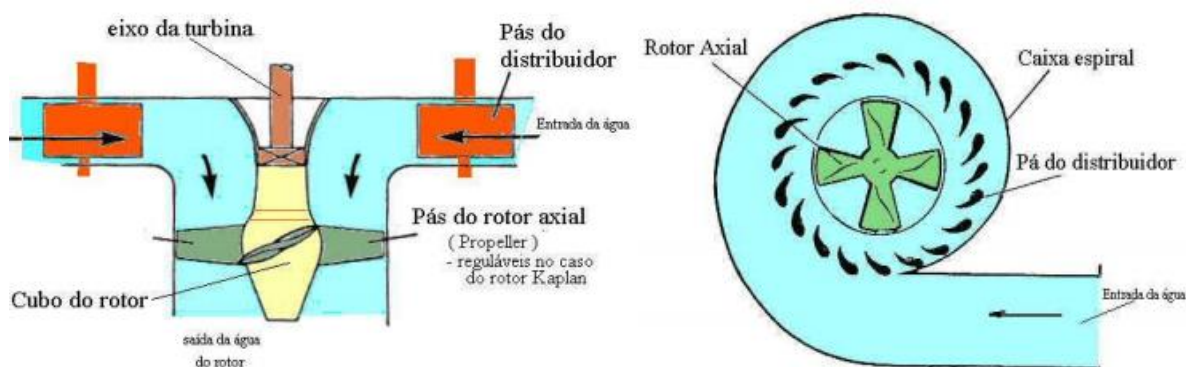


Fonte: JUNIOR, 2000.

2.9.1.4 Turbina Kaplan

A turbina do tipo Kaplan, como mostra a Figura 25, foi projetada para aplicações de baixa pressão de água. Dotada de uma hélice como uma pá que só funciona na parte traseira. Ao invés de deslocar axialmente a água com a potência do eixo e criar um empuxo axial, a força axial da água atua nas pás da turbina Kaplan e gera energia no eixo. Adaptada de uma turbina de hélice, a turbina Kaplan admite ajustar o ângulo das pás de acordo com a descarga recebida. Este tipo de turbina é adequado para rotações específicas que superem os 350 rpm, pois deixa grandes flutuações na descarga e na potência sem causar grandes alterações na eficiência geral (JUNIOR, 2000).

Figura 25 – Desenho esquemático de uma turbina Kaplan vertical.



Fonte: JUNIOR, 2000.

2.9.2 Escolha da turbina hidráulica

A turbina é selecionada em conformidade com a eficiência dos dispositivos hidráulicos, a disponibilidade de pressão ou a diferença de altura, com a vazão e potência do sistema (CHECHINEL et al., 2018).

É necessário ter em conta as circunstâncias da diferença de altura e vazão de água, que requerem, sobretudo, características de segurança operacional, elevada eficiência, fácil regulação, aptidão para a adequação da quantidade de rotações necessárias e o fator de economia quanto aos gastos com compra, montagem e conservação do conjunto (PEDROSO, 1982).

Essa escolha deve ser feita com cautela, pois a turbina está diretamente relacionada aos efeitos da produção energética. Portanto, selecionar uma turbina imperfeita para um projeto tem consequências prejudiciais, afetando diretamente a geração de energia, a sua despesa e a estimativa orçamentária (DALZOTTO, 2012).

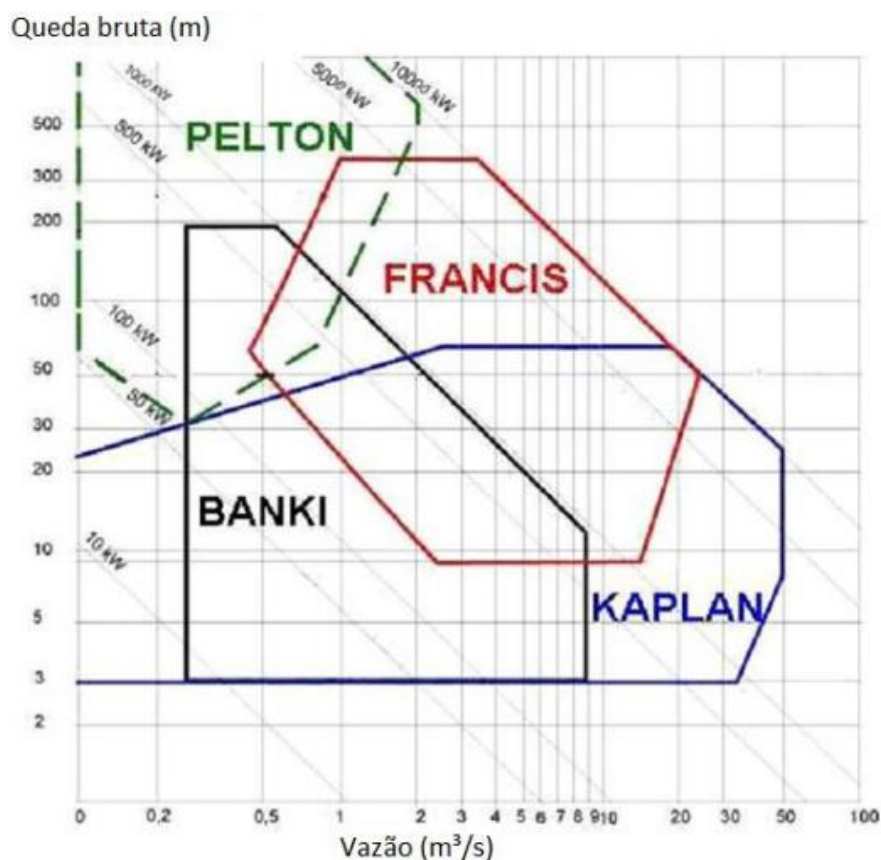
Khosrowpanah *et. al.* (1984), sugerem que sejam escolhidas turbinas do tipo Crossflow, pois é uma opção adequada para pequenos projetos de substituição de VRPs.

Ao escolher uma turbina, é necessário considerar, além dos critérios técnicos e do custo envolvido, a possibilidade de atendimento imediato em caso de problemas operacionais e a oferta suficiente de peças de reposição pelo fabricante (ELETROBRÁS, 2012).

Para que uma usina hidrelétrica tenda a operar em modo livre de manutenção, é preciso ponderar que a turbina possua fácil operação e conservação, além de proporcionar confiança e integridade ao usuário. É extremamente importante considerar a eficiência das turbinas ao selecionar os dispositivos. A eficiência é a ligação entre a disponibilidade de energia e a capacidade de geração de energia da máquina. Essas informações são exibidas em catálogos e recomendações dos produtores junto com o escopo ideal de operação deste dispositivo hidráulico (SOSNOSKI, 2015).

A seleção da turbina é consequência da correlação entre três indicadores: a altura manométrica, a vazão e a potência, conforme mostrado na Figura 26.

Figura 26 – Gráfico para seleção de turbinas para CMH.



Fonte: CASTRO, 2002.

2.9.3 Geradores

Conforme especifica o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, os geradores são projetados para converter a energia mecânica proveniente das turbinas em eletricidade.

Iorra (2013) define que a seleção do modelo mais apropriado de gerador deve ser baseada no estudo das principais opções que o mercado disponibiliza, a fim de que a escolha esteja baseada na comparação das opções disponíveis, contrastando os pontos positivos e negativos de cada gerador.

A saber, os geradores são divididos em duas categorias, os geradores de corrente alternada (AC) e os de corrente contínua (CC). Estes dois modelos de geradores operam sob a regência das mesmas leis elementares, começando pelos princípios básicos que constituem a atuação destas máquinas CA e CC. Assim, a estimativa do torque gerado por esses dispositivos é importante para geradores CA e CC. A diferença entre eles está contida nos pormenores de sua estrutura mecânica e na força eletromotriz do motor (SOSNOSKI, 2015).

2.9.3.1 Gerador CC

Os geradores de corrente contínua (CC) consistem em um rotor, um anel comutador, um estator e escovas. Segundo Santana (2019), o rotor é um artefato que realiza rotação, sendo constituído por de ferro magnético envolvido em um eixo denominado enrolamento de armadura e um anel comutador. O enrolamento do gerador tem a função de transportar a energia contida na fonte. O anel do comutador realiza a correta inversão do sentido das correntes que circundam o enrolamento da armadura, instalada no eixo da máquina e girando com ela. A rotação do eixo provoca a conversão entre os circuitos dos enrolamentos.

A parte estática do gerador CC, chamado de estator, é instalado ao redor do rotor para que ele consiga girar no seu interior. É feito de um material ferromagnético envolvido de um enrolamento de potência baixa denominado enrolamento de campo, cuja única função é criar um campo magnético constante que interage com o campo da armadura. As escovas são componentes constituídos de grafite e possuem a responsabilidade na condução de energia para o perímetro do rotor.

Santana (2019) também informa que a fonte de energia mecânica desempenha um papel na geração do movimento relativo entre os condutores elétricos dos enrolamentos da armadura e o campo magnético produzido pelo enrolamento de campo, e assim causa uma mudança temporária em sua intensidade, e assim por Faraday, o direito de induzir uma tensão nos terminais do condutor. Portanto, a energia mecânica oferecida ao eixo é retida no campo magnético da máquina para ser transferida na entrega de uma determinada carga integrada à máquina.

Para Iorra (2013), o gerador CC possui algumas opções de utilização, como a excitação em série, em derivação, composta, independente ou magnética.

2.9.3.2 Gerador CA

A eletricidade mais recorrente na distribuição domiciliar é a corrente alternada (CA), na qual grandes grupos são separados em geradores simultâneos e caracterizados pela indução (IORRA, 2013), ambos apresentam prós e contras que carecem ser avaliados na hora de selecionar o gerador mais adequado.

Segundo Iorra (2013), os geradores simultâneos têm propriedades

conhecidas e são relativamente fáceis de controlar. Ademais, há facilidade na conexão em paralelo, desde que haja a mesma tensão, ângulo de fase, sequência de fase e frequências muito próximas. Um fator positivo desse tipo de gerador a ser considerado é a sua alta capacidade de suportar sobrecargas em pouco tempo. Em regra, a potência mais alta para esta classe é de 5000 kVa. Pela alta versatilidade e alto rendimento (até 97%), é o equipamento mais bem recebido pelo mercado.

De acordo com Chapman (2005), um gerador de indução apresenta sérias limitações, porque não possui capacidade de produzir potência reativa, enquanto consome potência reativa, o que requer estar conectado com fonte externa para alimentar a potência reativa e controlar a tensão contida no gerador.

Para Farret e Simões (2006), este tipo de gerador é de fácil operação ao trabalhar de maneira paralela com importantes sistemas de energia que garantem o fornecimento de potência reativa e controlariam a tensão gerada. A escolha por esse modelo é usual em pequenas centrais hidrelétricas.

