

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS GOIÂNIA
DEPARTAMENTO DAS ÁREAS ACADÊMICAS III
BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL

BRENDA MARCELLY RIOS DA SILVA

**ESTUDO DA ENERGIA DISSIPADA NA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO
VISANDO SEU REAPROVEITAMENTO NA EDIFICAÇÃO**

Goiânia, GO
2019



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: Brenda Marcelly Rios da Silva

Matrícula: 20131011050271

Título do Trabalho: Estudo da energia dissipada na válvula redutora de pressão visando seu reaproveitamento na edificação.

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: ☒ Não ☐ Sim, justifique: _____

Informe a data que poderá ser disponibilizado no ReDi/IFG: 01/01/2020

O documento está sujeito a registro de patente? ☐ Sim ☒ Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? ☐ Sim ☒ Não

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, 11 de dezembro de 2019.

Brenda M. Rios da Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Brenda Marcelly Rios da Silva

**ESTUDO DA ENERGIA DISSIPADA NA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO
VISANDO SEU REAPROVEITAMENTO NA EDIFICAÇÃO**

**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. Dr. Dálcio Ricardo
Botelho Alves**

**Co-orientador: Prof. Me. Douglas
Pereira da Silva Pitaluga.**

**Goiânia, GO
2019**

S5861e Silva, Brenda Marcelly Rios da.

Estudo da energia dissipada na válvula redutora de pressão visando seu reaproveitamento na edificação / Brenda Marcelly Rios da Silva. – Goiânia : Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2019.

76f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Dalcio Ricardo Botelho Alves.

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

TCC (Trabalho de Conclusão de Curso) – Curso Bacharelado em Engenharia Civil, Departamento de Áreas Acadêmicas III, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

1. Potencial hidráulico. 2. Instalação hidráulica predial. 3. Máquinas hidráulicas. I. Alves, Dalcio Ricardo Botelho (orientador). II. Pitaluga, Douglas Pereira da Silva (coorientador). III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás. IV. Título.

CDD 621.3

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.

Brenda Marcelly Rios da Silva

**ESTUDO DA ENERGIA DISSIPADA NA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO
VISANDO SEU REAPROVEITAMENTO NA EDIFICAÇÃO**

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.

Aprovado em 11 de dezembro de 2019:



Prof. Dr. Dalcio Ricardo Botelho Alves (IFG)



Prof. Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga (IFG)



Prof. Dr. Marcus Vinicius Araujo da Silva Mendes (IFG)

Goiânia, GO
2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Erivaldo Silva Costa e Cíntia Rios da Silva, por me apoiarem e darem forças para superar todos os obstáculos. Vocês me ensinaram a lutar, ser resiliente e dar o meu melhor. Esta conquista é por vocês.

A toda minha família, que me impulsionou a seguir em frente e conquistar meus sonhos.

A meu namorado Guilherme, pela compreensão, dedicação e cuidado a mim direcionados durante as longas e desgastantes horas de estudo.

Ao meu orientador Professor Dr. Dálcio Ricardo Botelho Alves, pela paciência, apoio e incentivo. Agradeço por acreditar no nosso trabalho e servir de referência para sua conclusão.

Aos professores Me. Douglas Pereira da Silva Pitaluga e Dr. Marcus Vinícius Araújo da Silva Mendes, pelas valorosas contribuições dadas a este trabalho.

Aos colegas do curso pela amizade acolhedora, capaz de amenizar os momentos mais árduos.

“A sabedoria é mais do que o mero conhecimento, o homem é mais do que o seu cérebro. Sem valores, o homem pode ser inteligente, porém, não será plenamente humano”.

Theodore Hesburgh.

RESUMO

ESTUDO DA ENERGIA DISSIPADA NA VÁLVULA REDUTORA DE PRESSÃO VISANDO SEU REAPROVEITAMENTO NA EDIFICAÇÃO

AUTOR: Brenda Marcelly Rios da Silva

ORIENTADOR: Prof. Dr. Dálcio Ricardo Botelho Alves

Este trabalho constitui uma pesquisa bibliográfica direcionada ao reaproveitamento da energia dissipada através das válvulas redutoras de pressão existentes em uma edificação. Nesse sentido, propõe-se o estudo do sistema de distribuição predial e análise do desperdício de energia potencial durante uso da válvula redutora de pressão visando a conversão em energia renovável. Desse modo, considera as peculiaridades das redes de distribuição de água incluindo as características das estações redutoras de pressão e consequentes especificidades no uso e instalação da válvula redutora de pressão, além de mencionar os tipos de máquinas hidráulicas e grandezas fundamentais para o funcionamento desses equipamentos. Para levantamento da energia a ser dissipada na válvula redutora de pressão verifica-se o volume total mensal de abastecimento de água, consumo diário por habitante, quantitativo de vazão e pressão para abastecimento do sistema e altura manométrica de cada ponto para definição do tipo de turbina e gerador indicados para cada sistema. Considerando a alta na demanda de energia e a necessidade de desenvolvimento de meios alternativos de conversão, é de suma importância a elaboração de projetos sustentáveis capazes de potencializar o reaproveitamento energético predial.

Palavras-chave: Potencial hidráulico predial, instalações hidráulicas prediais, válvula redutora de pressão, micro geração.

ABSTRACT

STUDY ENERGY DISSIPATED IN PRESSURE REDUCING VALVE AIMING YOUR REUSE IN BUILDING

AUTHOR: Brenda Marcelly Rios da Silva
ADVISOR: Prof. Dr. Dálcio Ricardo Botelho Alves

This work studied a bibliographic research directed to the reuse of the dissipated energy through the pressure reducing valves existing in a building. In this sense, we propose the study of the building distribution system and analysis of the potential energy waste during the use of the pressure reducing valve aiming at the conversion to renewable energy. Thus, it considers the peculiarities of the water distribution networks including the characteristics of the pressure reducing stations and the consequent specificities in the use and installation of the pressure reducing valve, as well as explaining the types of hydraulic machines and fundamental quantities for the operation of these equipment. To survey the energy to be dissipated in the pressure reducing valve, check the total monthly volume of water supply, daily consumption per inhabitant, quantity of flow and pressure for system supply and head of each point to define the turbine type and generator indicated for each system. Considering the high demand for energy and the need to develop alternative means of conversion, the elaboration of sustainable projects capable of enhancing building energy reuse is of paramount importance.

Keywords: Building hydraulic potential, building hydraulic installations, pressure reducing valve, microgeneration.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Representação esquemática de um sistema de distribuição direta...	22
Figura 2 -	Representação esquemática de um sistema de distribuição indireta com bombeamento.....	23
Figura 3 -	Representação esquemática de um sistema de distribuição mista...	24
Figura 4 -	Instalação hidráulica de água fria em edifícios altos.....	25
Figura 5 -	Manômetro Digital.....	26
Figura 6 -	Registro de gaveta bruto $\frac{3}{4}$ "	26
Figura 7 -	Filtro de Controle em Y.....	27
Figura 8 -	Válvula Redutora de Pressão Pilotada	27
Figura 9 -	Estação Redutora de Pressão.....	28
Figura 10 -	Modelo genérico de funcionamento de uma válvula redutora de pressão convencional: da esquerda para direita, VRP ativa, VRP passiva aberta, VRP passiva fechada	30
Figura 11a -	VRP de controle por molas.....	31
Figura 11b -	VRP de ação direta.....	31
Figura 12a -	VRP de controle de pistão.....	32
Figura 12b -	Componentes da VRP pilotada.....	32
Figura 13a -	VRP de controle de diafragma	32
Figura 13b -	Componentes da VRP pilotada.....	32
Figura 14 -	Válvulas redutoras de pressão de diferentes formatos.....	35
Figura 15 -	Válvula redutora de pressão com uma ou duas câmaras.....	35
Figura 16 -	Vista simplificada de uma turbina Pelton dotada de um injetor.....	37
Figura 17	Classificação das turbinas hidráulicas.....	38
Figura 18 -	Turbina hidrelétrica Pelton.....	39
Figura 19 -	Modelo brasileiro de Turbina Michell Banki.....	41
Figura 20 -	Esquema e legenda dos componentes de uma Turbina Francis.....	42
Figura 21 -	Corte longitudinal de uma turbina Kaplan.....	45
Figura 22 -	Gráfico de seleção de turbinas aplicáveis a minicentrals hidrelétricas.....	54
Figura 23 -	Tipos de geradores CC.....	56
Figura 24 -	Diagrama de uma máquina CA de imã permanente.....	58
Figura 25 -	Simulação de instalação de máquina hidráulica.....	59
Figura 26 -	Prumada de água fria.....	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Pesos relativos nos pontos de utilização identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização.....	47
Tabela 2 -	Consumo predial diário.....	51
Tabela 3 -	Pesos para cálculo de vazão de projeto.....	63
Tabela 4 -	Consumo de energia de aparelhos domésticos.....	66
Tabela 5 -	Levantamento quantitativo de aparelhos a utilizar a energia reaproveitada.....	67
Tabela 6 -	Fator unitário para levantamento quantitativo em função da potência gerada.....	68

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
PROCEL INFO	Centro Brasileiro de Informação de Eficiência Energética
RS	Reservatório Superior
VRP	Válvula Redutora de Pressão
PIA	Pia de cozinha
MLL	Máquina de lavar louças
LV	Lavatório
BS	Bacia Sanitária
CH	Chuveiro
MLR	Máquina de lavar roupa
TQ	Tanque

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	14
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Objetivo geral.....	16
1.1.2	Objetivos específicos.....	16
1.2	Justificativa.....	17
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	19
2.1	Energia.....	19
2.2	Sistema de abastecimento de água – SAA.....	21
2.2.1	Distribuição Predial.....	22
2.2.2	Estação de Redução de Pressão.....	24
2.2.3	Válvula Redutora de Pressão.....	29
2.2.3.1	Funcionalidade.....	30
2.2.3.2	Tipos de VRP.....	31
2.2.3.3	Características.....	33
2.2.3.4	Aplicabilidade e instalação.....	33
2.2.3.5	Modelos.....	34
2.2.3.6	Especificações e uso.....	35
2.3	Máquinas hidráulicas.....	36
2.3.1	Turbina Pelton.....	38
2.3.2	Turbina Michell Banki.....	40
2.3.3	Turbina Francis.....	41
2.3.4	Turbina Kaplan.....	44
2.3.5	Mini e microturbinas.....	46
2.4	Grandezas de funcionamento de uma máquina hidráulica.....	46
2.4.1	Cálculo de vazão.....	47
2.4.2	Pressão.....	48
2.4.3	Potencial hidráulico.....	49
2.5	Escolha do tipo de máquina hidráulica.....	52
2.6	Geradores.....	55
2.6.1	Gerador CC.....	55
2.6.2	Gerador CA.....	57
3	METODOLOGIA DE ESTUDO.....	59
3.1	Posicionamento das turbinas.....	59
3.2	Procedimentos de instalação.....	60
3.3	Simulação.....	62
3.4	Destino da energia gerada.....	65
3.5	Discussão.....	68
4	CONCLUSÃO.....	70
5	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A água, entre os insumos necessários para o desenvolvimento das nações nas dimensões social, econômica e ambiental é, sem dúvida, o principal deles. Nos edifícios, a água é responsável por significativa parcela do impacto sobre o meio ambiente. Para Oliveira (1999) os desperdícios de água em sistemas prediais, devido à má qualidade de materiais, componentes e de procedimentos inadequados, resultam em maiores volumes de insumos utilizados no tratamento de água e de esgoto, além das perdas ambientais para a produção desses insumos.

A redução do consumo de água nos edifícios pode ser implementada através de ações tecnológicas, econômicas e sociais, onde, dentre essas ações, consideram-se as de maior impacto as tecnológicas, ressaltando-se o controle de desperdícios e o emprego de componentes economizadores, uma vez que, em geral, elas propiciam a redução do consumo independentemente da vontade do usuário.

A válvula redutora de pressão é um dispositivo hidráulico de controle de pressão a jusante aplicado em sistemas que água com grande pressão de saída. Os tipos de válvulas redutoras de pressão mais comuns no mercado são as válvulas e mola, de pistão e diafragma (COVAS e RAMOS, 1998).