O gerador CA apresenta problemas relacionados à possibilidade de desmagnetização ao operar com isolamento da rede e frequência. Portanto, embora esse tipo de gerador seja amplamente utilizado em pequenas centrais hidrelétricas, não é o mais indicado para aplicações na construção civil (IORRA, 2013).

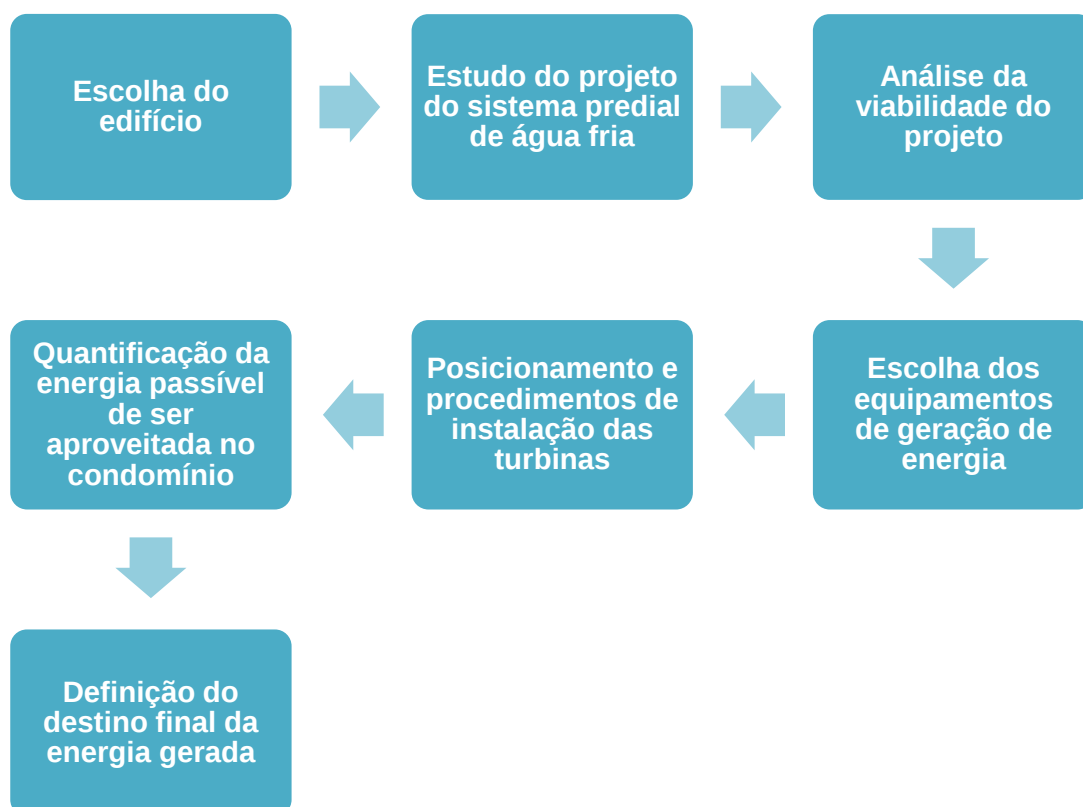
3. METODOLOGIA

Nesta fase do trabalho é apresentado e discriminado em detalhes os métodos a serem utilizados no processo de análise do sistema predial de água fria, onde ocorre a verificação da viabilidade em estabelecer formas de mini ou microgeração de energia a partir do aproveitamento da energia dissipada nas válvulas redutoras de pressão (VRPs) do edifício.

É importante salientar, que este trabalho está delimitado na proposta de implantação de um sistema de microgeração de energia através de turbinas instaladas no sistema predial de água fria a fim de aproveitar a energia que seria dissipada nas VRPs.

Basicamente a metodologia deste trabalho consistiu na realização de sete etapas principais, conforme fluxograma metodológico apresentado na Figura 27.

Figura 27 – Fluxograma metodológico.



Fonte: Própria do autor, 2021.

3.1 Escolha do edifício

Foi realizada a análise de suas características arquitetônicas, considerando especialmente os espaços técnicos. Suas instalações prediais também foram analisadas, contemplando de modo particular o sistema de abastecimento de água do edifício. Ressalta-se que o prédio escolhido é suficientemente alto, para que, conforme a ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020), hajam instaladas no edifício as válvulas redutoras de pressão, objeto de estudo deste trabalho.

O estudo foi realizado no “Empreendimento A”, localizado no Setor Bueno, no município de Goiânia-GO. Este edifício residencial, Figura 28, foi entregue aos proprietários no ano de 2014.

Figura 28 – Fachada do empreendimento estudado.

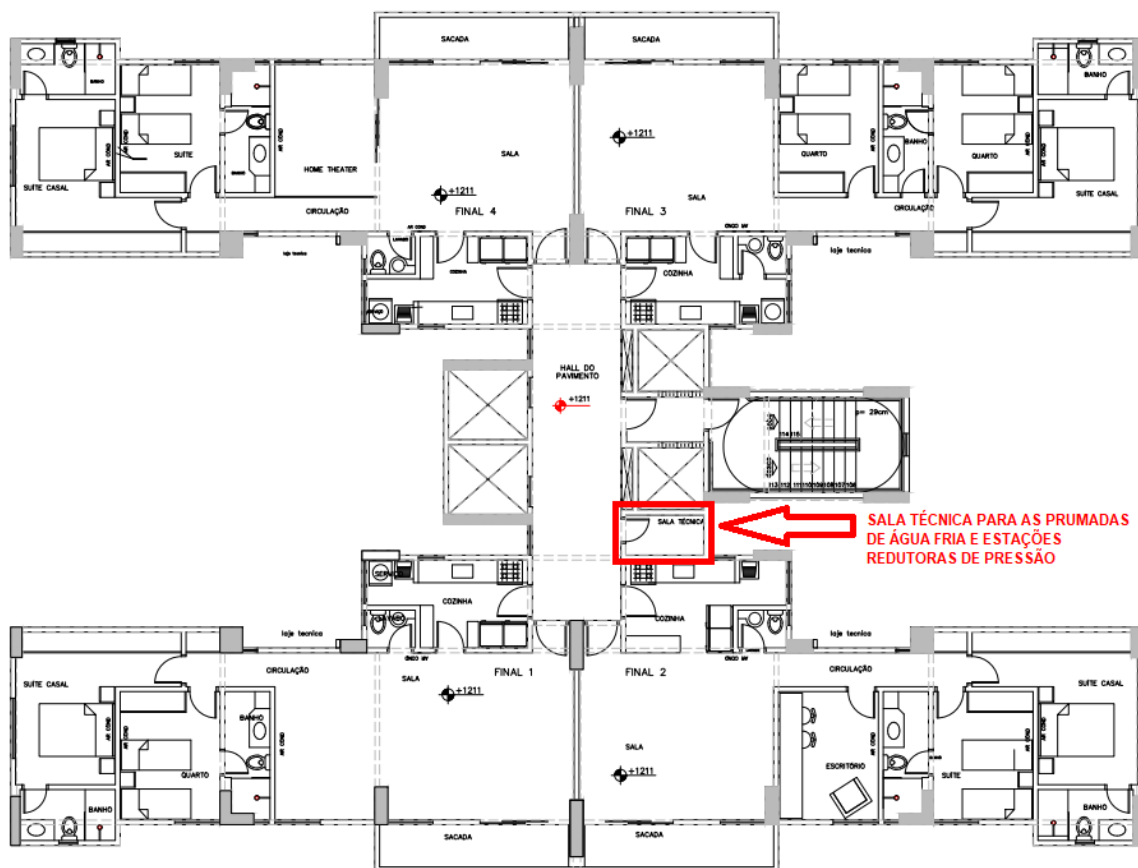


Fonte: Própria do autor, 2021.

Em um terreno de 2.100 m² e área construída de 19.237 m², a edificação possui 25 pavimentos tipo, dois pavimentos de mezanino, um pavimento térreo e dois pavimentos de subsolo, além do barrilete e do reservatório superior, totalizando 32 pavimentos e uma altura de 79,55 m.

O pavimento tipo possui 2,72m de pé-direito (laje a laje) e é composto por quatro apartamentos, sendo duas unidades com 3 quartos e as outras duas unidades contendo 2 quartos (Figura 29).

Figura 29 – Planta baixa de arquitetura do Pavimento Tipo no “Empreendimento A”.



Fonte: Própria do autor, 2021.

3.2 Estudo do projeto do sistema predial de água fria

Foi avaliado os principais ambientes e componentes que integram o sistema predial de água fria do empreendimento usado no estudo de caso. O projeto hidrossanitário do edifício foi criteriosamente avaliado, verificando-se dados pertinentes, como o cálculo de população e volume total mensal de abastecimento de água, o consumo diário, a velocidade, a vazão e diâmetro da tubulação.

Na análise do projeto hidráulico foi considerado também os itens que influenciam diretamente na pressão da água na tubulação e a disponibilidade de pressão gerada pela bomba de recalque do reservatório inferior. Por fim, realizou-se a leitura dos manômetros das estações redutoras de pressão, no intuito de comparar as pressões de projeto e as pressões reais de entrada e saída nas VRPs.

Primeiramente, com o projeto arquitetônico, realizou-se o dimensionamento do consumo diário na edificação. O consumo de água diário *per capita* tem considerável variação, a depender dos padrões culturais de determinada cidade e da disponibilidade de fornecimento junto à concessionária. Conforme aponta Carvalho Júnior (2013), estima-se que no Brasil, o consumo diário de uma pessoa gira em torno de 50 a 200 litros de água. Assim, adotou-se o valor de 200 litros/dia por morador. O número de moradores por unidade privativa também é estimado. Para este estudo, o critério adotado é de 2 pessoas por quarto.

Conforme citado anteriormente, no “Empreendimento A” há um total de 25 pavimentos tipo, sendo que em cada um desses pavimentos, tem-se 04 apartamentos, nos quais dois possuem 2 quartos e os outros dois possuem 3 quartos.

Dessa forma, para o cálculo da população, foram utilizadas as seguintes equações:

$$\text{População Apto 2Q} = (\text{n}^{\circ} \text{ de quartos}) \cdot (\text{n}^{\circ} \text{ de moradores/quarto}) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$\text{População Apto 3Q} = (\text{n}^{\circ} \text{ de quartos}) \cdot (\text{n}^{\circ} \text{ de moradores/quarto}) \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\text{População por pavimento} = [(\text{n}^{\circ} \text{ de aptos 2Q}) \cdot (\text{População Apto 2Q}) + (\text{n}^{\circ} \text{ de aptos 3Q}) \cdot (\text{População Apto 3Q})] \quad (\text{Eq. 3})$$

$$\text{População total} = (\text{n}^{\circ} \text{ de Pavimentos Tipo}) \cdot (\text{População por pavimento}) \quad (\text{Eq. 4})$$

O consumo diário (C_d) pode ser calculado utilizando a seguinte equação:

$$C_d = C_p \cdot n_o \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde,

C_d = consumo diário, em l/dia;

C_p = consumo *per capita*, em l/dia/morador;

n_o = número de ocupantes.

Conforme citado anteriormente, a norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020) orienta que o volume total de água nos reservatórios deve atender no mínimo 24 h de consumo e deve-se também considerar o volume da reserva técnica de incêndio.

Por causa das falhas de abastecimento público, e em determinadas regiões do Brasil que ocorrem o racionamento de água, é recomendado que exista uma

previsão maior para o armazenamento, ou seja, superior a um dia de consumo. Para este projeto, considerou-se o fator de 1,5 dias para a reservação de água destinada ao consumo dos moradores/usuários do empreendimento.

A reserva técnica é definida de acordo com as normas técnicas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado de Goiás. Na NT-01/2020 (Anexo A) é informado a classificação das edificações quanto a ocupação ou uso, como mostra o Quadro 1.

Quadro 1 – Classificação das edificações quanto a ocupação ou uso.

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Descrição	Tipificação
A	Residencial	A-1	Habitação unifamiliar	Condomínios de casas térreas ou assobradadas isoladas e assemelhados.
		A-2	Habitação multifamiliar	Condomínios de casas térreas ou assobradadas não isoladas, edifícios de apartamentos em geral e condomínios verticais e assemelhados.
		A-3	Habitação coletiva	Pensionatos, internatos, alojamentos, mosteiros, conventos, residências geriátricas. Todos com capacidade máxima de 16 leitos e assemelhados.

Fonte: adaptado CBM-GO (2020).

Considerando a área da edificação e a área de risco, a reserva técnica de incêndio (RTI) é considerada de acordo com a NT-22/2014, conforme Quadro 2.

Quadro 2 – Aplicabilidade dos tipos de sistemas e volume de reserva de incêndio mínima.

ÁREAS DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO	CLASSIFICAÇÃO DAS EDIFICAÇÕES E ÁREAS DE RISCO				
	A-2, A-3; C-1; D-1 e D-3 (até 300 MJ/m ²); D-2 e D-4; E-1, E-2, E-3, E-4, E-5, E-6; F-1 (até 300 MJ/m ²); F-2, F-3, F-4, F-8; G-1, G-2, G-3, G-4; H1, H-2, H-3, H-5, H-6; I-1; J-1, J-2; M-3.	B-1, B-2; C-2 (acima de 300 até 1000 MJ/m ²); C-3; D-1 (acima de 300 MJ/m ²); D-3 (acima de 300 MJ/m ²); F-1 (acima de 300 MJ/m ²); F-5, F-6, F-7, F-9, F-10; H-4; I-2 (acima de 300 até 800 MJ/m ²); J-3 (acima de 300 até 800 MJ/m ²).	C-2 (acima de 1000 MJ/m ²); I-2 (acima de 800 MJ/m ²); J-3 (acima de 800 MJ/m ²); L-1; M-1 e M-10.	G-5, G-6; I-3; J-4; L-2 e L-3.	
Até 2.500 m ²	Tipo 1 RTI 5 m ³	Tipo 2 RTI 8 m ³	Tipo 3 RTI 12 m ³	Tipo 4 RTI 28 m ³	Tipo 4 RTI 32 m ³
Acima de 2.500 m ² até 5.000 m ²	Tipo 1 RTI 8 m ³	Tipo 2 RTI 12 m ³	Tipo 3 RTI 18 m ³	Tipo 4 RTI 32 m ³	Tipo 4 RTI 48 m ³
Acima de 5.000 m ² até 10.000 m ²	Tipo 1 RTI 12 m ³	Tipo 2 RTI 18 m ³	Tipo 3 RTI 25 m ³	Tipo 4 RTI 48 m ³	Tipo 5 RTI 64 m ³
Acima de 10.000 m ² até 20.000 m ²	Tipo 1 RTI 18 m ³	Tipo 2 RTI 25 m ³	Tipo 3 RTI 35 m ³	Tipo 4 RTI 64 m ³	Tipo 5 RTI 96 m ³
Acima de 20.000 m ² até 50.000 m ²	Tipo 1 RTI 25 m ³	Tipo 2 RTI 35 m ³	Tipo 3 RTI 48 m ³	Tipo 4 RTI 96 m ³	Tipo 5 RTI 120 m ³
Acima de 50.000 m ²	Tipo 1 RTI 35 m ³	Tipo 2 RTI 48 m ³	Tipo 3 RTI 70 m ³	Tipo 4 RTI 120 m ³	Tipo 5 RTI 180 m ³

Fonte: CBM-GO (2014).

Para o dimensionamento e determinação do modelo de hidrômetro macro do “Empreendimento A”, levou-se em consideração a seguinte equação:

$$C_{mm} = C_d \cdot n_d \quad (Eq. 6)$$

Onde,

C_{mm} = consumo médio mensal;

C_d = consumo diário;

n_d = número de dias.

Utilizando o valor de C_{mm} na Tabela 2 fornecida pela SANEAGO, tem-se o dimensionamento do hidrômetro.

Tabela 2 – Dimensionamento de hidrômetros conforme consumo médio mensal.

Consumo Médio Mensal (m³/mês)		Sem Caixa D'água	Com Caixa D'água
		Capacidade do Hidrômetro	Capacidade do Hidrômetro
0	40	3 m³/h	1,5 m³/h
41	200	3 m³/h	
201	335	5 m³/h	
336	470	7 m³/h	
471	670	10 m³/h	
671	1.342	20 m³/h	
1.343	2.012	30 m³/h	
2.013	10.445	50 mm	
10.446	18.900	80 mm	
18.901	30.000	100 mm	
30.001	60.000	150 mm	
60.001	144.763	200 mm	

Fonte: SANEAGO (2021).

Para o dimensionamento do ramal predial de água deve-se considerar que o fornecimento de água seja contínuo e que a vazão fornecida é adequada para suprir o consumo diário anteriormente calculado.

A vazão mínima de alimentação é estimada com o uso da equação:

$$Q_{\min} = \frac{C_d}{86400} \quad (Eq. 7)$$

Onde,

$Q_{\min}$ = vazão mínima, em l/s;

C_d = consumo diário, em l.

Para a determinação do diâmetro interno mínimo do ramal predial, adota-se:

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q_{\min}}{\pi \cdot V}} \quad (Eq. 8)$$

Onde,

$D_{\min}$ = diâmetro mínimo, em m;

$Q_{\min}$ = vazão mínima, em m³/s;

V = velocidade, em m/s.

Adota-se velocidade na faixa de:

$$0,60 \text{ m/s} \leq V \leq 1,0 \text{ m/s}$$

Portanto, o ramal predial do edifício é dimensionado, conforme Quadro 3, como o diâmetro comercial que possua diâmetro interno imediatamente maior que o diâmetro encontrado no cálculo do dimensionamento.

Quadro 3 – Dimensões do tubo PVC (Cloreto de Polivinila, cor marrom).

Cotas	Dimensões (mm)								
	20	25	32	40	50	60	75	85	110
B	32	32	32	40	50	60	70	77	91
D	20	25	32	40	50	60	75	85	110
e	1,5	1,7	2,1	2,4	3,0	3,3	4,2	4,7	6,1
L	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000	6000

Fonte: adaptado TIGRE (2016).

Como o sistema de abastecimento do edifício estudado é indireto, haverá a elevatória de água, apresentada na Figura 30, que é todo o conjunto de instalações (tubos, conexões e metais) e eletrobombas que farão o transporte da água armazenada no reservatório inferior para o reservatório superior.

Para o dimensionamento do sistema de recalque de água potável, levou-se em consideração o volume bombeado diariamente, o tempo de funcionamento da bomba, a vazão de recalque e a altura manométrica. Estes dados são primordiais para a escolha do conjunto de bombas.

O tempo de funcionamento da bomba a ser considerado é de 4,5 h. Esse valor é determinado considerando os horários de pico de uso do sistema predial de água fria, ou seja, intervalos de 1,5 h que ocorrem três vezes ao dia, no início da manhã, no horário de almoço e no início da noite.

Figura 30 – Casa de bombas no Subsolo 2 com a elevatória de água potável.



Fonte: Própria do autor, 2021.

Desta forma, para encontrar a vazão de recalque, utiliza-se a equação:

$$Q_r = \frac{C_d}{N_h} \quad (Eq. 9)$$

Onde,

Q_r = vazão de recalque, em m³/h;

C_d = consumo diário, em m³;

N_h = tempo de funcionamento da bomba, em h.

O cálculo do diâmetro econômico do recalque em função da vazão se dá:

$$D_{econ} = \left(\frac{N_h}{24} \right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{Q_r}{3600} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot 1,3 \cdot 1000 \quad (Eq. 10)$$

Onde,

D_{econ} = diâmetro econômico interno, em m;

N_h = tempo de funcionamento da bomba, em h;

Q_r = vazão de recalque, em m³/h.

A partir do valor encontrado para o diâmetro econômico, adota-se para especificação e detalhamento em projeto, o diâmetro comercial que possua o diâmetro interno imediatamente acima do diâmetro econômico.

Portanto, para o recalque de água fria utilizou-se tubulação de PBS Classe 20, que possui pressão de serviço até 10 kgf/cm² (100 mca). O diâmetro nominal foi considerado conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Dimensões do tubo PBS (Ponta Bolsa Solda).

DIMENSÕES (mm)										
Classe	20				12	15	20	12	15	20
Cotas	50	60	75	100	140	140	140	180	180	180
B	90	70	77	91	121	121	121	145	145	145
DE	60	75	85	110	160	160	160	200	200	200
e	4,3	5,3	6,1	7,8	7,3	8,9	11,4	9,1	11,1	14,3
L	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000	6.000

Fonte: Tigre (Adaptado), 2013.

É importante salientar que a velocidade da água no Sistema de Recalque deve ficar entre 1,0 e 2,5 m/s.

Se a velocidade for menor que 1,0 m/s, indica que o diâmetro do tubo pode ser reduzido, acarretando a economia com as instalações. No entanto, se a velocidade estiver acima de 2,5 m/s, indica que o diâmetro do tubo deve ser aumentado, pois a velocidade alta ocasiona ruídos e vibrações desnecessárias.

Desta forma, para encontrar a velocidade do recalque, utiliza-se a equação:

$$V = \frac{Q_r}{S} \quad (Eq. 11)$$

Onde,

V = velocidade, em m/s;

Q_r = vazão de recalque, em m³/s;

S = área de seção do tubo (interno), em m.