Entretanto, do ponto de vista energético, as VRPs dissipam energia de pressão ao adicionarem ao sistema uma perda localizada. Essa perda de energia antagoniza-se com os preceitos modernos de uso racional de recursos. Sob essa ótica, a energia de pressão poderia ser utilizada para acionar equipamentos de transformação de energia hidráulica acoplada a um gerador, produzindo energia elétrica, gerando redução dos custos de geração além de contribuir para queda de impactos ambientais gerados pelo desperdício de recursos.

As VRP podem ser controladas mecanicamente ou de modo eletrônico, tendo seu funcionamento direcionado para vários níveis de pressão que são definidos em função do consumo. Os modelos básicos de funcionamento são: VRP com carga constante, VRP com queda constante, VRP com carga constante variável no tempo e VRP com carga automática ajustável em função do consumo.

Os estudos de viabilidade e criação de sistemas sustentáveis e renováveis de energia objetivam contornar os transtornos gerados pela insuficiência hídrica relativos aos desperdícios hidráulicos. Segundo Marinho (2007):

Os problemas associados a este insumo estão relacionados à sua distribuição geográfica desigual, ao aumento desordenado da população e ao mau uso do recurso. Além disso, problemas climáticos, como a escassez de chuvas e a poluição dos cursos de água, têm afetado o abastecimento de água nas grandes cidades do Brasil e do mundo.

A criação de métodos de aproveitamento de energia aplicados aos sistemas de abastecimento de água surge como novas possibilidades de otimização do sistema e solução alternativa para a produção energética. O surgimento de estudos e procedimentos que geram modernização e ampliação dos sistemas de distribuição de água contribuem para viabilidade econômica e melhoria de atendimento do sistema ao usuário, além de contribuir para diminuição dos impactos ambientais e economia no processo construtivo das edificações.

Para realizar uma melhor gestão dos recursos hídricos, Oliveira (1999) sugere que o gerenciamento sustentável seja desenvolvido entre os níveis de Sistema hidrográfico (macro), Sistema de abastecimento urbano de água e coleta de esgoto sanitário (meso) e os Sistemas prediais (micro). No nível dos sistemas prediais os desperdícios são causados principalmente pelos defeitos nas instalações hidráulicas, falta e dificuldade no processo de manutenção e uso indevido por parte dos usuários.

A minimização de perdas hídricas, que atingem na média mundial cerca de 40% de toda a água consumida (SNIS, 2011), tem sido uma das principais preocupações dos gestores de sistemas de abastecimento de água. Esse receio concentra-se na busca pela auto sustentabilidade ambiental e econômica dos sistemas de transporte de água, abrangendo o controle da pressão no sistema e consumo de energia.

A utilização de aparelhos inteligentes capazes de diminuir ou controlar o consumo de água cresce exponencialmente no mercado construtivo. Estes sistemas diminuem os custos nas contas de água e energia do usuário e agregam valor ao seu sistema

construtivo, já que partem de tecnologias direcionadas para o consumo consciente e sustentável.

O uso de micro turbinas ou bombas operando como turbinas (PT) parece ser um solução alternativa e sustentável para controlar a pressão e produzir energia. Esse tipo de solução geralmente bem aceito dentro de fontes renováveis de energia pode ser adotado como um método de mitigação para controlar perda de sistemas, em particular o excesso de energia disponível que seria dissipada e a ocorrência de ruptura

Diante da procura por métodos modernos de economia energética, este trabalho se propôs em estudar a possibilidade de reaproveitamento energético dissipado na VRP através da transformação de energias, apresentar soluções economicamente viáveis, com baixos custos de manutenção e grande facilidade de instalação de forma a aproveitar pequenas quantidades de energia. Estas pequenas quantidades podem servir para o funcionamento de instalações ou equipamentos existentes na edificação.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Identificar e avaliar o potencial energético dissipado na Válvula Redutora de Pressão (VRP) através de revisões bibliográficas visando seu o reaproveitamento na própria edificação.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar a importância e o conhecimento das características das válvulas reguladoras de Pressão (VRP) através de um estudo teórico.
- Analisar o comportamento, a aplicabilidade, os tipos, apresentar procedimentos de instalação em setores críticos, e regulação de uma VRP nas edificações através das revisões bibliográficas.
- Verificar a viabilidade/possibilidade de reaproveitamento da energia dissipada pela VRP de uma edificação, a qual poderia ser usada como fonte alternativa de energia.

1.2 Justificativa

Nos sistemas de distribuição de água, a utilização das VPR permite minimizar a ocorrência de fugas e consumos desnecessários, sem o prejuízo do desempenho hidráulico do sistema e do nível de serviço dos consumidores. Na situação em que não se utiliza qualquer dispositivo redutor de pressão, a pressão varia significativamente ao longo do dia (no tempo) e ao longo do perfil da conduta (no espaço), exigindo-se a garantia do nível de serviço mínimo aos consumidores.

Visando a necessidade de criação de novos métodos e/ou otimização de sistemas que permitam o uso mais adequado e de maior rendimento nos sistemas hidráulicos encontrados nos pontos de consumo final, a implementação de sistemas híbridos (recorrendo a formas combinadas de produção de energia renovável: hídrica, eólica, solar, biomassa, ondas ou marés) podem aumentar substancialmente a eficiência na produção de energia do planeta.

A produção de energia em sistemas de transporte de água são soluções de baixo custo, economicamente viáveis com caudal garantido e uma fonte de energia renovável, limpa e sem impactes ambientais, que permite o aproveitamento de energia em excesso no sistema hidráulico e hidrossanitário que muitas vezes é desperdiçada.

Em geral, os países têm-se dedicado a gerar energia adicional, em particular através de geração de energia hidroelétrica, que pode ser uma fonte barata. Tal pode incentivar pequenas indústrias a competir internacionalmente através de uma vasta gama de novas opções de fontes de energia. A energia gerada pela ação hidráulica é uma das fontes de energia mais antiga da humanidade. As pequenas centrais hidroelétricas (PCHs) são uma das respostas mais valiosas para a questão de como oferecer às comunidades rurais isoladas alguns benefícios com a produção de energia elétrica. Esta pode ser uma solução para problemas complexos de fornecimento de energia.

A produção em pequena escala da eletricidade tem vindo a crescer, pois pode preencher as lacunas da descentralização e mesmo a produção na atividade privada e municipal para a venda à rede elétrica ou alternativamente para fornecer energia a indústrias ou a comunidades isoladas.

O projeto que ora se apresenta tem como intuito oferecer uma possibilidade de geração de energia elétrica de forma renovável, tornando a construção mais sustentável, sem descartar nenhuma forma atual de geração de energia. Pretende-se fornecer uma forma de complementar o sistema já existente, tornando-o o mais eficiente ao se recuperar a energia, que seria perdida nas tubulações prediais.

Desta forma, o projeto apresentado justifica-se pelo avanço tecnológico de geração de energia visando redução de impactos ambientais e contribuição para uso racional da água considerando as perdas existentes nas instalações prediais.

2. REVISÃO DA LITERATURA

A fundamentação teórica baseia-se nos conceitos de energia, sistemas de abastecimento de água e distribuição predial, de forma a incluir o uso de válvulas redutoras de pressão e suas delimitações e conceitos de máquinas hidráulicas. São apresentadas informações que possibilitam aprimorar o entendimento dos temas envolvidos, e possibilitar embasar de forma concreta e mensurável os resultados das análises realizadas.

2.1 Energia

Durante o período primitivo, as atividades básicas de sobrevivência humana não exigiam produção energética externa, porém, com o desenvolvimento da espécie e a transformação das atividades exercidas pelo homem, o consumo energético cresceu e outras fontes se tornaram necessárias.

A energia, derivada do termo grego “ergos”, é definida como capacidade que um corpo, uma substância ou um sistema físico têm de realizar trabalho, ação ou movimento.

A 1ª Lei da termodinâmica, também conhecida como princípio de conservação de energia, oferece uma base eficiente de estudo sobre as interações e diferentes formas de energia que envolvem calor (energia interna), trabalho (energia cinética) e energia potencial. Evidencia também que a energia não pode ser criada, apenas transformada, sendo cada um dos tipos de energia capaz de provocar fenômenos determinados e característicos nos sistemas físicos (ÇENGEL E BOLES, 2013).

Baseados nos conceitos existentes na Lei de Conservação de Energia, Çengel e Boles (2013) definem ainda que a variação total de energia (ΔE) de um determinado sistema é calculada pelo somatório de variação das energias internas (ΔU), energia cinética (ΔEC) e energia potencial (ΔEP) conforme Equação 1.

$$\Delta E = \Delta U + \Delta EC + \Delta EP \quad (1)$$

A eficiência, um dos termos mais relacionados à termodinâmica, indica com qual efetividade o processo de conversão ou transferência de energia foi realizado. O índice de eficiência (Equação 2) se dá pela relação do resultado desejado ou obtido pelo fornecimento necessário (nesse caso de energia) (BORGNAKKE e SONNTAG, 2009).

$$\text{Eficiência } (\eta) = \frac{\text{Resultado desejado obtido}}{\text{Fornecimento necessário}} \quad (2)$$

De acordo com Çengel e Boles (2013), na 2ª Lei da termodinâmica compreende-se que a energia gerada por determinado processo tem direção determinada, possui qualidade e quantidade e, para que o processo ocorra, é necessário que ele satisfaça tanto a primeira lei quanto a segunda lei da termodinâmica.

A segunda lei da termodinâmica tem papel fundamental na engenharia, uma vez que determina a qualidade de determinado processo, o que pode definir a sua viabilidade ou não. Também é possível avaliar o nível de degradação da energia durante o processo, auxiliando nesta análise (ÇENGEL E BOLES, 2013).

Um dos usos mais importantes dentro da segunda lei da termodinâmica é a determinação do melhor desempenho teórico do sistema e análise comparativa com o desempenho real. Nesta análise é necessário entender que, teoricamente, todos os processos reais são irreversíveis, ou seja, não retornam ao seu estado inicial. Esta irreversibilidade é devida a fatores que não permitem retorno ao mesmo estado, como atrito, expansão não resistida, transferência de calor, deformação etc. (MORAN et al. 2013).

De acordo com Magalhães (2009), as diferentes fontes de energia podem ser encontradas na natureza, e são classificadas basicamente em duas categorias, de acordo com a possibilidade de manutenção e produção destas: as energias renováveis e as energias não-renováveis.

Conforme Alves e Nascimento (2016) descreve, as fontes renováveis de energia são aquelas em que os recursos naturais utilizados são capazes de se regenerar, ou seja, são considerados inesgotáveis, além de diminuir o impacto ambiental e contornar o

uso de matéria prima que normalmente é não renovável. Dentre as energias alternativas renováveis, mais conhecidas atualmente encontram-se a energia eólica, energia hidráulica, energia do mar, energia solar, energia geotérmica e biomassa. Além de serem praticamente inesgotáveis, as energias renováveis podem apresentar impacto ambiental muito baixo, sem afetar o balanço térmico ou a composição atmosférica do planeta.

2.2 Sistema de abastecimento de água - SAA

A Portaria do Ministério da Saúde (MS) 2914/2011 (BRASIL, 2011) trata como sistema de abastecimento de água as instalações compostas por um conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, desde a zona de captação até as ligações prediais, reservadas a produção e ao fornecimento coletivo de água potável através da rede de distribuição.

Para Reali e Monuzzi (2002) o sistema de distribuição de água tem como objetivo o fornecimento hidráulico contínuo aos usuários e em quantidade suficiente para caso de desabastecimento por parte da concessionária, além de determinar as vazões e pressões nas quais as tubulações estarão submetidas para garantir o bom funcionamento do sistema e preservação da qualidade da água, proporcionando aos usuários boas condições de higiene, saúde e conforto.

A elaboração de um sistema de instalação predial de água fria é estruturada pelas etapas de concepção de projeto, determinação de vazão e pressão e dimensionamento (REALI e MONUZZI, 2002).

Na fase de concepção é realizado um levantamento de todas as informações básicas necessárias para elaboração do projeto: tipo de edificação e sua utilização, pontos de fornecimento de água por parte da concessionária, pontos de utilização do sistema, localização dos reservatórios, aparelhos a serem utilizados, canalizações, tipo de sistema de abastecimento, além de determinar a capacidade atual e futura desse sistema.

Posteriormente, é realizado através de dados e tabelas da NBR 5626:1998 os cálculos de vazões das canalizações que compõem o sistema, determinando também a

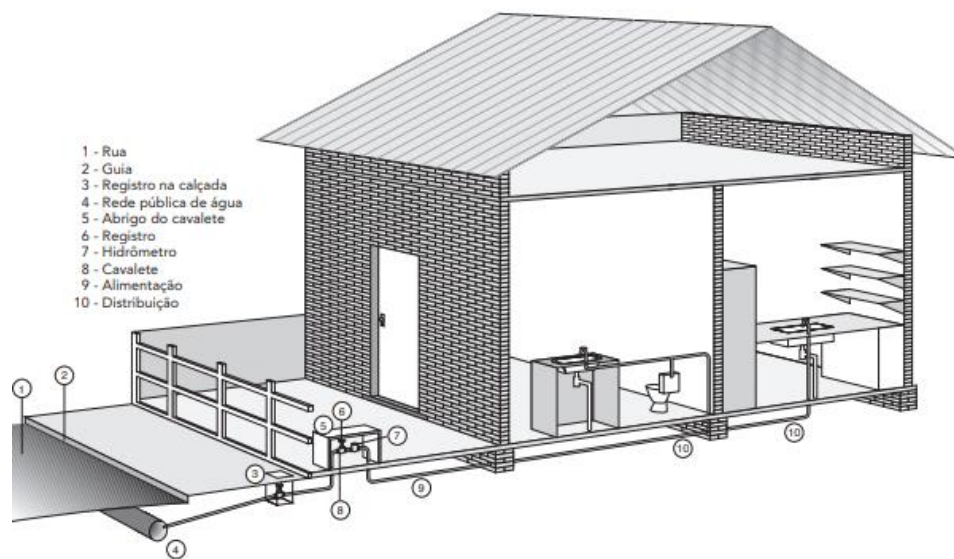
necessidade de equipamentos de bombeamento ou reservação. É importante ressaltar, que, em caso de projetos hidrossanitários de água fria se faz necessário dimensionamento e elaboração de projeto de instalação de água para proteção e combate a incêndio.

2.2.1 Distribuição Predial

Os sistemas de abastecimento de água, segundo Matos e Lopes (2016), podem funcionar através de distribuição direta, indireta, mista ou hidropneumática. Na distribuição direta a pressão fornecida pela concessionária (na ordem de 15 m.c.a) é suficiente para alimentação de todo o sistema de abastecimento. A qualidade da água fornecida nesse tipo de abastecimento, se comparada com o sistema indireto, se mostra superior devido aos níveis de cloro adicionados pela concessionária durante a fase de tratamento e a inexistência de reservação.

Uma outra vantagem é o baixo custo de instalação considerando a dispensabilidade de uso de bombas e outros equipamentos hidráulicos de maior custo. Porém, em casos de interrupção de fornecimento, variações ou aumento pressão, limitações de vazão e localização da edificação em pontos baixos da cidade, o sistema direto começa a operar com muitas dificuldades.

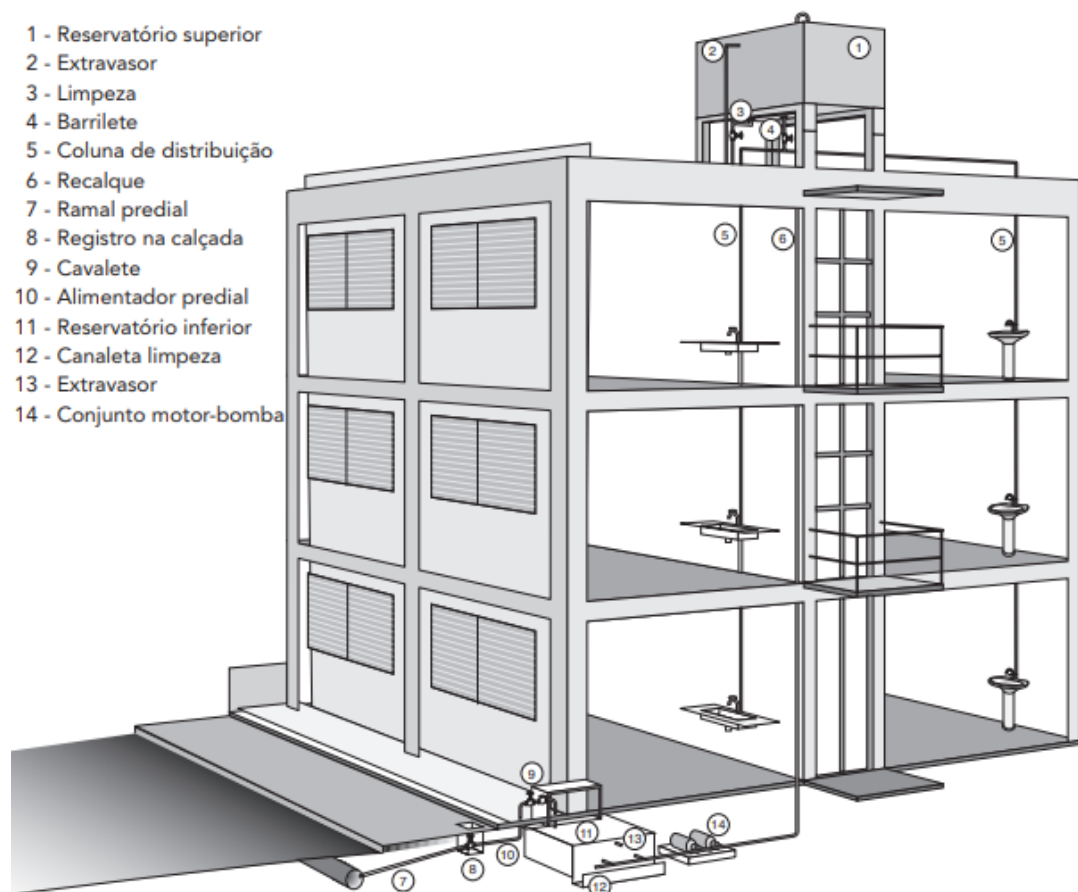
Figura 1 - Representação esquemática de um sistema de distribuição direta.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

De acordo com Carvalho Júnior (2013), o sistema de distribuição indireta é composto por reservação de consumo, podendo ser distribuída por gravidade ou por meio de equipamentos de bombeamento. A distribuição por gravidade ocorre em sistemas cuja altura manométrica não ultrapassa 10 m.c.a., garantindo o fornecimento de água por meio da gravidade. O sistema de bombeamento, realizado nos casos de distribuição que necessitam de um grande volume de reservação, garante as condições de vazão e pressão necessárias para alimentação de pontos com alturas elevadas como o caso dos reservatórios superiores de uma edificação.

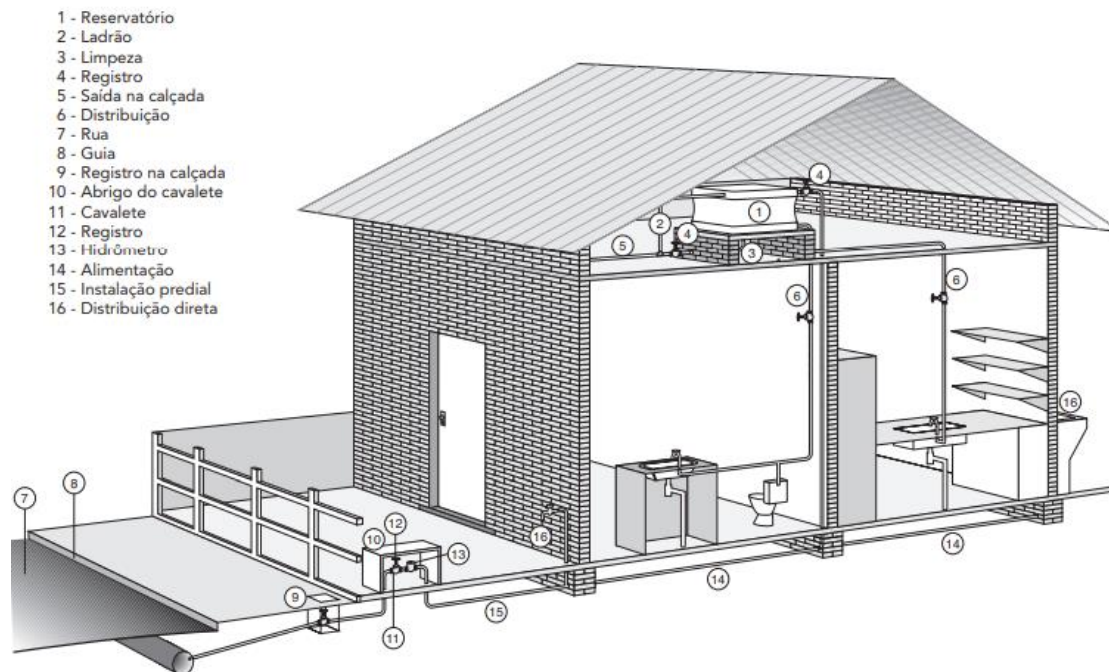
Figura 2 - Representação esquemática de um sistema de distribuição indireta com bombeamento.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

O sistema de distribuição misto é composto alimentação predial da rede de distribuição através da concessionária e parte pelo reservatório superior (RS). Nesse sistema é possível a alimentação de alguns pontos direto pela concessionária, como tanques de área de serviço, torneiras entre outros (CARVALHO JÚNIOR, 2013).

Figura 3 - Representação esquemática de um sistema de distribuição mista.



Fonte: Carvalho Júnior, 2013.

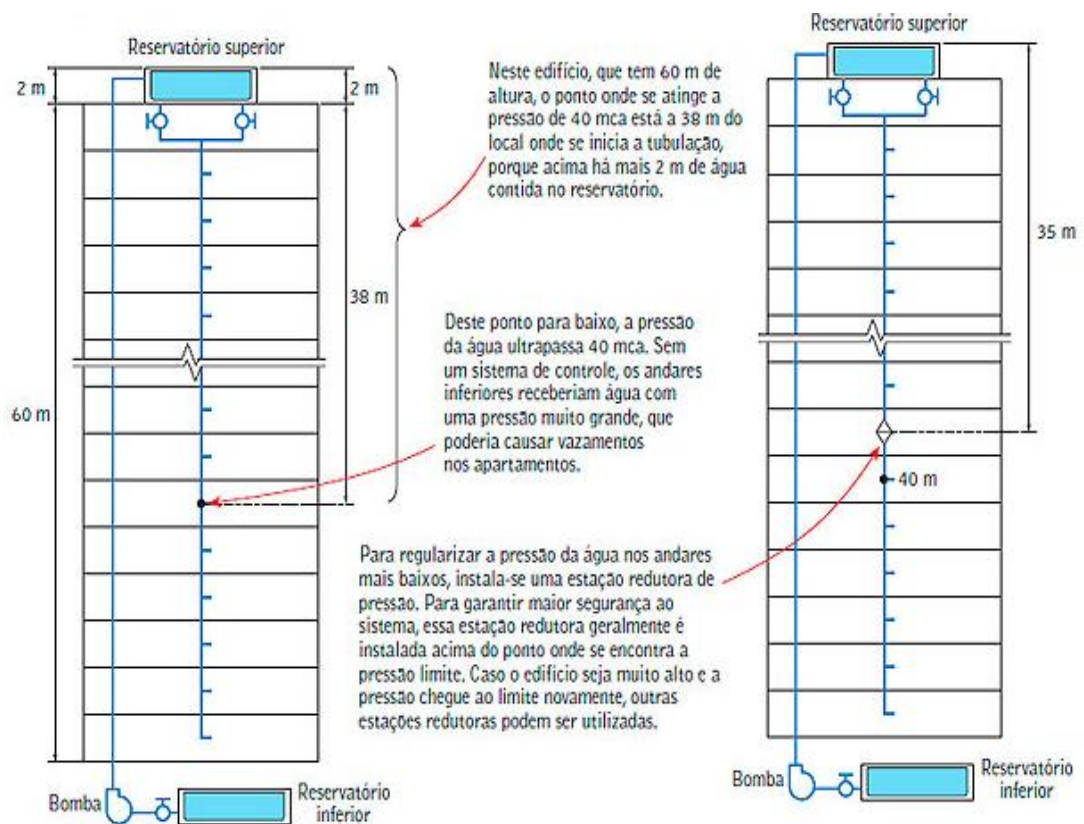
2.2.2 Estação de Redução de Pressão

O aumento populacional e expansão vertical das cidades resultaram na construção de prédios cada vez mais altos. Projetos de prédios com alturas acima de 100 m, os chamados arranha-céu, tem sido bastante elaborado pelas empresas de engenharia em Goiás, mais especificamente em sua capital Goiânia.