Adiante, aborda-se o cálculo da altura manométrica, que é o valor encontrado que determina a pressão dinâmica necessária do sistema de recalque.

Para cálculo da altura manométrica total, utiliza-se a equação abaixo:

$$HMT = H_s + H_r + J_s + J_r \quad (Eq. 12)$$

Onde,

HMT = altura manométrica total, em m;

H_s = altura geométrica da sucção, em m;

H_r = altura geométrica do recalque, em m;

J_s = perda de carga na sucção, em m;

J_r = perda de carga no recalque, em m.

A sucção do reservatório é em PVC soldável, com diâmetro de 85 mm (75,6mm de diâmetro interno).

Para a seleção do conjunto motobombas, deve-se sempre consultar a aplicação recomendada para o modelo de bomba. Para a situação estudo de caso, deve-se ter como característica em sua aplicação o abastecimento predial ou recalque de água potável. Também é necessário avaliar as curvas de performance e curvas de eficiência das bombas para que o modelo escolhido não trabalhe com sobrecarga, aumentando gastos com energia e desgastes de suas peças.

O ideal é que a escolha do modelo seja feita no centro da curva de trabalho fornecida pelo fabricante, ou seja, a vazão e a pressão de trabalho do equipamento não estejam no início ou no final da curva, pontos em que a eficiência da bomba possui os menores valores.

Como pode ser visto na Figura 31, sabe-se que a bomba utilizada para o empreendimento “A” é trifásica e possui potência de 20 CV (Cavalo Vapor).

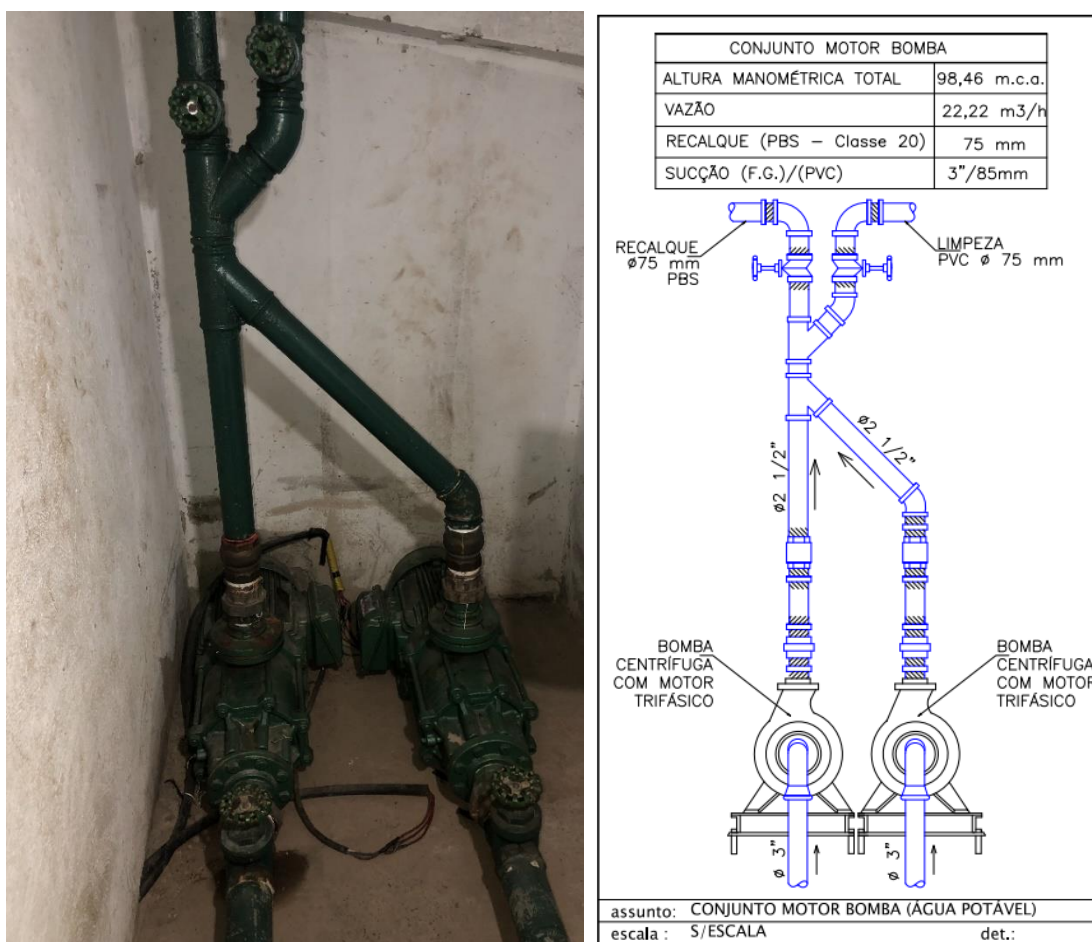
Figura 31 – Placa de identificação da motobomba.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Na Figura 32, tem-se o registro fotográfico de visita técnica ao “Empreendimento A” mostrando o conjunto de motobombas instaladas no ambiente técnico ao lado do reservatório inferior. Ao lado, há o detalhe apresentado em projeto hidrossanitário, que especifica as peças, dispositivos e dados pertinentes deste conjunto.

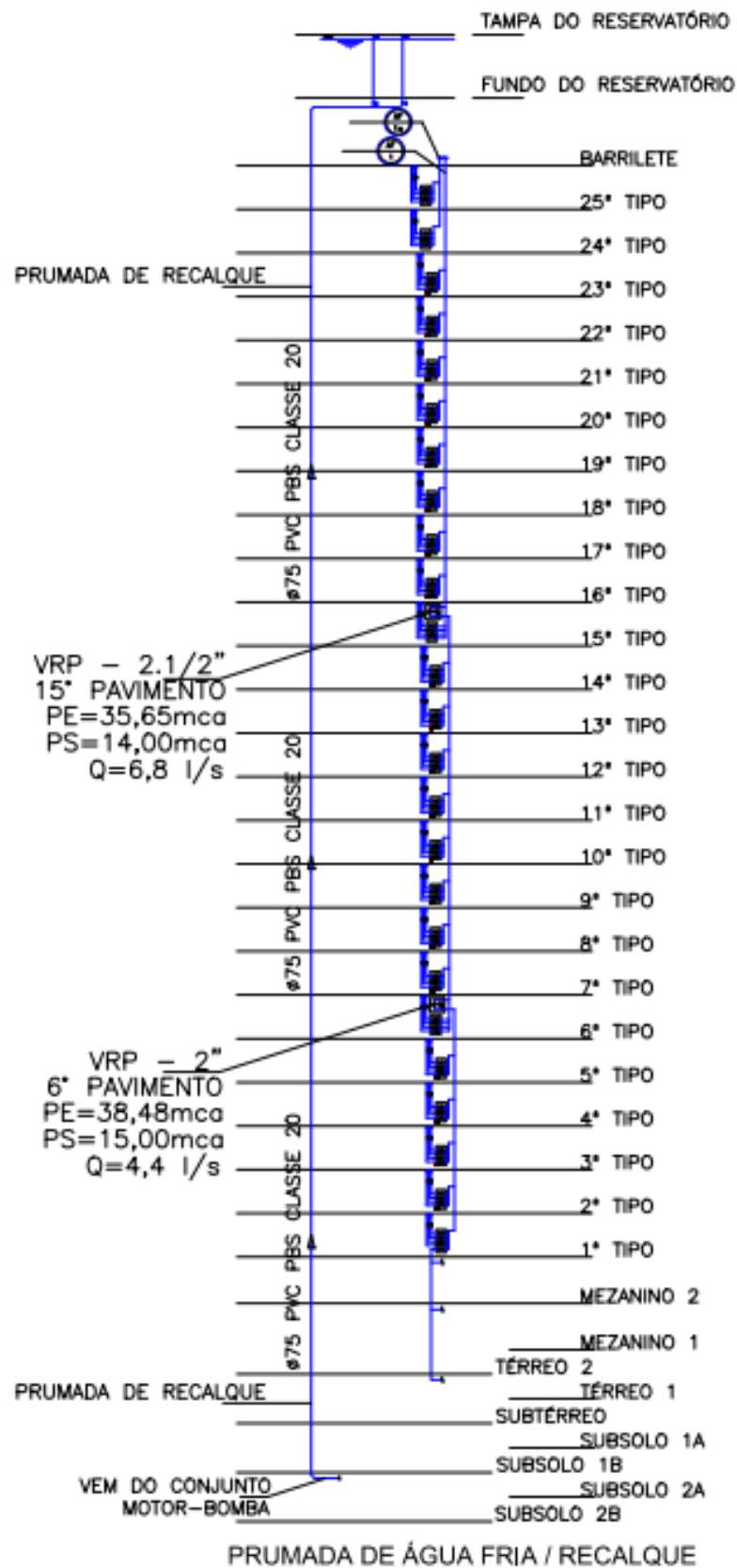
Figura 32 – Conjunto de motobombas instalada no ambiente “Casa de Bombas” e detalhe em projeto do Conjunto Motor Bomba (Água Potável).



Fonte: Própria do autor, 2022.

Para a distribuição de água nas unidades privativas, o “Empreendimento A” adotou o sistema descendente, que é o sistema onde a água sai do barrilete de distribuição e alimenta a coluna de abastecimento das unidades de cima para baixo. Este é o sistema mais comum que atende as exigências de medição individuais. Nele as Estações Redutoras de Pressão são instaladas no pavimento de transição das pressões. A Figura 33 apresenta o esquemático das prumadas de água fria.

Figura 33 – Esquemático das prumadas de água fria do “Empreendimento A”.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Para o “Empreendimento A”, do barrilete (Figura 34) derivam-se três colunas que alimentam os apartamentos e sua área comum.

Figura 34 – Ambiente do Barrilete no “Empreendimento A”.