Nos edifícios que são abastecidos de água a partir de um reservatório superior, a pressão na tubulação de água em decorrência da gravidade é maior nos andares inferiores e, dependendo da altura, a mesma se não for controlada poderá ultrapassar limite e ocasionar danos da própria tubulação da prumada e ramais adjacentes.

Segundo Venturini (2011) valores elevados de pressão nos pontos de utilização por parte do usuário tendem a ocasionar em rompimento da tubulação, vazamentos, fenômenos como golpes de aríete entre outros, podendo descalibrar o sistema e gerar desconforto no usuário.

Figura 4 - Instalação hidráulica de água fria em edifícios altos.



Fonte: Adaptado por Venturini, 2011.

A limitação da pressão estática máxima em edifícios muito altos, segundo Ilha e Gonçalves (1994), é realizada pelo uso de válvulas redutoras de pressão ou pela construção de reservatórios intermediários (caixas de quebra pressão). A opção de inserção da válvula redutora de pressão se apresenta mais viável pois o reservatório intermediário exige um espaço útil considerável no interior da edificação e a execução de um barrilete intermediário se mostra complexa.

Para limitar os valores das pressões à jusante nas colunas de distribuição é realizado a instalação de estações de controle de pressão formadas por equipamentos hidráulicos que, na ação conjunta, conseguem reestabelecer o valor permitido de pressão e agir preventivamente no combate à danos hidráulicos na tubulação como sobrepressão, vazamentos ou golpes de aríete.

As estações de redução de pressão são compostas pelos aparelhos hidráulicos abaixo:

- i. Manômetros: aparelhos de medição de pressão instalados na entrada e saída da tubulação. Alguns modelos de válvulas possuem manômetros já acoplados.

Figura 5 - Manômetro Digital



Fonte: Zurich, 2014.

- ii. Registros de gaveta/ esfera: instalados antes e depois das válvulas para controlar a passagem de água na entrada e saída da estação de redução;

Figura 6 - Registro de gaveta bruto 3/4"



Fonte: Docol, 2019.

- iii. Filtro: instalado antes da válvula redutora de pressão para impedir a entrada de sujeiras que podem comprometer o funcionamento adequado do equipamento. Alguns modelos de válvulas possuem um filtro acoplado;

Figura 7 - Filtro de Controle em Y



Fonte: Bermad, 2016a.

- iv. Válvula Redutora de Pressão: equipamento hidráulico que realiza controle de pressão a jusante do fluxo de água.

Figura 8 - Válvula Redutora de Pressão Pilotada

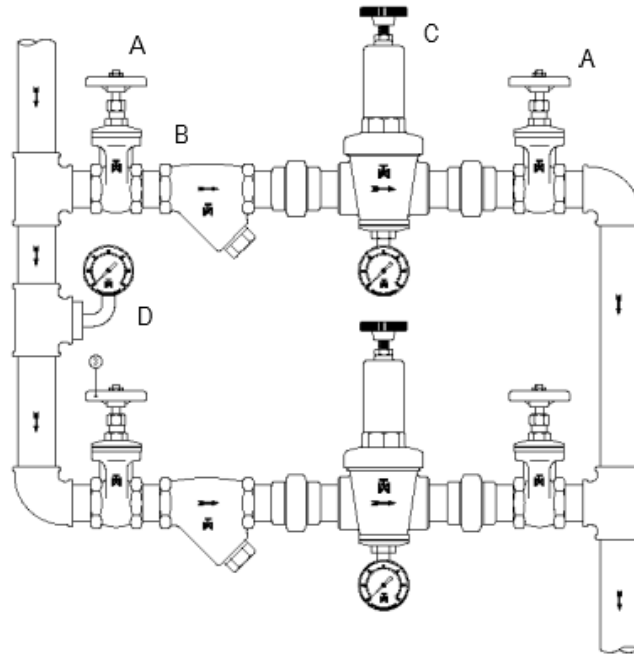


Fonte: Bermad, 2016b.

Um fator importante para instalação e projeção de uma estação redutora de pressão é a existência de duas válvulas de pressão em cada estação. Enquanto uma válvula fica em estado de operação, a outra serve como reserva para casos de não funcionamento ou necessidade de manutenção da válvula principal. Estas estações podem ser instaladas no subsolo, mas, na maioria das vezes, são usadas no sistema intermediário devido à grande altura manométrica das edificações.

Na figura abaixo podemos observar as instalações e aparelhos que compõem a estação redutora de pressão:

Figura 9 - Estação Redutora de Pressão



Fonte: Niagara, 2017.

Onde:

A: Registro de gaveta

B: Filtro

C: Válvula Redutora de Pressão

D: Manômetro

Os principais benefícios encontrados com a instalação de estações de redução de pressão nos sistemas prediais são:

- Redução do desperdício de água potável provocadas pelo excesso de pressão nos pontos de consumos;

- Vida útil das instalações hidráulicas e periféricos em acordo com a norma ABNT;
- Prevenção do descalibramento hidráulico de válvulas de descarga e caixas acopladas;
- Evita danificar filtros residenciais de água, máquinas de lavar louça e roupas;
- Uso da água em condições normais e de conforto do banho ao usuário;
- Evita o desgaste prematuro de peças e componentes hidráulicos;
- Previne os rompimentos de conexões em PVC e engates de flexível;
- Garante a condução da água nas tubulações sem ruídos e vibrações;
- Diminui a incidência de golpes de arfete.

2.2.3 Válvula Redutora de Pressão

As Válvulas Redutoras de Pressão (VRP) são estruturas dissipadoras de energia aplicadas em sistemas hidráulicos para regulação e uniformização das pressões, seu funcionamento é baseado na geração de perda de carga localizada através da perda de pressão à jusante gerando dissipação de energia hidráulica (COVAS e RAMOS, 1998).

Nos sistemas de distribuição de água, a utilização das VPR permite minimizar a ocorrência de fugas e consumos desnecessários, sem o prejuízo do desempenho hidráulico do sistema e do nível de serviço dos consumidores. Na situação em que não se utiliza qualquer dispositivo redutor de pressão, a pressão varia significativamente ao longo do dia (no tempo) e ao longo do perfil da conduta (no espaço), exigindo-se a garantia do nível de serviço mínimo aos consumidores (RAMOS e COVAS 2004).

De acordo com Gomes (2012), é possível realizar atualmente o controle de um ou vários níveis de pressão em um sistema, contribuindo para o aperfeiçoamento da gestão e do desempenho hidráulico do sistema de água. Conforme Sousa (2017), por conter uma grande dissipação de energia, a VRP só é instalada em casos onde não é possível a sua substituição por outros equipamentos que consigam manter o equilíbrio de pressão do sistema. Portanto o número de válvulas no sistema deve ser o mínimo necessário para o equilíbrio energético e econômico do sistema.

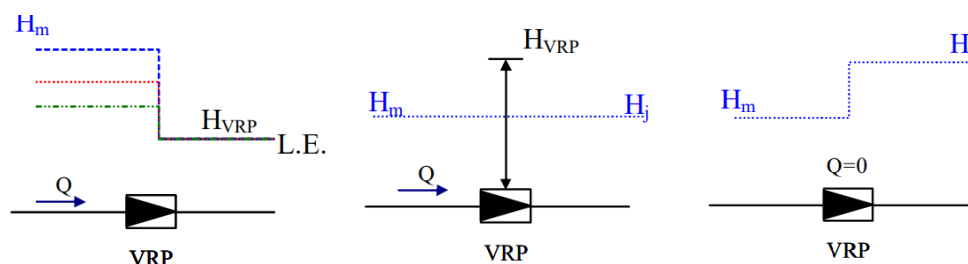
2.2.3.1 Funcionalidade

O princípio básico de funcionamento de uma VRP consiste no aumento da perda de carga localizada no sistema sempre que a pressão a jusante for elevada (RAMOS e COVAS, 2004). Nesses casos, o dispositivo de obstrução é acionado e a pressão a jusante é reduzida ao valor de carga definido previamente pela válvula redutora de pressão. Caso a pressão a jusante esteja abaixo do valor ideal para distribuição, a abertura da VRP é acionada ocasionando a diminuição da perda de carga e posterior aumento da pressão a jusante até o valor pretendido de projeto.

Ainda de acordo com Ramos e Covas (2004), se considerarmos os eventos anteriores de variação da pressão à jusante, observamos que as VRP's funcionam de acordo com:

1. Estado ativo da válvula: onde observa-se a redução da pressão à jusante através do aumento da perda de carga localizada do sistema.
2. Estado passivo com a válvula aberta: onde observa-se a insuficiência de pressão à montante de forma que a mesma esteja inferior à carga de definição da VRP. Nesses casos a abertura da válvula é realizada para equilibrar a pressão de montante e jusante já considerando a perda de carga ocasionada pelo uso da VRP aberta.
3. Estado passivo da válvula fechada: onde a VRP impede a inversão do escoamento em casos onde a pressão à jusante é superior à pressão a montante.

Figura 10 - Modelo genérico de funcionamento de uma válvula redutora de pressão convencional: da esquerda para direita, VRP ativa, VRP passiva aberta, VRP passiva fechada.

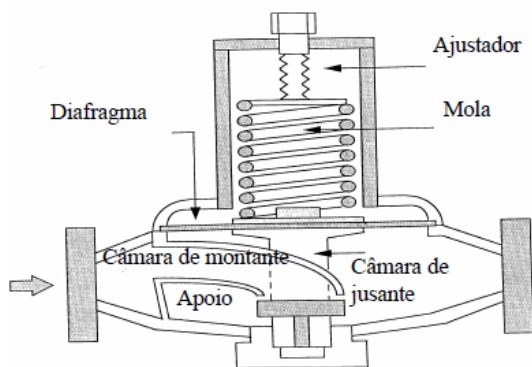


Fonte: Ramos e Covas, 2004.

2.2.3.2 Tipos de VRP

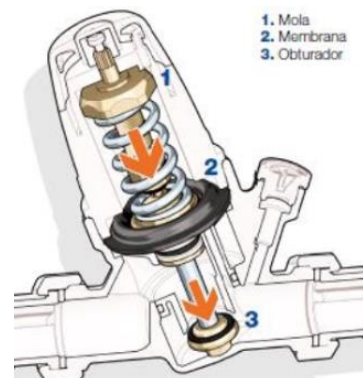
Existem diversos tipos de válvulas redutoras de pressão, sendo as mais comuns - válvulas de mola, de pistão e de diafragma (COVAS e RAMOS, 1998). As válvulas de mola – também conhecidas como válvulas de ação direta, são válvulas que através de uma regulagem por parafuso, tensionam uma mola sobre um pistão e/ou diafragma que ocasionam a abertura fixa e limitada entre o assento e o obturador provocando uma alta redução de pressão de montante para jusante (BERMAD, 2019). Resumidamente, seu funcionamento é baseado no estrangulamento da área de passagem do fluido para que haja redução da pressão de entrada.

Figura 11a - VRP de controle por molas



Fonte: Covas e Ramos, 1998.

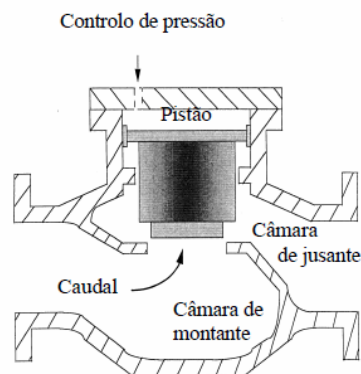
Figura 11b - VRP de ação direta



Fonte: Bermad, 2016c.

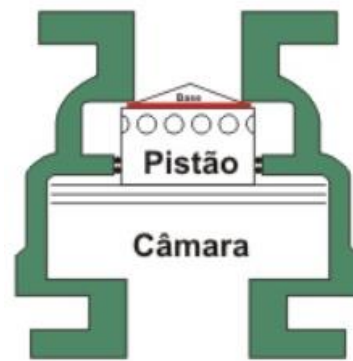
As válvulas de pistão, segundo a fabricante BERMAD (2019) funcionam de forma semelhante à válvula de mola diferenciando-se pela diferença de área. Na válvula redutora por pistão, a área menor do pistão recebe a pressão de entrada e a área maior do pistão a pressão de saída. O consumo em algum ponto da rede ocasiona na abertura do assento x obturador e consequente estrangulamento da área de passagem para escoamento do fluido com redução da pressão. A válvula redutora por pistão não permite regulagem por parte do operador devendo ser removida em caso de manutenções, o custo do serviço é mais alto devido a necessidade de remoção da mesma.

Figura 12a - VRP de controle de pistão



Fonte: Covas e Ramos, 1998.

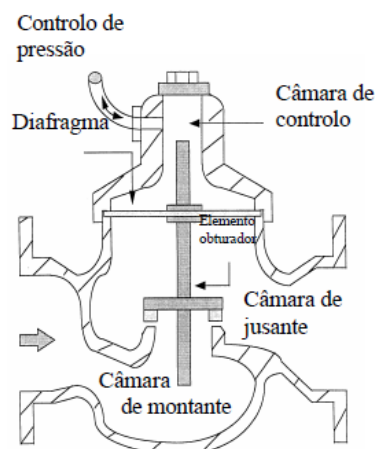
Figura 12b - Componentes da VRP pilotada



Fonte: Adaptado por Valadares, 2012.

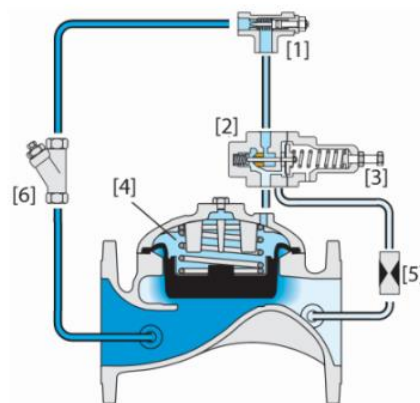
Nas válvulas por controle de diafragmas - ou pilotadas- a regulação da pressão a jusante é realizada pelo piloto regulador. De acordo com as descrições apresentadas pela fabricante BERMAD, a pressão de entrada identificada no filtro de entrada (6) e na válvula de agulha (1) regulam a velocidade de fechamento da válvula. O eixo do piloto (2) injeta água na câmara da válvula (4) para fechar ou drena a câmara para sair gerando uma variação de pressão de saída e movimentação do eixo do piloro. A saída da água da câmara é realizada através de uma placa de orifício (5) que controla a velocidade de abertura. A pressão exercida pela mola do piloto e ajustada pelo parafuso (3) determina a pressão de saída, portanto, quanto maior a pressão exercida pela mola maior será a pressão de saída, mantendo o equilíbrio de forças na válvula.

Figura 13a - VRP de controle de diafragma



Fonte: Covas e Ramos, 1998.

Figura 13b - Componentes da VRP pilotada



Fonte: Bermad, 2016b.

2.2.3.3 Características

Para Sousa (2017) as válvulas redutoras de pressão apresentam algumas características que variam de acordo com o tipo de pressão à jusante:

- VRP com pressão de saída fixa (sem controlador eletrônico): é usada quando o sistema a ser controlado não tem mudanças significativas de demanda, bem como perdas de carga relativamente pequenas.
- VRP com pressão proporcional (sem controlador eletrônico): a pressão de saída (a jusante da VRP) é proporcional a pressão de montante.
- VRP com modulação por tempo: é usada para controlar um sistema que apresenta grande perda de carga, porém de perfil regular de consumo. Assim, a VRP irá trabalhar com patamares de pressão de saída ajustadas para um ciclo de 24 horas.
- VRP com modulação por vazão: é usada para controle em sistemas que apresentam grande perda de carga e mudanças no perfil de consumo, que podem ser no tipo de uso, na sazonalidade ou na população.

2.2.3.4 Aplicabilidade e instalação

A Associação Brasileira de Normas Técnicas estabelece através da NBR 5626: 1998 – Instalação Predial de Água Fria que, em uma instalação predial de água fria, a pressão máxima, em um ponto qualquer existente no sistema hidráulico de um edifício, deve ser maior ou igual a 40 m.c.a (metros de coluna d'água), ou 4,0 kgf/cm², e seu valor mínimo igual a 10 m.c.a ou 1,0 kgf/cm². Para realizar a regulação de pressão nos pontos hidráulicos de uma edificação conforme as recomendações da NBR 5626 realizam-se a instalação de acessórios responsáveis pelo controle de pressão a jusante – as VRP's.

A válvula redutora de pressão deve ser instalada em locais com espaço disponível ao redor da válvula de forma a permitir ajustes e manutenções. De acordo com Gonçalves e Lima (2007), o *by pass* - tubulação de desvio do fluxo em casos de manutenção - deve estar em paralelo com a válvula para que, em casos de manutenção, o

abastecimento não seja interrompido. Para facilitar as operações de manutenção recomenda-se a instalação de registros a montante e a jusante da válvula juntamente com filtros que objetivam a remoção de sujeiras e/ou corpos estranhos (alguns modelos de válvulas possuem filtros acoplados).

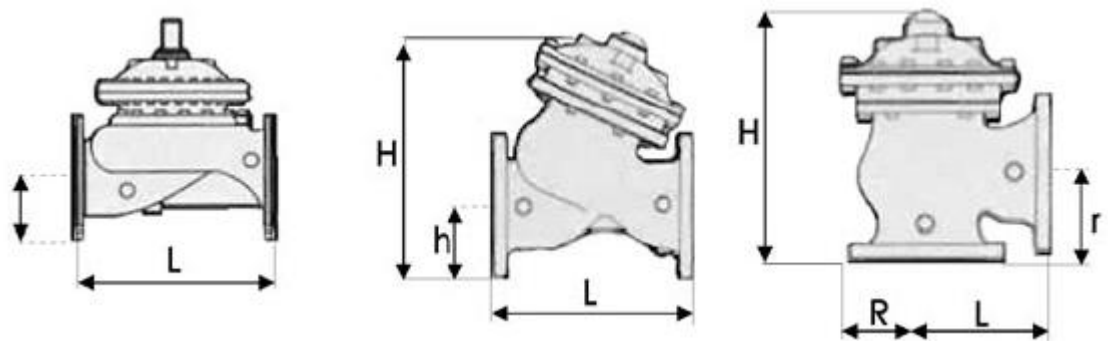
Para Gonçalves e Lima (2007) alguns cuidados devem ser tomados durante a instalação da VRP:

- A válvula deve ser inserida respeitando a seta de fluxo na direção apropriada;
- Seu desempenho é aprimorado quando a VRP é instalada na posição horizontal, porém as mesmas também podem operar na posição vertical;
- O transporte deve ser realizado através das alças existentes na tampa da válvula;
- A tubulação deve estar devidamente fixada, o mesmo serve para a válvula e *by pass* na caixa onde serão instalados;
- Em caso de obras a válvula deve ser coberta;
- Para verificação da pressão de entrada e saída recomenda-se a instalação de manômetros caso esse dispositivo não esteja acoplado na válvula.
- Após concluir a instalação é necessário a realização de um teste a fim de identificar a presença de algum acessório danificado.

2.2.3.5 Modelos

As válvulas redutoras de pressão diferenciam-se conforme formato do seu corpo e ao atuador. Os formatos com maior emprego no mercado são as válvulas tipo globo, tipo Y e tipo T.

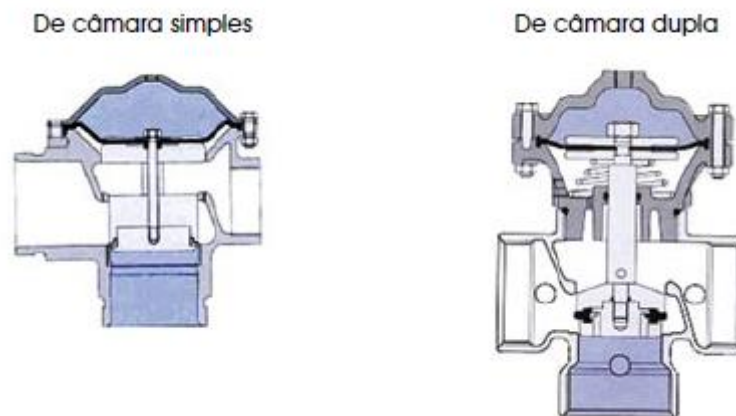
Figura 14- Válvulas redutoras de pressão de diferentes formatos



Fonte: Gonçalves e Lima (2007).

Quanto ao atuador, sua classificação realiza-se conforme o número de câmaras disponíveis na válvula: câmara simples ou câmara dupla.

Figura 15 - Válvula redutora de pressão com uma ou duas câmaras



Fonte: Gonçalves e Lima (2007).

2.2.3.6 Especificações e uso

As especificações das válvulas redutoras de pressão estão contidas nos catálogos e manuais de fabricantes, devendo ser respeitadas para garantir o pleno funcionamento desses dispositivos de regulação.

2.3 Máquinas hidráulicas

Máquinas hidráulicas são descritas, de acordo com Simone (2013), como dispositivos de conversão de energia mecânico-motriz em energia mecânico-hidráulica (bombas hidráulicas) ou que, recebendo energia mecânico-hidráulica fornecem energia mecânico-motriz (turbinas ou motores hidráulicos). Segundo Campos (2015), esses equipamentos são fundamentais para a indústria e as centrais elétricas modernas, portanto, a otimização dos tipos e características desses elementos dependem do agrupamento das seguintes condições:

- Custos de manutenção e operação reduzidos;
- Consumo mínimo de energia;
- Máximo de geração energética;
- Maior desempenho do conjunto;

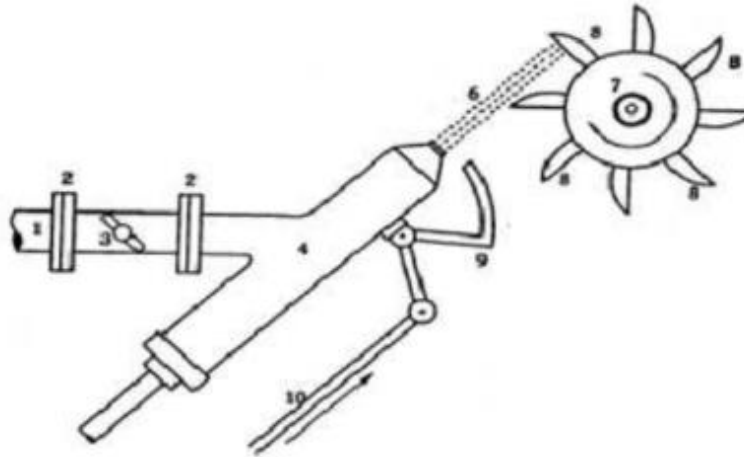
As máquinas hidráulicas possuem três características fundamentais de funcionamento (CAMPOS, 2015): fluxo de material pelo interior da máquina, variação de energia específica do fluido através da máquina e característica cinemática do equipamento.

O fluxo de material através da máquina é representado pela vazão de escoamento do fluido (Q) medida em m^3/s . A variação de energia é dada pela altura H - queda em caso de turbinas ou elevação no caso de bombas hidráulicas - e a diferença de pressão Δh , sendo medidas em m.c.a e N/m^2 sucessivamente. A característica cinemática do equipamento é dada pela rotação n expressa em rpm.