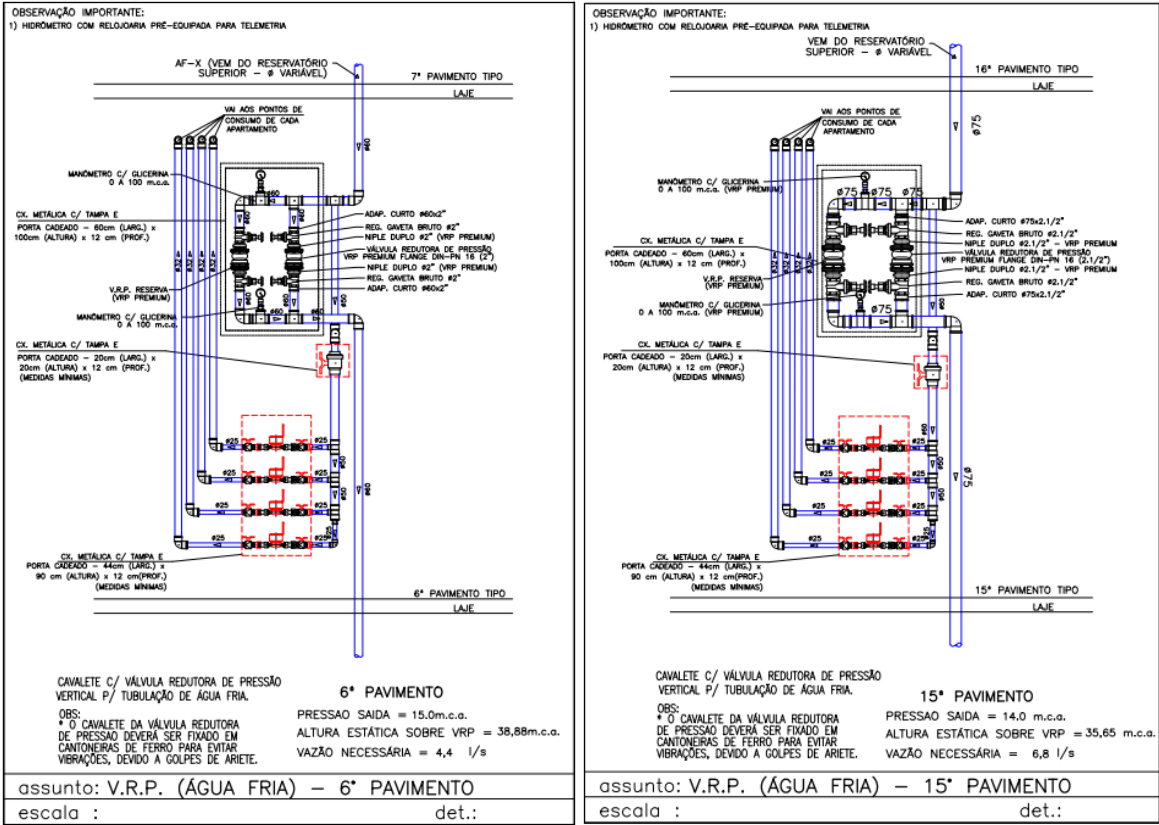


Fonte: Própria do autor, 2022.

Tem-se uma coluna de alimentação para atender os dois últimos pavimentos (24º e 25º pavimento), que pela proximidade do reservatório são considerados “mais desfavoráveis” em relação à pressão. Há uma outra coluna gravitacional para alimentar os apartamentos entre o 16º e 23º pavimento, este trecho está dentro do limite de pressão estabelecido por norma de 40 mca.

Por fim, existe uma coluna de alimentação dos apartamentos compreendidos entre o 1º e o 15º pavimento. Para esta coluna, foram instaladas válvulas redutoras de pressão (VRPs) no 15º pavimento e no 6º pavimento, conforme Figuras 35 e 36.

Figura 35 – Detalhes das Estações Redutoras de Pressão (ERP) em projeto hidrossanitário.



Fonte: Própria do autor, 2022.

Figura 36 – ERP no 6º Pavimento Tipo (esquerda) e no 15º Pavimento Tipo (direita).



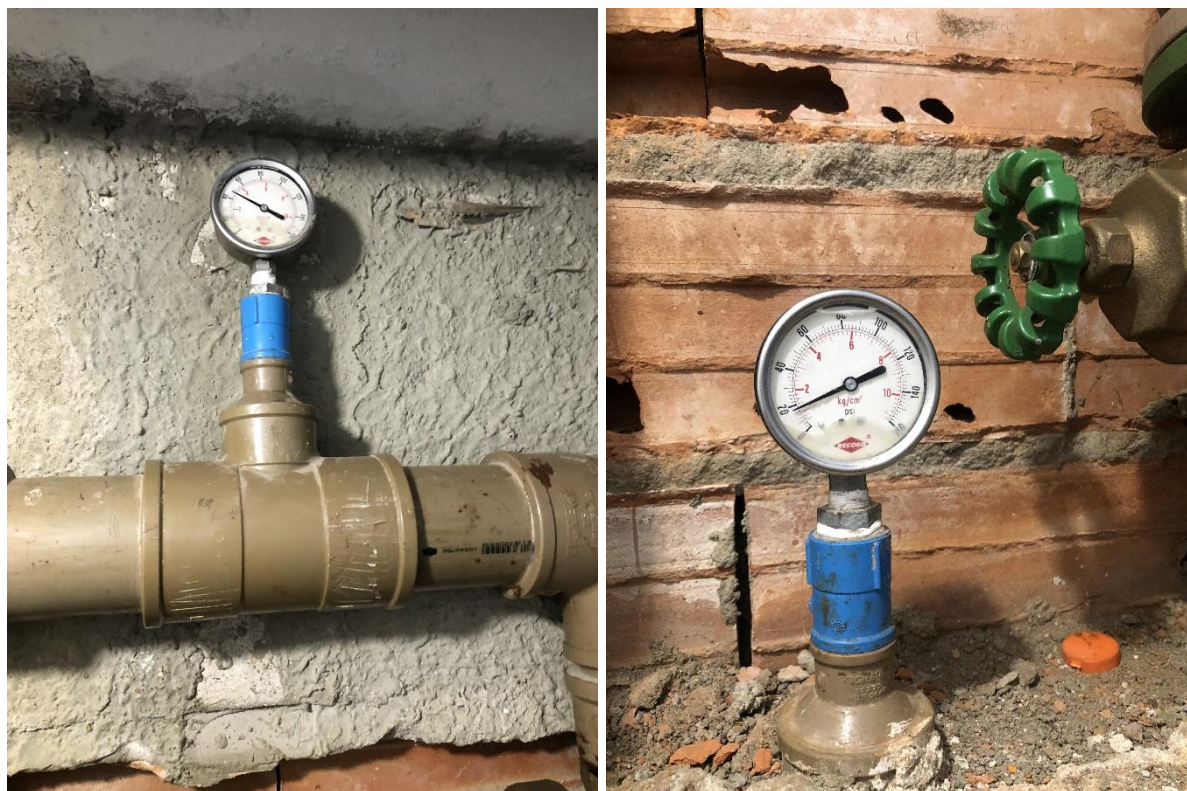
Fonte: Própria do autor, 2022.

No “Empreendimento A”, há 2 pontos disponíveis para a geração de energia. Ambos se encontram no ambiente das estações redutoras de pressão (ERPs).

No projeto hidrossanitário foi previsto que no 15° pavimento, a VRP tenha 2.1/2”, com pressão de entrada igual a 35,65 mca e pressão de saída igual a 14,00 mca. Já no 6° pavimento, a VRP deve ser de 2”, com pressão de entrada igual a 38,48 mca e pressão de saída igual a 15,00 mca.

Na visita em obra, foi constatado por meio da leitura dos manômetros (Figura 39) que na ERP do 15° pavimento, antes da VRP há uma pressão de entrada de aproximadamente 44 mca, enquanto que após a VRP tem-se uma pressão de saída aproximada de 19 mca. Ambas as leituras estão acima do valor estimado em projeto, onde pode estar ocorrendo uma sobrepressão no sistema ou que os manômetros estejam descalibrados e necessitem de manutenção.

Figura 37 – Manômetro a montante (esq.) e a jusante (dir.) da VRP no 15° pavimento.



Fonte: Própria do autor, 2022.

No 15° pavimento tem-se uma pressão de entrada igual a 35,85 mca e uma vazão necessária de 6,8 L/s (dado fornecido em projeto). Já no 6° pavimento, há uma pressão de entrada de 38,88 mca e uma vazão necessária de 4,4 L/s. Estes dados serão importantes para a melhor escolha das turbinas a serem instaladas.

3.3 Análise da viabilidade do projeto

A análise da viabilidade do projeto leva em consideração os efeitos que a implantação do sistema pode ocasionar na rede existente. Para isso, ao considerar a proposição de aproveitamento da energia dissipada nas válvulas redutoras de pressão, busca-se estudar seus possíveis impactos.

Ponderando as despesas e os lucros provenientes do projeto, a análise da viabilidade procura impedir ou minimizar qualquer tipo de prejuízo. É importante ressaltar que a viabilidade do projeto não está ligada ao seu sucesso financeiro. Muitos são os casos, que apesar de pequenas vantagens econômicas, o projeto proporciona relevante contribuição ao meio ambiente, ao se promover e aplicar a utilização de fontes renováveis de energia.

3.4 Escolha dos equipamentos de geração de energia

De acordo com a disponibilidade dos espaços técnicos e as características do projeto hidrossanitário desta edificação, é realizada a escolha dos equipamentos pertinentes para a geração de energia que melhor se enquadram neste sistema predial de água fria.

Para o estudo de caso, a escolha do tipo de turbina levará em consideração as condições de queda de água em altura e vazão, de acordo com os critérios de segurança de funcionamento, rendimento elevado, capacidade de adaptação ao valor requerido de rotações e relação custo-benefício acerca dos processos de aquisição, instalação e conservação, conforme apresentado por Silva (2019).

Dalzotto (2012) destaca que esse processo deve ser realizado com cuidado, sendo importante avaliar a geração de energia esperada bem como as consequências estruturais ao empreendimento.

3.5 Posicionamento e procedimentos de instalação das turbinas

De acordo com a revisão bibliográfica, as turbinas devem ser posicionadas em locais onde haja pressão excedente e maiores vazões. Sabendo que o local de maior pressão seja imediatamente anterior às VRPs, este estudo pauta-se na sugestão de instalação destes equipamentos em posição adequada, adaptando a

ERP já existente, para que as turbinas sejam inseridas no sistema e possuam o seu melhor aproveitamento, sem comprometer os princípios que regiam a sua concepção.

Os procedimentos de instalação das turbinas de geração de energia são detalhados em documentos de estudo de inventário energético a fim de identificar os pontos de maior potencial e as configurações de queda que propiciam o melhor aproveitamento. Seguindo este pensamento, houve a identificação dos locais mais viáveis para a instalação e os procedimentos mais adequados para a constituição da unidade geradora de energia.

3.6 Quantificação da energia passível de ser aproveitada no condomínio

Este tópico metodológico consiste na estimativa do potencial que o sistema possui para a geração de energia. Através da bibliografia disponível é possível quantificar a energia potencialmente aproveitável no sistema, prevendo valores aproximados da quantidade de energia gerada, além da definição de parâmetros de avaliação da eficácia do sistema no aproveitamento de energia a partir das instalações prediais de água do edifício.

Farret (1999) aponta que o potencial energético de uma turbina é dado pela seguinte equação:

$$P_t = n \cdot \rho \cdot g \cdot Q \cdot H_m \quad (Eq. 13)$$

Onde,

P_t = potência da turbina, em Watts;

n = rendimento da turbina;

ρ = densidade da água, em kg/m³;

g = gravidade, em m/s²;

Q = vazão do sistema, em m³/s;

H_m = altura manométrica, em N/m².