As turbinas hidráulicas são máquinas de conversão de energia hidráulica em energia elétrica classificadas em turbinas de ação ou turbinas de reação. As turbinas de ação são conversores hidrodinâmicos que operam com a energia cinética da água, recebendo energia na forma mecânico-hidráulica e fornecendo na forma mecânico-motriz (SIMONE, 2013). Toda a energia potencial do aproveitamento (com a exclusão das perdas de carga da tomada d'água e das canalizações de pressão) é convertida

em energia cinética antes de chegar às conchas do rotor da turbina. A figura 16 nos mostra a composição da turbina Pelton:

Figura 16 - Vista simplificada de uma turbina Pelton dotada de um injetor.



Fonte: Simone, 2013.

1	Tubulação forçada	6	Jato d'água
2	Flanges	7	Rotor Pelton
3	Válvula borboleta Injetor	8	Aletas do rotor
4	Pelton	9	Desviador
5	Eixo do servomotor	10	Comando do desviador

As turbinas de reação convertem energia mecânico-hidráulica, das formas cinética e de pressão, em energia mecânico- motriz (SIMONE, 2013).

Para Chechin et. al. (2018) a escolha da turbina é realizada de acordo com a pressão disponível (ou altura de queda), vazão do sistema, potência e rendimento do equipamento hidráulico, conforme observado no Quadro 1.

O rendimento das turbinas também é um fator fundamental para a escolha dos dispositivos. Esse fator representa a relação entre a energia disponível e a energia gerada pela máquina, sendo amplamente divulgado nos catálogos e indicações dos fabricantes que constam, além do seu rendimento, a faixa de operação ótima desse equipamento hidráulico (SOSNOSKI, 2015).

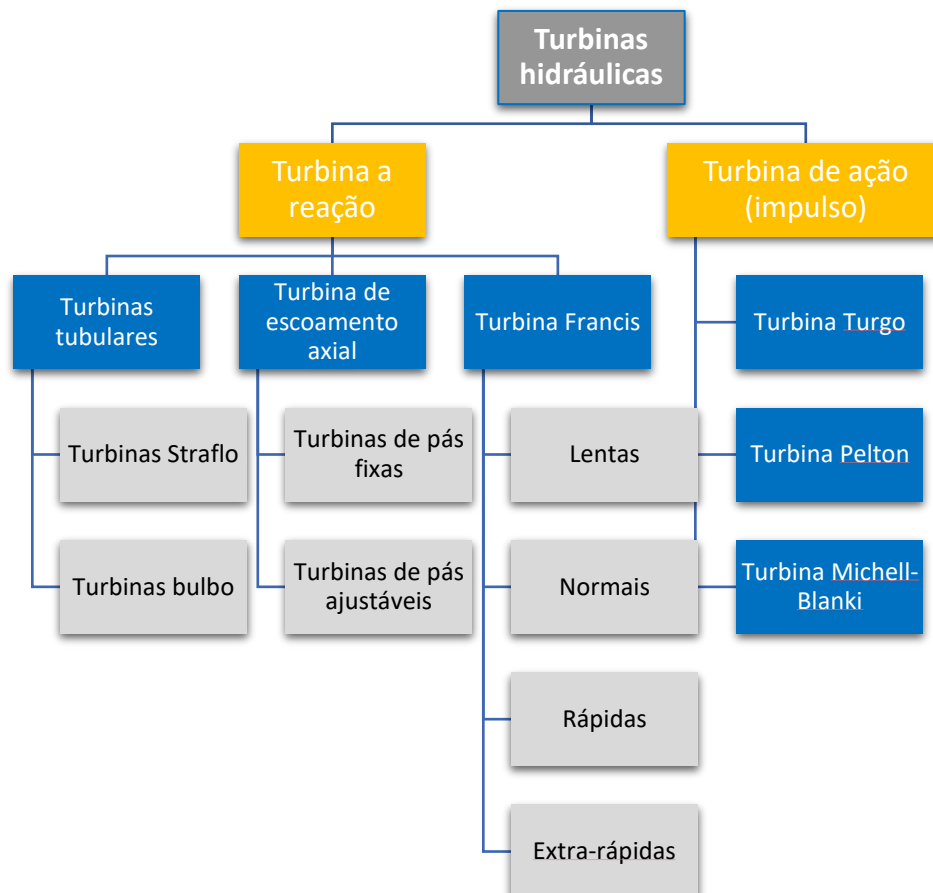
Quadro 1 - Eficiência dos equipamentos:

Nome	Rotação NS	Especificação 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	0,05 - 700	2 - 750	1 - 750.000	80 - 93
	Lenta	60 - 170				
	Normal	150 - 250				
	Rápida	250 - 400				
Kaplan	300 - 800		0,3 - 1.000	5- 80	2- 200.000	88 - 93

Fonte: Adaptado por Tiago Filho (2004)

Para Germer (2019) a classificação de turbinas pode ser realizada conforme figura 17:

Figura 17 - Classificação das turbinas hidráulicas.



Fonte: Germer, 2019.

2.3.1 Turbina Pelton

Indicada para alturas de queda entre 30 e 1.800 metros, a turbina Pelton é composta por uma roda circular que possui em sua periferia um conjunto de copos que são submetidos tangencialmente a um jato d'água oriundo de um ou mais injetores distribuídos uniformemente na ponta da roda. Esta turbina possui duas opções de eixo (eixo horizontal e eixo vertical) utilizados em situações de pequenas vazões de quedas úteis elevadas (30 a 500m) em potências que variam de 500 a 12.500 kW (GOMES, 2010).

A turbina Pelton de eixo horizontal, geralmente utilizada para um ou dois jatos, possui instalação econômica e fácil manutenção, possibilitando a montagem de dois rotores em uma mesma árvore. O eixo vertical é aplicado no caso de quatro ou seis jatos sobre as pás do rotor.

Figura 18 - Turbina hidrelétrica Pelton.



Fonte: Armfield, 2019.

A turbina Pelton é composta por:

1. Distribuidor: bocal fabricado para direcionar a água proporcionando um jato cilíndrico sobre a pá do receptor.
2. Rotor: composto por pás com formato de concha, instalados na periferia de um disco que gira preso a um eixo. A pá possui um gume médio, que fica sobre o plano médio da roda, e que divide simetricamente o jato e o desvia lateralmente.

3. Defletor de jato: responsável pela intercepção do jato, desviando-o das pás no caso de diminuição abrupta na potência demandada pela rede de energia. Nesses casos uma atuação rápida da agulha para reduzir a descarga poderia provocar uma sobrepressão no bocal, nas válvulas e ao longo do encanamento adutor. Quando a agulha assume sua posição ideal, correspondente à potência absorvida, o defletor retorna à sua posição inicial liberando a passagem do jato
4. Bocal de frenagem: faz recair um jato nas costas das pás invertendo o sentido de rotação quando deseja-se frear a turbina rapidamente.

Esse tipo de turbina pode ser classificado conforme a quantidade de jatos (um, dois, quatro, seis e três jatos em casos excepcionais). Quanto maior o número de jatos maior a potência para uma mesma queda, maior o desgaste por abrasão se a água tiver areia em suspensão e menor o tamanho do rotor (o que representa uma redução no custo por unidade de potência instalada). A incidência de jatos sobre o rotor em cada volta depende do número de jatos, de modo que, quanto maior a queda, menor deverá ser o número de impactos sobre a pá por minuto.

Segundo Souza (2015), a força que a água exerce sobre a roda é dado pela expressão (3), dada por:

$$F = \rho S U^2 \quad (3)$$

Onde:

F: força

S: Área de escoamento

U: Velocidade de escoamento

ρ : Massa volúmica

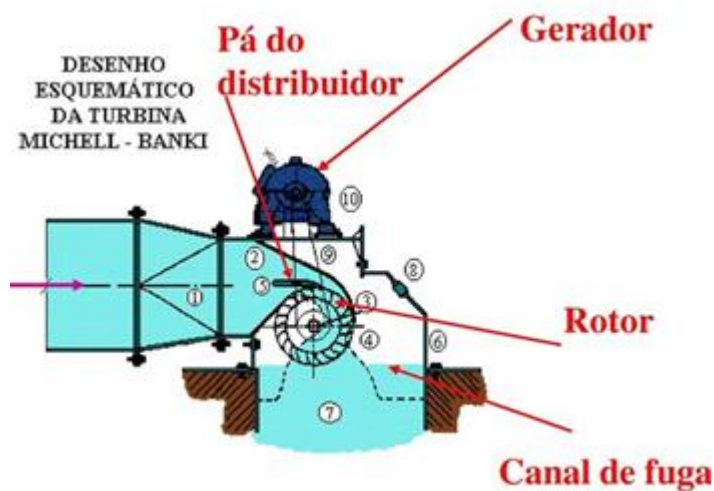
Como se pode verificar, a força é proporcional ao quadrado da velocidade, o que viabiliza a redução da secção através do bocal, aumentando assim a velocidade do escoamento e aumentando consequentemente a força.

As turbinas Pelton são recomendadas para grandes quedas (superiores a 150m), onde a vazão aproveitável geralmente é reduzida uma vez que a captação é realizada em altitudes onde o curso d'água ainda é de pequeno deflúvio. Possuem fabricação, regulagem e instalação simples, sendo facilmente empregadas em micro-usinas, em fazendas, etc., aproveitando pequenas vazões e quedas para geração de algumas dezenas de CV.

2.3.2 Turbina Michell Banki

Indicada para quedas abaixo de 30 m.c.a, a turbina Banki trabalha com pás, que, ao sofrerem colisão com a água corrente, põem o rotor a girar, acionando então a turbina (BONOW et. al., 2014). Seu intervalo de queda abrange de 1 a 200 metros, sendo muito utilizadas em micro e minicentraís (abaixo de 1000 kW) devido ao seu bom rendimento, baixo custo e facilidade de fabricação.

Figura 19 - Modelo brasileiro de Turbina Michell Banki.



Fonte: Tiago, 1987.

Legenda:

- (1) Canal adutor e peça de transição;
- (2) Injetor ou distribuidor;
- (3) Eixo do rotor e polia de transmissão;
- (4) Rotor da turbina;
- (5) Pá diretriz;
- (6) Carenagem ou carcaça da turbina;

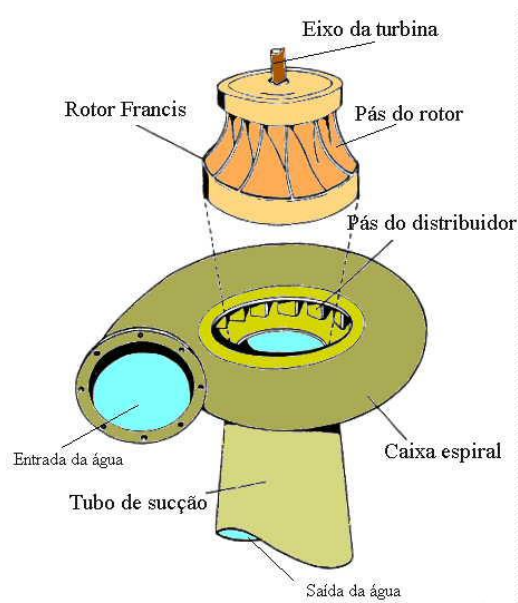
- (7) Tubo de sucção;
- (8) Válvula de entrada de ar;
- (9) Correias de transmissão;
- (10) Alternador.

2.3.3 Turbina Francis

Indicada para quedas entre 2 e 150 metros, este é o tipo de turbina mais utilizada no mundo. Nas turbinas Francis, o rotor fica internamente ao distribuidor, de modo que a água se aproxime do eixo ao atravessar o rotor. A velocidade específica da turbina varia entre lenta, normal, rápida ou extra rápida e influencia diretamente nos formatos possíveis para rotores (GERMER, 2019).

O distribuidor, ainda de acordo com Germer (2019), possui um conjunto de pás locadas em volta do rotor que podem assumir ângulos ajustados às descargas para reduzir a perda hidráulica. As pás do distribuidor possuem, paralelo ao eixo da turbina, um eixo de rotação que maximiza ou bloqueia a seção de escoamento.

Figura 20 - Esquema e legenda dos componentes de uma Turbina Francis



Fonte: Farret; Simões, 2006.