Com certa facilidade é verificado que a energia produzida é dependente da pressão do sistema. No intuito de se obter a energia gerada dentro de um determinado intervalo de tempo, substitui-se a vazão pelo volume total de consumo no sistema predial de água fria.

Desta forma, a geração de energia é calculada por meio da equação a seguir:

$$E_t = n \cdot \rho \cdot g \cdot V \cdot H_m \quad (Eq. 14)$$

Onde,

E_t = energia potencial, em Joules;

V = volume de água consumido no mês, em m³.

3.7 Definição do destino final da energia gerada

A partir dos dados estimados anteriormente, o intuito deste trabalho consiste na definição do destino final da energia gerada. Com esse valor calculado, pode-se realizar o estudo do consumo de energia nas áreas comuns do edifício e definir, de acordo com a capacidade do sistema, os locais da rede elétrica que seriam possíveis atender com essa energia gerada.

Para o cálculo do consumo de energia no “Empreendimento A” devem ser levadas em conta três variáveis: a potência, o número de horas e os dias de uso. Com isso, é necessário que se proceda um cálculo bastante simples, que consiste multiplicar a potência de determinado aparelho ou equipamento pelo tempo de funcionamento das mesmas e prevendo a quantidade de dias em que serão usados.

O cálculo de consumo energético é dado por:

$$C_e = n_e \cdot P \cdot t \cdot n_d \quad (Eq. 15)$$

Onde,

C_e = consumo de energia, em kWh;

n_e = número de equipamentos;

P = potência do equipamento, em Watts;

t = tempo de funcionamento do equipamento, em h;

n_d = número de dias de funcionamento do equipamento durante um mês.

A quantidade de equipamentos atendidos pela energia potencial gerada pelo sistema é dada pela seguinte equação:

$$n_e = \frac{\sum E_t}{C_e} \quad (Eq. 16)$$

Onde,

n_e = quantidade de equipamentos atendidos;

$\sum E_t$ = somatório da energia potencial gerada pelas turbinas, em Joules;

C_e = consumo de energia, em kWh.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo são apresentados os cálculos e seus respectivos resultados, a partir dos dados e parâmetros obtidos em visita técnica e através do projeto existente.

Inicialmente, calcula-se a população do “Empreendimento A”. O primeiro passo é determinar a população dos apartamentos de 2 quartos, utilizando a Eq. 1:

$$\text{População Apto 2Q} = (2 \text{ quartos}) \cdot (2 \text{ moradores/quarto})$$

$$\text{População Apto 2Q} = 4 \text{ moradores/ apartamento}$$

Em seguida, por meio da Eq. 2, calcula-se a população dos apartamentos de 3 quartos:

$$\text{População Apto 3Q} = (3 \text{ quartos}) \cdot (2 \text{ moradores/quarto})$$

$$\text{População Apto 3Q} = 6 \text{ moradores/ apartamento}$$

Por meio da Eq. 3, calcula-se a população por pavimento:

$$\text{População por pavimento} = [(2 \text{ aptos de 2Q}) \cdot (4 \text{ moradores/ apartamento}) + (2 \text{ aptos de 3Q}) \cdot (6 \text{ moradores/ apartamento})]$$

$$\text{População por pavimento} = 20 \text{ moradores/ pavimento}$$

Por fim, com a Eq. 4, encontra-se a população total do “Empreendimento A”:

$$\text{População total} = (25 \text{ pavimentos}) \cdot (20 \text{ moradores/ pavimento})$$

$$\text{População total} = 500 \text{ moradores}$$

Com o valor encontrado para a população do edifício, calcula-se o consumo diário (C_d) de água utilizando a Eq. 5:

$$C_d = 200 \text{ litros/dia/morador} \cdot 500 \text{ moradores}$$

$$C_d = 100.000 \text{ litros/dia}$$

Portanto, considerando o consumo diário e um fator de reserva de 1,5 dia, o volume total dos reservatórios (inferior e superior), foi estabelecido em 150.000 litros.

Como o “Empreendimento A” tem ocupação/uso “Residencial” e a descrição de “Habitação multifamiliar”, considera-se a divisão A-2, ver Quadro 1.

Para área da edificação acima de 10.000 m² até 20.000 m² e área de risco do Tipo 2, na NT-22/2014, a reserva técnica de incêndio (RTI) a ser considerado deve ser de 25 m³, ver Quadro 2.

Desta forma, considerando o consumo e a reserva técnica de incêndio, o volume total de cálculo dos reservatórios é de 175.000 litros.

No projeto realizado para o “Empreendimento A”, esse volume de 175.000 litros foi dividido da seguinte forma:

- Volume do Reservatório Inferior = **88.000 litros** (58,67% do consumo);
- Volume do Reservatório Superior = 62.000 litros (41,33% do consumo)
+ 25.000 litros (RTI) = **87.000 litros**.

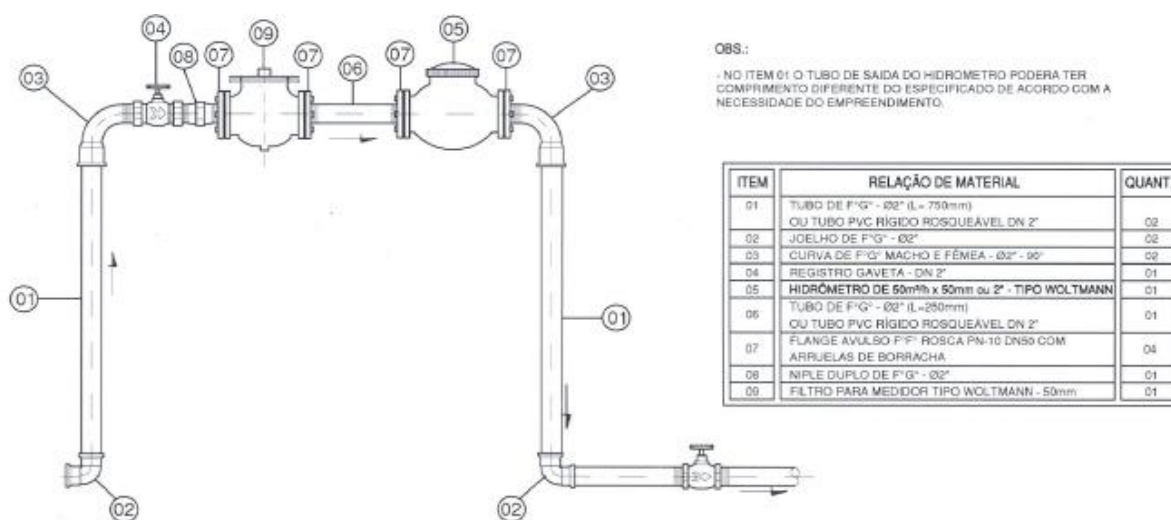
Para o dimensionamento e determinação do modelo de hidrômetro macro do “Empreendimento A”, levou-se em conta a Eq. 6:

$$C_{mm} = (100.000 \text{ litros/dia}) \cdot (30 \text{ dias})$$

$$C_{mm} = 3.000.000 \text{ litros/mês} = 3.000 \text{ m}^3/\text{mês}$$

No “Empreendimento A” o hidrômetro a ser usado é de 50mm – Tipo Woltmann, Figura 38.

Figura 38 – Cavalete padrão "E" – Ø2"- Hidrômetro 50mm ou 2" – Tipo Woltmann.



Fonte: SANEAGO (Adaptado), 2021.

Analisando o consumo médio mensal de 3.000 m³ por mês, obtém-se uma vazão média igual a 1,15 L/s.

A vazão mínima de alimentação é estimada com o uso da Eq. 7:

$$Q_{mín} = \frac{100.000 \text{ L}}{86400 \text{ s}}$$

$$Q_{mín} = 1,15 \text{ L/s} = 0,0011574 \text{ m}^3/\text{s}$$

Para determinar o diâmetro interno mínimo do ramal predial, adota-se a Eq. 8:

$$D_{\min} = \sqrt{\frac{4 \cdot (0,0011574 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi \cdot (0,80 \text{ m/s})}}$$

$$\mathbf{D_{\min} = 0,0429302 \text{ m} = 42,93 \text{ mm}}$$

Portanto, o ramal predial do edifício, conforme Tabela 5, ficou definido como de 50mm (PVC soldável), visto que o mesmo possui 44mm de diâmetro interno.

Para encontrar a vazão de recalque, utiliza-se a Eq. 9:

$$Q_r = \frac{100 \text{ m}^3}{4,5 \text{ h}}$$

$$\mathbf{Q_r = 22,22 \text{ m}^3/\text{h}}$$

A Eq. 10 nos fornece o cálculo do diâmetro econômico do recalque em função da vazão, conforme apresentado abaixo:

$$D_{econ} = \left(\frac{4,5 \text{ h}}{24}\right)^{\frac{1}{4}} \cdot \left(\frac{22,22 \text{ m}^3/\text{h}}{3600}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot 1,3$$

$$\mathbf{D_{econ} = 0,06721 \text{ m} = 67,2 \text{ mm}}$$

Portanto, para o recalque de água fria, conforme Quadro 6, utilizou-se tubulação de PBS Classe 20, que possui pressão de serviço até 10 kgf/cm² (100 mca), com diâmetro nominal de 75 mm (72,8 mm de diâmetro interno).

Para encontrar a velocidade do recalque, utiliza-se a Eq. 11:

$$V = \frac{4 \cdot (0,006172 \text{ m}^3/\text{s})}{\pi \cdot (0,0728 \text{ m})^2}$$

$$\mathbf{V = 1,483 \text{ m/s}}$$

Portanto, a velocidade do recalque calculada está adequada, pois a norma ABNT NBR 5626 (ABNT, 2020) estabelece que ela não ultrapasse o limite de 3 m/s.

Para a determinação da altura manométrica total da elevatória de água, contando com o auxílio de uma planilha do programa Excel®, foram inseridos os dados de projeto para que fossem calculados os comprimentos virtuais tanto da sucção como do recalque e de suas respectivas perdas de carga. Na Tabela 4, os resultados são apresentados.

Tabela 4 – Altura Manométrica Total para escolha da bomba.

Grandezas	Valores Calculados
Comprimento virtual (sucção)	20,7 m
Comprimento virtual (recalque)	176,0 m
Hs (altura geométrica sucção)	0,0 m
Hr (altura geométrica recalque)	92,0 m
Js (perda carga sucção)	1,4 m
Jr (perda carga recalque)	5,0 m
AMT (altura manométrica total)	98,46 m.c.a

Fonte: Própria do autor, 2021.

Com os dados apresentados no Tabela 5, já é possível a seleção do Conjunto Motobombas necessário para o funcionamento do Sistema de Recalque.

Tabela 5 – Dados para escolha das bombas de recalque.

Vazão de recalque	22,22 m³/h
Altura manométrica total	98,46 m.c.a.

Fonte: Própria do autor, 2021.

A partir do cálculo destas grandezas, a bomba que melhor atende às necessidades da elevatória de água é a bomba centrífuga multiestágios da marca Schneider, modelo ME-33200 A160, apresentada na Figura 39 e na Quadro 4.

Figura 39 – Modelo de bomba selecionado para a elevatória de água.

Fonte: Schneider, 2019.

Quadro 4 – Seleção de bombas a partir da curva característica no catálogo da Schneider.

MODELO (ME-3)	Potência (cv)	Estágios	Monofásico	Trifásico	Ø Sucção (pol)	Ø Recalque (pol)	Pressão máxima sem vazão (m.c.a.)	Altura máxima de sucção (m.c.a.)	Ø Rotor (mm)	CARACTERÍSTICAS HIDRÁULICAS																
										Altura Manométrica Total (m.c.a.)																
										100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170		
										Vazão em m³/h válida para sucção de 0 m.c.a.																
ME-33200 A160	20	3		x	3	2 1/2	140	8	160	32,0	30,7	29,3	27,7	25,7	23,0	19,2										
ME-33250 A168	25	3		x	3	2 1/2	156	8	168	*	*	33,1	32,0	30,7	29,3	27,7	25,8	23,2	19,7	14,7						
ME-34300 A165	30	4		x	3	2 1/2	197	8	165	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	29,0	27,8	26,4	*	
ME-34400 A178	40	4		x	3	2 1/2	233	8	178	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
ME-33250 B160	25	3		x	3	2 1/2	144	8	160	*	*	38,3	36,5	34,6	32,3	29,8	26,7	22,4								
ME-33300 B170	30	3		x	3	2 1/2	165	8	170	*	*	*	*	*	*	38,2	36,4	34,5	32,4	29,9	26,8	22,2				

Fonte: Adaptado SCHNEIDER (2019).

No 15º Pavimento do “Empreendimento A”, utilizando a pressão excedente na coluna de distribuição de água, imediatamente anterior às válvulas redutoras de

pressão, propõe-se a instalação de uma turbina para geração de energia. Com uma pressão de entrada igual a 35,85 mca e vazão aproximada de 6,8 L/s, a turbina que se adequa de melhor forma à estas características, é a turbina Pelton. Este modelo possui rendimento estimado de 80%. Deve-se considerar o consumo médio mensal de 3.000 m³/mês.

Portanto, por meio da Eq. 14 tem-se que a energia potencial na Turbina 1 será da ordem de:

$$E_t = 0,8 \cdot (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (3000 \text{ m}^3) \cdot (35,85 \text{ mca})$$

$$E_t = 843.192.000 \text{ J/mês}$$

$$E_t = \mathbf{234,24 \text{ kWh/mês}}$$

Para o caso do 6º Pavimento, será também proposta a instalação de uma turbina para geração de energia a montante das válvulas redutoras de pressão (VRPs). Com uma pressão de entrada igual a 38,88 mca e vazão aproximada de 4,4 L/s, a turbina que se adequa de melhor forma à estas características, também é a turbina Pelton, modelo que possui rendimento estimado de 80%. O consumo médio mensal considera é de 3.000 m³/mês.

Para determinar a energia potencial na Turbina 2, também se utiliza a Eq. 14, como apresentado abaixo:

$$E_t = 0,8 \cdot (1000 \text{ kg/m}^3) \cdot (9,8 \text{ m/s}^2) \cdot (3000 \text{ m}^3) \cdot (38,88 \text{ mca})$$

$$E_t = 914.457.600 \text{ J/mês}$$

$$E_t = \mathbf{254,03 \text{ kWh/mês}}$$

Na Tabela 6, apresenta-se os resultados obtidos na estimativa de geração de energia nas turbinas, em kWh/mês.

Tabela 6 – Estimativa da energia gerada nas turbinas.

Turbina	Geração de energia (kWh/mês)
1	234,24
2	254,03
Total	488,27

Fonte: Própria do autor, 2021.

De acordo com o projeto elétrico do “Empreendimento A”, obtêm-se a informação de que nos pavimentos de garagem e nas áreas comuns do condomínio, há luminárias de sobrepor para 2 lâmpadas fluorescentes de 32 W.

Assim, o cálculo de consumo energético desta luminária é dado pela Eq. 15:

$$C_e = 2 \cdot 32W \cdot 8 h \cdot 30 d$$

$$C_e = 15.360 Wh/mês$$

$$C_e = 15,36 kWh/mês$$

Utilizando esse modelo de luminária como destinação final do sistema de microgeração de energia nas Estações Redutoras de Pressão (ERP), a partir da Eq. 16 tem-se que:

$$n_e = \frac{488,27kWh/mês}{15,36 kWh/mês}$$

$$n_e = 31,79 \text{ luminárias}$$

$$n_e \cong 31 \text{ luminárias}$$

A geração de energia através das turbinas é capaz de manter o funcionamento de 31 luminárias de sobrepôr para 2 lâmpadas fluorescentes de 32 W, atendendo parte da iluminação das áreas comuns do “Empreendimento A”.

Sabe-se que o modelo adotado no projeto, de lâmpadas fluorescentes, está desatualizado com a tendência atual do uso de lâmpadas de LED. Desta forma, o condomínio poderia avaliar a substituição das luminárias existentes para o modelo de luminárias de sobrepôr para 2 lâmpadas LED de 18 W. Essa medida provocaria um aumento da quantidade de lâmpadas que o sistema de geração de energia poderia atender.

De tal modo, utilizando-se novamente da Eq. 15, tem-se o cálculo de consumo energético desta nova luminária:

$$C_e = 2 \cdot 18W \cdot 8 h \cdot 30 d$$

$$C_e = 8.640 Wh/mês$$

$$C_e = 8,64 kWh/mês$$

Utilizando esse novo modelo de luminária como destinação final do sistema de microgeração de energia nas Estações Redutoras de Pressão (ERP), também utilizando-se da Eq. 16, tem-se que:

$$n_e = \frac{488,27kWh/mês}{8,64 kWh/mês}$$

$$n_e = 56,51 \text{ luminárias}$$

$$n_e \cong 56 \text{ luminárias}$$

Portanto, com essa adequação das luminárias utilizadas, tem-se uma capacidade de atendimento no condomínio próxima do dobro quando comparada com as luminárias existente.

Levando em consideração, a tarifa com tributos aplicada pela companhia elétrica na cidade de Goiânia-GO que é de R\$ 0,936360, com a geração de 488,27 kWh/mês, tem-se uma economia da ordem de R\$ 457,20/mês. Como a conta condominial é dividida entre 100 condôminos (quantidade de apartamentos do “Empreendimento A”), a economia mensal da taxa de condomínio seria menor que R\$ 5,00/mês.

O sistema mostrou-se com baixo impacto financeiro, o que implica em pouca viabilidade se considerado apenas o fator econômico. No entanto, o estudo apresenta que é possível aproveitar a energia dissipada nas válvulas redutoras de pressão para consumo no próprio condomínio, como uma alternativa para gerar energia por meio de uma fonte que é desperdiçada nas instalações.

Assim, confirma-se que iniciativas em busca de soluções desta natureza podem ser uma forma sustentável e energeticamente exequível. Contudo, é necessário que o sistema também seja viável economicamente para que seja possível convencer síndicos e condôminos a implantarem o sistema apresentado em seus respectivos condomínios.

5. CONCLUSÃO

A partir do estudo desenvolvido ao longo deste trabalho, por meio da análise das instalações prediais de água fria de um edifício residencial de múltiplos pavimentos, classificado como alto, com apenas uma torre, com altura de 79,55 m e com disponibilidade de duas estações redutoras de pressão (ERPs), conclui-se que a proposta de implementação de um sistema de microgeração de energia, aproveitando-se da pressão e vazão presentes nas prumadas de água, é exequível e surge como uma fonte alternativa de geração energética pertinente e que deve ser considerada.

No entanto, como apresentado, conclui-se que este projeto em específico é inviável financeiramente, visto que a economia gerada pelo sistema ainda é pequena quando comparada aos custos de implantação do sistema.

Contudo, é importante ressaltar que essa condição não é definitiva, uma vez que para outros empreendimentos com características distintas do edifício aqui estudado, o sistema pode ter uma maior geração de energia, melhorando a sua viabilidade. Outro fator que pode contribuir para melhoria dos resultados apresentados é o estudo da instalação deste sistema em outras posições ao longo do sistema predial de água fria, o que pode ocasionar maior eficiência em sua operação.

Por fim, tendo em vista que o projeto se mostrou relevante, recomenda-se a continuidade deste estudo na pós-graduação, através de um projeto de pesquisa que poderá ser submetido a captação financeira, para que seja possível aplicar de forma mais precisa, a metodologia sugerida na presente monografia.

6. REFERÊNCIAS

AGÊNCIA CÂMARA DE NOTÍCIAS. **Fontes de energias renováveis**. Disponível em: < www.camara.leg.br/noticias/58826-fontes-de-energias-renovaveis > Acesso em: 11 jul. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas da Energia Elétrica do Brasil**. Brasília: ed. 3, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626 – Sistemas prediais de água fria e água quente – Projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro, 2020.

BENEVOLO, Leonardo. **História da arquitetura moderna**. São Paulo: Editora Perspectiva, 2001.

BERMAD. **Redutora de pressão – 42 LP**. 2016c. Disponível em: <<https://www.bermad.com/br/products/predial/potable-pt-br/>>. Acesso em: 20 jun. 2021.

BONOW, Antonio Alice; IBAÑEZ, Gedson Bohrer; NETO, Túlio Pinto. **O Uso do Potencial Hidráulico Predial para Microgeração de Energia Elétrica**. 6p. Artigo (Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; JUNIOR, Geraldo de Andrade Ribeiro. **Instalações hidráulicas prediais utilizando tubos plásticos**. 4ª ed. São Paulo: Blucher, 2014.

CAMPOS, Marcos Carvalho. **Máquinas hidráulicas**. Curitiba, 2015.

CASSIANO DE ARAÚJO, Cristiano. **O Programa Crédito Solidário: os métodos de focalização e os critérios de elegibilidade como estruturas normativas de uma "trajetória dependente"**. Dissertação (Mestrado em Ciências Sociais) – Belo Horizonte: PUC Minas. 2009.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações hidráulicas e o projeto de arquitetura**. 7.ª ed. - São Paulo: Blucher, 2013.

CASTRO, Rui M.G.; **Introdução a Energia Mini-Hídrica**. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa: 2002.