De acordo com Ramos e Silva (2009), as turbinas Francis são máquinas de reação do tipo ação total diferenciadas em relação ao eixo, modo de instalação e velocidade do rotor. Quanto ao posicionamento dos eixos, as turbinas Francis podem ser:

- Eixo vertical
- Eixo horizontal.

As vantagens das turbinas de eixo horizontal sobre as de eixo vertical é que nas primeiras a turbina e o gerador podem ser independentes, há uma melhor disposição da sala das máquinas já que a turbina e o gerador estão no mesmo nível, fácil montagem e entendimento, facilidade de manutenção e custo reduzido em cerca de 20% para as mesmas condições (RAMOS E SILVA, 2009).

Quanto ao modo de instalação, que caracteriza como recebem a água motriz, as turbinas Francis podem ser de instalação aberta ou fechada. A instalação aberta ocorre quando a turbina é colocada num poço, ao qual vem ter a água conduzida em um canal de adução, havendo geralmente uma comporta ou adufa para que se possa esvaziá-la na manutenção. Esse tipo de instalação é conveniente apenas para pequenas quedas (até 10 m) e potências pequenas (algumas centenas de CV).

A instalação fechada ocorre no caso de turbinas com quedas superiores a 10 m. Nesses casos indica-se que a turbina seja instalada em uma caixa em formatos de caracol, espiral ou voluta, envolvidas por concreto armado, e fluido conduzido em tubulação forçada.

A velocidade específica de rotação de uma turbina Francis é dada por:

$$n_s = \frac{n\sqrt{Pe}}{H^{\frac{4}{\sqrt{H}}}} \quad (4)$$

Onde:

$[n_s]$ em rpm,

$[Pe]$ em CV e

[H] em m.

Segundo Ramos e Silva (2009), a classificação das turbinas Francis quanto às velocidades do rotor é dada por:

- Lentas: $55 < n_s < 120$ rpm;
- Normais: $120 < n_s < 200$ rpm;
- Rápidas: $200 < n_s < 300$;
- Extra rápidas ou ultra-rápidas: $300 < n_s < 450$.

2.3.4 Turbina Kaplan

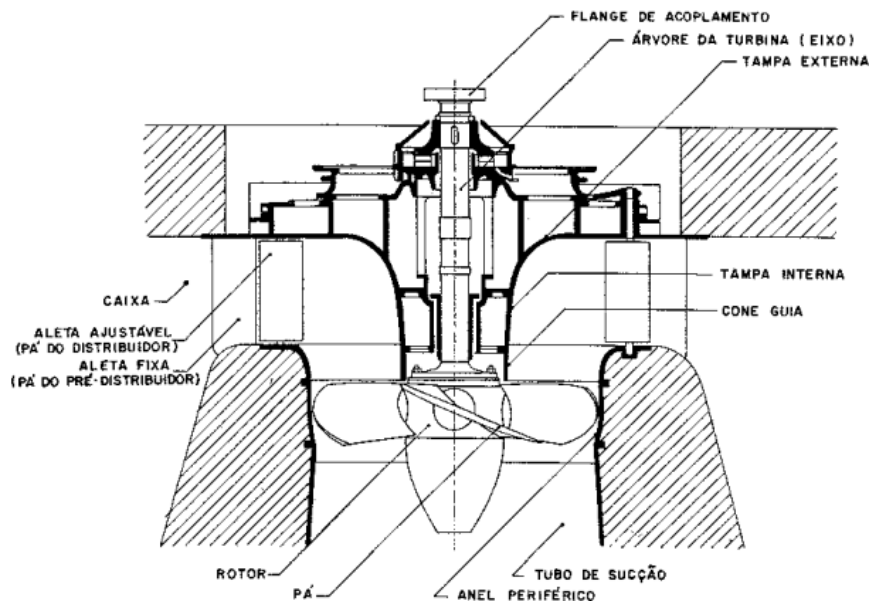
Adaptada da turbina hélice, a turbina Kaplan permite inclinação das pás a serem ajustadas de acordo com a descarga a ser recebida.

As turbinas Kaplan podem ser classificadas conforme números de pás:

- 4 pás para $10 < H < 20$ m;
- 5 pás para $12 < H < 23$ m;
- 6 pás para $15 < H < 35$ m;
- 8 pás (para $H > 35$ m).

Esse tipo de turbina é utilizado para rotações específicas acima de 350 rpm pois permite uma variação da descarga e da potência considerável sem apresentar grande variação do rendimento total.

Figura 21 - Corte longitudinal de uma turbina Kaplan.



Fonte: Guedes, 1994.

Ainda de acordo com Ramos e Silva (2009), os componentes de uma turbina Kaplan são:

1. Distribuidor: as pás possuem inclinação comandada por um sistema semelhante ao das turbinas Francis e ficam a uma distância considerável das pás do rotor. Os ângulos das pás do rotor e do distribuidor devem estar sincronizados.
2. Tubo de sucção: possuem mesma forma e mesma função dos tubos de sucção das turbinas Francis.
3. Rotor: composto por pás ajustáveis onde os ângulos são adaptados conforme demanda de potência.
4. Caixa espiral ou caracol: Pode ter seção transversal circular nas turbinas de pequena capacidade e nas quedas consideradas relativamente grandes para turbinas Kaplan, mas, nas unidades para grandes descargas e pequenas quedas, a seção é aproximadamente retangular ou trapezoidal com estreitamento na direção do distribuidor e recebe a denominação de semicaracol.

2.3.5 Mini e microturbinas

De acordo com Ramos et al. (2010) as mini turbinas são unidades com potência inferior ao limite delimitado entre 1000 kW e 5000 kW. Já as microturbinas são unidades de potência inferior a 100 kW. Por conter dimensões reduzidas, esses equipamentos são submetidos à ajustes de escala sem comprometer seus princípios de funcionamento, gerando redução dos custos relacionados as obras civis e conexão aos componentes de distribuição e eletromecânicos além de apresentar simplicidade na manutenção e instalação desses equipamentos (SOSNOSKI, 2015).

Sosnoski (2015) relata ainda que as turbinas de reação possuem otimização do rendimento no caso de pequenas vazões como as vazões encontradas na rede de distribuição predial, e caso sejam corretamente dimensionadas podem apresentar soluções de dimensionamento de geração ideais. Nas turbinas de reação o alternador é montado na parte exterior do condutor, cujo eixo pode ser transversal, em casos de mudança do fluxo (característica desejada no sistema de distribuição), ou cruzado pelo fluxo d'água.

2.4 Grandezas de funcionamento de uma máquina hidráulica

Para Campos (2015) é de fundamental importância para o dimensionamento e estudo do comportamento das máquinas hidráulicas o conhecimento das grandezas que influenciam no seu funcionamento. Estas máquinas têm seu funcionamento definido através de três grandezas básicas distintas, consideradas como características fundamentais das máquinas hidráulicas:

Q - Vazão [m^3/s]: representa o fluxo de material líquido ou gasoso através da máquina.

P - Altura de queda (turbinas) ou altura de elevação (bombas) [mca]: representa a variação de energia específica do fluido através da máquina.

η - Rotação da máquina [rpm]: representa a característica cinemática da máquina.

As grandezas de vazão e altura de queda tem sua conceituação definida a partir dos princípios da mecânica dos fluidos, já a rotação é decorrente dos princípios da física (cinemática dos corpos rígidos) aplicada a máquinas hidráulicas. O funcionamento das máquinas hidráulicas também depende de grandezas derivadas como potência hidráulica, potência mecânica, rendimento total entre outros fatores.

Considerando que muitos dos fabricantes de turbinas hidráulicas apresentam em seus catálogos séries de turbinas padronizadas, é relevante revisar as bases conceituais e a metodologia subjacente aos parâmetros determinantes na seleção de turbinas hidráulicas.

2.4.1 Cálculo de vazão

De acordo com a ABNT NBR 5626: 1998 o dimensionamento da prumada da rede de distribuição é realizado com a somatória dos pesos relativos a cada ponto de utilização, identificados em função dos aparelhos sanitários e peças de utilização conforme tabela abaixo:

Tabela 1 - Pesos relativos nos pontos de utilização identificados em função do aparelho sanitário e da peça de utilização

Aparelho Sanitário		Peça de Utilização	Vazão de projeto L's	Peso Relativo
Bacia sanitária		Caixa de descarga	0,15	0,3
		Válvula de descarga	1,70	32
Banheira		Misturador (água fria)	0,30	1,0
Bebedouro		Registro de pressão	0,10	0,1
Bidê		Misturador (água fria)	0,10	0,1
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,20	0,4
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,10	0,1
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,30	1,0
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15	0,3
Mictório cerâmico	Com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50	2,8
	Sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga p/ mictório	0,15	0,3
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	0,3
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,10	0,1
Tanque		Torneira	0,25	0,7
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,20	0,4

Fonte: ABNT NBR 5626 (1998).

Para dimensionar a vazão de projeto da prumada é necessita-se de análise de projeto e levantamento dos aparelhos sanitários que serão abastecidos pela instalação. A equação 5 estima a vazão na tubulação em análise (ABNT NBR 5626: 1998):

$$Q = 0,3 \times \sqrt{\sum P} \quad (5)$$

Onde:

Q– Vazão estimada da seção considerada, em Litros por segundo;

$\sum P$ – Soma dos pesos relativos de todas as peças de utilização alimentadas pela tubulação considerada.

2.4.2 Pressão

Segundo Carvalho Júnior (2014), nas instalações prediais consideram-se três tipos de pressão: a estática, a dinâmica e a pressão de serviço. As pressões são medidas em kgf/cm² (quilograma força por centímetro quadrado), entretanto existem outras formas de expressar medidas de pressão como o m.c.a (metro de coluna d'água). Com relação à equivalência entre ambas, 1 kgf/cm² é a pressão exercida por uma coluna d'água de 10 m de altura.

i. Pressão estática

A pressão estática, também conhecida como piezométrica, refere-se ao fluxo estacionado nos tubos, ou seja, sem escoamento. É dada por:

$$P1 = \gamma \cdot h_m \quad (6)$$

Onde:

P é a pressão estática;

h= carga de pressão estática;

ii. Pressão dinâmica

A pressão dinâmica é atribuída ao fluxo em movimento sendo associada à velocidade do escoamento representando o aumento de pressão quando o fluido em movimento é submetido à estagnação, sendo dado por:

$$P_{\text{din}} = \gamma \cdot h_{\text{din}} \quad (7)$$

Para $h_{\text{din}} = \gamma \cdot \frac{V^2}{2g}$ tem-se:

$$P_{\text{din}} = \rho \cdot \frac{V^2}{2} \quad (8)$$

Com relação à pressão dinâmica, de acordo com a NBR 5626, em qualquer ponto da rede predial de distribuição, a pressão da água em regime de escoamento não deve ser inferior a 0,50 m.c.a. Esse valor visa a impedir que o ponto crítico da rede de distribuição, geralmente o ponto de encontro entre o barrilete e a coluna de distribuição, possa obter pressão negativa. Por outro lado, uma pressão excessiva na peça de utilização tende a aumentar desnecessariamente o consumo de água (CARVALHO JÚNIOR, 2013). Portanto, em condições dinâmicas, os valores das pressões nessas peças devem ser controlados, para resultarem próximos aos mínimos necessários.

iii. Pressão de serviço

A pressão de serviço refere-se especificamente para pressão máxima que se pode aplicar a um tubo, conexão, válvula ou outro dispositivo, quando em uso normal. de acordo com a NBR 5626, “o fechamento de qualquer peça de utilização não pode provocar sobrepressão em qualquer ponto da instalação que seja maior que 20 m.c.a. acima da pressão estática nesse ponto”. Portanto, a pressão de serviço não deve ultrapassar a 60 m.c.a., pois é o resultado da máxima pressão estática (40 m.c.a.) somada à máxima sobrepressão (20 m.c.a.).

2.4.3 Potencial hidráulico

De acordo com Farret (2006), o potencial pode ser evidenciado na equação representada a seguir:

$$P_t = n. \rho. g. Q. H_m \quad (9)$$

Onde:

P_t é a energia potencial (em Watts);

n é a eficiência da turbina;

ρ é a densidade da água (1000 kg/m³);

g é a gravidade (9,8 m/s²);

Q é a vazão do sistema (em m³/s)

H_m é a altura manométrica de água equivalente (em N/m²).