CBM-GO. **Anexo A – exigências de medidas de segurança contra incêndio e pânico**. Disponível em: < https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2020/06/NT-01_2020-Procedimentos-Administrativos-ANEXO-A.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2022.

CBM-GO. **NORMA TÉCNICA 22/2014 - Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio**. Disponível em: <https://www.bombeiros.go.gov.br/wp-content/uploads/2014/10/nt-22_2014-sistemas-de-hidrantes-e-de-mangotinhos-para-combate-a-incendio.pdf>. Acesso em: 12 jan. 2022.

CHAPMAN, S. J. **Electric machinery fundamentals**. Boston: McGraw-Hill 2005.

CHECHINEL, Karina Malisca; SPECK, Jaison Araújo. **Microgeração de energia elétrica a partir do potencial hidráulico predial**. UNESC, 2018.

CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 6.^a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2007.

DALZOTTO, Guilherme Jose. **Avaliação prévia de viabilidade técnica e econômica para implantação de AHE (aproveitamento hidrelétrico)**. 2012. 112 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso –Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

ELETROBRÁS. **Diretrizes de Estudos e Projetos de Pequenas Centrais Hidrelétricas**. Brasília, 2012.

ENERGIA. **Energias renováveis: De onde são e porque utilizá-las**. Disponível em: <www.aondevamos.eng.br>. Acesso em: 24 jul. 2021.

FARRET, A. F.; SIMÕES, M. G. **Integration of Alternative Sources of Energy**. Hoboken: Willey – IEEE Press, 2006.

FERNANDES, Filipe de Almeida; URBANO, José Eleandro. **Taxa de vazão de água predial**. Anais do EVINCI - UniBrasil, 2016.

GERMER, Eduardo. **Turbinas**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em <http://paginapessoal.utfpr.edu.br/eduardomg/maquinas-de-fluxo/materia/Cap.6_Turbinas.pdf/at_download/file>. Acesso em 18 de jun. de 2021.

GOLDMEIER, Ronildo. **Noções gerais sobre energia elétrica de origem hidráulica no Brasil**. Florianópolis, 2013.

GOMES, Carla da Gama Soares. **Noções de geração de energia utilizando algumas fontes de baixo impacto ambiental**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2010.

ILHA, Marina Sangoi de Oliveira; GONÇALVES, Orestes Marraccini. **Sistemas Prediais de Água Fria**. São Paulo: EPUSP, 1994. 106p. – (Texto Técnico/ Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil, TT/PCC/08).

InterAcademy Council. **Um futuro com energia sustentável: iluminando o caminho**. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo; tradução, Maria Cristina Vidal Borba, Neide Ferreira Gaspar. – [São Paulo]: FAPESP; [Amsterdam]: InterAcademy Council; [Rio de Janeiro]: Academia Brasileira de Ciências, 2010. 300 p.: il.; 24 cm. Tradução de: Lighting the way: toward a sustainable energy future, 2007.

IORRA, Paulo Roberto. **Análise do potencial de microgeração hidroelétrica predial**. 2013. 57 páginas. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.

JUNIOR, Antônio G. de Mello. **A turbina de fluxo cruzado (Michell-Banki) como opção para centrais hidráulicas de pequeno porte**. Dissertação de pós graduação. Universidade de São Paulo (USP). São Paulo, 2000.

JÚNIOR, José Eliano Da Silva Ribeiro; BARBOSA, Geovani Ferreira. **Análise do potencial hidráulico do sistema hídrico de uma residência na produção de energia elétrica de baixa voltagem**. UFERSA, 2017.

KAEHLER, José Wagner Maciel. **Comentários Relativos à Proposta de Modificação do Manual para elaboração do programa anual de combate ao desperdício de energia elétrica das concessionárias.** ANEEL, 2000.

KRORSOWPANAH, S; ALBERTSON M.; FIUZART, A. **Historical overview of Cross-Flow turbine.** Int Water Power Dam Construction. 38-a. 1984.

LEITE, J. R. M.; AYALA, P. de A. **Estado de direito ambiental e sensibilidade ecológica: os novos desafios à proteção da natureza em um Direito ambiental de segunda geração.** In: WOLKMER, Antonio Carlos; LEITE, José Rubens Morato (Orgs.). Os “novos” direitos no Brasil: natureza e perspectivas uma visão das novas conflituosidades jurídicas. São Paulo: Saraiva, 2012.

LIMA, Raquel Araújo. **A produção de energias renováveis e o desenvolvimento sustentável: uma análise no cenário da mudança do clima.** Revista eletrônica direito e-nergia, 2012.

MACINTYRE, Joseph Archibald. **Manual de instalações hidráulicas e sanitárias.** Rio de Janeiro: Guanabara, 1990.

MAGALHÃES, Murilo Vill. **Estudo de utilização da energia eólica como fonte geradora de energia no Brasil.** Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

MEIO INFO. **Startup cria mini hidrelétrica dentro de tubulações de água.** Disponível em: <<https://meioinfo.eco.br/mini-hidreletrica-dentro-tubulacoes-agua/>>. Acesso em: 24 jun. 2021.

MORAIS, Luciano Cardoso de. **Estudo sobre o panorama da energia elétrica no Brasil e tendências futuras.** Bauru: (Dissertação em Engenharia Elétrica) – Unesp, 2015.

PACHECO, Fabiana. **Energias Renováveis: Breves Conceitos.** Salvador: Conjuntura Econômica n. 149, 2006.

PEDROSO, Hermínio Braga. **Roteiro para projeto de pequenas e médias usinas hidrelétricas.** Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 1982.

PEREIRA, S. P.; ALVES, D. R. B.; SILVA, B. M. R. **Estudo da energia dissipada na válvula redutora de pressão visando seu aproveitamento na edificação.** In: SIMPÓSIO NACIONAL DE SISTEMAS PREDIAIS, 2., 2021. Anais [...]. Porto Alegre: ANTAC, 2021. Disponível em: <https://eventos.antac.org.br/index.php/sispred/article/view/1243>. Acesso em: 22 jan. 2022.

PRICE, L.; CAN, S. R.; SINTON, J.; WORRELL, E.; NAN, Z.; SATHAYE, J., LEVINE, M. **Sectoral trends in global energy use and greenhouse gas emissions.** Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory. 2006. Disponível em: <<http://ies.lbl.gov/iespubs/56144.pdf>>. [LBNL-56144].

RAMOS, H. M.; MELLO, M.; DE, P.K. **Clean power in water supply systems as a sustainable solution: from planning to practical implementation.** IWA Publishing, Water Science & Technology: Water Supply – WSTWS. 2010.

RAMOS, H.; COVAS, D. **Válvulas Redutoras de Pressão e Produção de Energia.** 7º CONGRESSO DA ÁGUA. Lisboa. 2004.

RAMOS, Ricardo Alan Verdú; SILVA, João Batista Campos. **Máquinas hidráulicas e térmicas.** Capítulo 8. Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista. Ilha solteira, 2009.

SANTANA, Adrielle de Carvalho. **Geradores de corrente contínua.** Unidade 2. Disponível em <http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/aula_5.pdf>. Acesso em 30 de jul. de 2021.

SCHNEIDER. **Tabela de seleção de bombas e motobomba.** Disponível em: <https://schneidermotobombas.blob.core.windows.net/media/264019/schneider_tabela_selecao_01-2019_rev08.pdf>. Acesso em: 11 jan. 2022.

SCUSSEL, Maria Conceição Barletta; SATTler, Miguel Aloysio. **Cidades em (trans)formação: impacto da verticalização e densificação na qualidade do espaço residencial.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 137-150, jul./set. 2010.

SILVA, Brenda Marcelly Rios da. **Estudo da energia dissipada na válvula**

reduzora de pressão visando seu reaproveitamento na edificação. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

SILVA, Ricardo S.; MERIGUE, Rafael. **Estudo de turbinas para hidrelétrica de Roncador – Bocaiúva do Sul.** 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Industrial Elétrica com Ênfase em Eletrotécnica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

SIMONE, Gilio Aluisio. **Centrais e aproveitamentos hidrelétricos: uma introdução ao estudo.** São Paulo: Editora Érica. 2013.

SOMEKH, Nadia. **A cidade vertical e o urbanismo modernizador.** São Paulo: EDUSP/Nobel/FAPESP, 1997.

SOSNOSKI, André Sandor K. B. **Produção de energia por mini e micro hidrelétricas na rede de distribuição de água.** 2015. 167 páginas. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica Universidade de São Paulo, 2015.

SOUSA, Renato de. **Uso de válvulas redutoras de pressão na otimização de rede setorizada de distribuição de água.** 2017. 70 páginas. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Paraíba, 2017.

SOUZA, Maria Adélia Aparecida de. **A Identidade da Metrópole.** São Paulo: Hucitec – EDUSP, 1994.

TIAGO FILHO, Geraldo L. **Eficiência dos equipamentos de PCHs no Brasil.** Itajubá-MG: EFEI, 2004.

TIAGO FILHO, G. L. T.; JÚNIOR, A. S.; JÚNIOR, A. B.; FERRARI, J. T.; LEMOS, H.; NUNES, C. F.; ALVES, L. H. F.; NUNES, C. F.; MOURA, J. S.; RAMOS, R.; ELS, R. V.; LEITE, F. **Pequenos aproveitamentos hidroelétricos.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008.

TIGRE. **Orientações para instalações de Água Fria.** Disponível em: <<https://tigresite.s3.amazonaws.com/2021/10/ct-agua-fria.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2022.

TIGRE. **Ficha Técnica – PBS (Ponta Bolsa Solda).** Disponível em:

<<https://tigrecombr-prod.s3.amazonaws.com/default/files/produtos/ficha-tecnica/PBS%20-%20Ponte%20Bolsa%20Solda%2060.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2021.

VRP PREMIUM. **Válvulas Redutoras de Pressão**. Disponível em: <<https://vrppremium.com.br/services/valvulas-redutoras-de-pressao/>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

TURRER, Daisy. O livro de artista e o paratexto. **PÓS: Revista do Programa de Pós-graduação em Artes da EBA/UFG**, [S. l.], p. 73–81, 2012. Disponível em: <<https://periodicos.ufmg.br/index.php/revistapos/article/view/15431>>. Acesso em: 25 jul. 2021.

VRP PREMIUM. **Válvulas Redutoras de Pressão**. Disponível em: <<https://vrppremium.com.br/services/valvulas-redutoras-de-pressao/>>. Acesso em: 11 mai. 2021.

VENTURINI, Jamila. **Válvulas redutoras de pressão**. Revista Equipe de Obra, São Paulo, v. VII, n. 35. Maio, 2011. Disponível em: <<http://equipededeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/35/valvulas-redutoras-de-pressao-213991-1.aspx>>. Acesso em 12 de dez 2021.