Conforme Cechinel e Speck (2017), a energia gerada depende da pressão estática média (descrita em função do local), ou seja, fator H_m descrito na Equação 6. Como se deseja obter a energia gerada por um determinado período de tempo, ao invés de fluxo, deve-se considerar a quantidade total do líquido envolvido. Com isto, a energia gerada pode ser calculada pela seguinte equação:

$$E_t = n. \rho. g. V. H_m \quad (10)$$

Onde:

E_t é a energia potencial (em Joules);

n é a eficiência da turbina;

ρ é a densidade da água (1000 kg/m³);

g é a gravidade (9,8 m/s²);

V é o volume de água consumido no momento (m³);

H_m é a altura manométrica de água equivalente (em mca).

Para cálculo de consumo diário dentro de uma edificação (ou volume de água consumido), de acordo com Carvalho Júnior (2014), é necessário conhecimento prévio sobre pressão e vazão nos pontos de utilização; quantidade e frequência de utilização dos aparelhos; população; condições socioeconômicas; clima, entre outros. Estas informações devem ser coletadas do memorial descritivo de arquitetura, além de outras atividades complementares como lavanderia, piscina ou outros fatores que influenciem no consumo diário.

Para Creder (1991) e Macintyre (1990) na ausência de critérios e informações, para calcular o consumo diário de uma edificação, utilizam-se tabelas onde verifica-se a taxa de ocupação de acordo com o tipo de uso do edifício e o consumo per capita (por pessoa). O consumo diário (C_d) pode ser calculado pela seguinte fórmula:

$$C_d = P \times q \quad (11)$$

Onde:

C_d = consumo diário (litros/dia);

P = população que ocupará a edificação;

q = consumo per capita (litros/dia).

Tabela 2 - Consumo predial diário

Tipo de edificação	Consumo per capita (litros/dia)
Alojamento provisório	80
Ambulatórios	25
Apartamentos	200
Casas populares ou rurais	150
Cavalariças	100
Cinemas e teatros	2 por lugar
Creches	50
Edifícios públicos ou comerciais	50
Escolas (externatos)	50
Escolas (internatos)	150

Tipo de edificação	Consumo per capita (litros/dia)
Escolas (semi-internato)	100
Escritórios	50
Garagens e posto de serviço	50 por automóvel/200 por caminhão
Hotéis (sem cozinha e sem lavanderia)	120 por hóspede
Hotéis (com cozinha e com lavanderia)	250 por hóspede
Indústrias – uso pessoal	80 por operário
Indústrias – com restaurante	100 por operário
Jardins (rega)	1,5 por m ²
Lavanderias	30 por kg de roupa seca
Matadouro – animais de grande porte	300 por animal abatido
Matadouro – animais de pequeno porte	150 por animal abatido
Mercados	5 por m ² de área
Oficinas de costura	50 per capita
Orfanatos, asilos, berçários	150 per capita
Piscinas – lâmina de água	2,5 cm por dia
Postos de serviços para automóveis	150 por veículo
Quartéis	150 per capita
Residência popular	150 per capita
Residência de padrão médio	200 per capita
Residência de padrão luxo	250 per capita
Restaurantes e outros similares	25 por refeição
Templos	2 por lugar

2.5 Escolha do tipo de máquina hidráulica

Segundo Pedroso (1982) a escolha do tipo de turbina deve levar em consideração as condições de queda de água em altura e vazão, exigindo que tenha especialmente as seguintes características: “segurança de funcionamento, rendimento elevado, regularização fácil, capacidade de adaptação ao número exigido de rotações, baixo custo e (...) custo mais econômico quanto ao custo de aquisição, instalação e conservação”.

Esta seleção deve ser realizada com muita cautela, devendo-se ao fato de a turbina ter relação direta no impacto da geração da energia, portanto, a escolha de uma

turbina não ideal para o empreendimento traz consequências danosas, impactando diretamente na produção energética, custo e orçamento previsto (DALZOTTO, 2012).

Segundo Ramos et. Al. (2010), para obter o melhor aproveitamento da geração em pequenas hidrelétricas, é possível obter bons resultados utilizando-se de bombas funcionando como turbinas. Já autores como Khosrowpanah et. Al. (1984), propõem a escolha de turbinas Crossflow como sendo uma opção aos pequenos aproveitamentos, em substituição as válvulas redutoras de pressão.

Na escolha da turbina, deve-se analisar, além dos parâmetros técnicos e do seu preço, a capacidade de imediato atendimento, em caso de problemas durante o funcionamento, e a disponibilidade para fornecimento de peças sobressalentes, por parte do fabricante. (ELETROBRÁS, 2012).

Como a tendência de uma microcentral hidrelétrica é de que ela seja operada no modo não assistido, deve-se levar em consideração que a turbina tenha uma facilidade de manutenção e operação, sendo também dada fundamental importância à confiabilidade e robustez.

Com a definição do valor de vazão de projeto e queda líquida estimada, a escolha da turbina ideal para o empreendimento é realizada através dos gráficos de rendimentos e faixa de operação das turbinas (Figura 22). Existem no mercado diversos fabricantes que disponibilizam esses dados para a análise dos futuros projetos.

Segundo Tiago Filho et. al. (2008), a questão se um determinado parâmetro, como queda e vazão é grande ou pequeno, é relativo. Para verificar essa relatividade criaram-se grandezas específicas que, no caso das turbinas hidráulicas, é denominado de “rotação específica” que, em função das grandezas e unidades utilizadas na sua definição pode assumir diferentes valores.

A rotação específica pode ser obtida pela equação 12:

$$n_{qa} = 3n \cdot \frac{Q^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (12)$$

Onde:

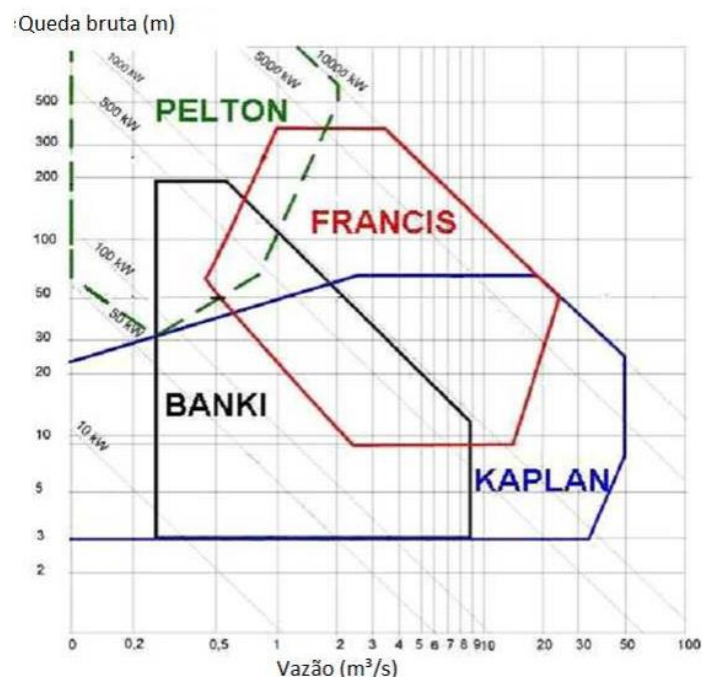
n é em (rpm);

Q em (m^3/s);

H em (m).

A escolha do tipo de turbina é realizada por gráficos (Figura 22), onde apresenta-se no eixo horizontal valores das vazões e no eixo vertical os valores das quedas:

Figura 22 - Gráfico de seleção de turbinas aplicáveis a minicentraís hidrelétricas.



Fonte: Adaptado de ELECTROSERVICE, 2019.

Segundo Tiago Filho et. Al. (2008), a questão se um determinado parâmetro, como queda e vazão é grande ou pequeno, é relativo. Para verificar essa relatividade criaram-se grandezas específicas que, no caso das turbinas hidráulicas, é denominado de “rotação específica” que, em função das grandezas e unidades utilizadas na sua definição pode assumir diferentes valores.

2.6 Geradores

De acordo com o Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, os geradores têm a função de transformar a energia mecânica proveniente das turbinas em energia elétrica.

Segundo Iorra (2013), para escolha do tipo de gerador mais adequado deve-se realizar um estudo sobre os principais tipos e modelos encontrados no mercado de tal forma que a escolha seja realizada de forma comparativa, balanceando os pontos positivos e negativos de cada gerador. Os geradores são classificados primeiramente entre geradores de corrente alternada (CA) e corrente contínua (CC).

Quando se trata de um gerador de corrente contínua, os mesmos princípios que formam a base de operação de máquina de corrente alternada e de corrente contínua, são governadas pelas mesmas leis fundamentais. Desta forma no cálculo do torque desenvolvido por um dispositivo eletromecânico se aplica tanto para geradores CA, quanto para geradores CC. Os geradores diferem-se nos detalhes de construção mecânica e consequente força eletromotriz no motor.

2.6.1 Gerador CC

Os geradores CC, também conhecidos como dínamos, são compostos por um rotor, anel comutador, estator e escovas. Segundo Santana (2019), o rotor é o elemento rotativo composto por ferro magnético envolto em um rolamento chamado de enrolamento de armadura e o anel comutador. Esse enrolamento é responsável pelo transporte da energia proveniente da fonte. O anel comutador é responsável por realizar a inversão adequada do sentido das correntes que circulam no enrolamento de armadura, sendo montado junto ao eixo da máquina e gira junto com a mesma. O movimento de rotação do eixo produz a comutação entre os circuitos dos enrolamentos.

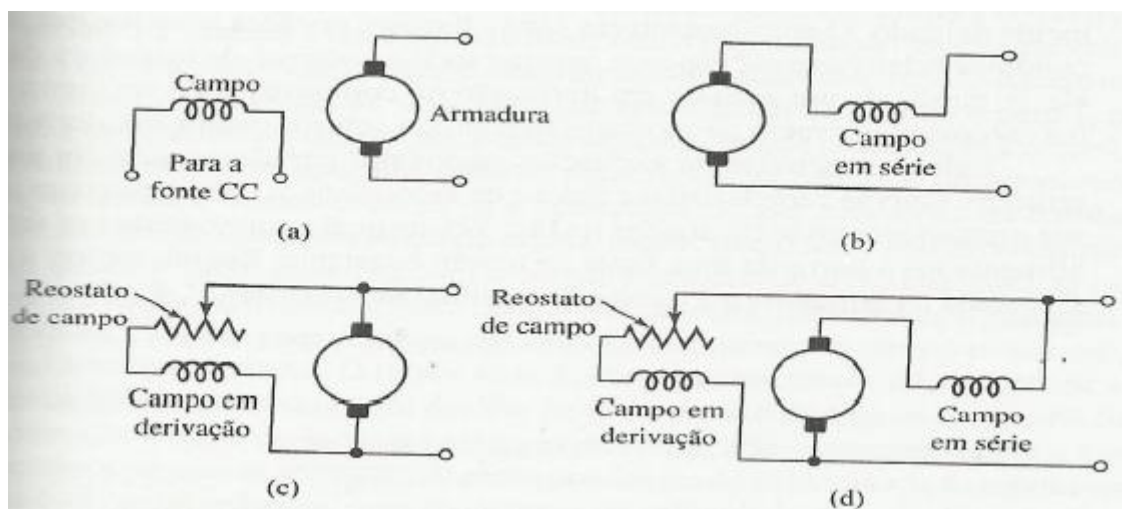
O estator, parte estática da máquina, é montado em volta do rotor garantindo que o mesmo possa girar internamente. Também é constituído de material ferromagnético, envolto em um enrolamento de baixa potência chamado de enrolamento de campo que tem a função apenas de produzir um campo magnético fixo para interagir com o

campo da armadura. As escovas são peças de grafite responsáveis por conduzir a energia para o circuito do rotor.

Ainda de acordo com Santana (2019), a fonte de energia mecânica tem o papel de produzir o movimento relativo entre os condutores elétricos dos enrolamentos de armadura e o campo magnético produzido pelo enrolamento de campo e desse modo, provocar uma variação temporal da intensidade do mesmo, e assim pela lei de Faraday induzir uma tensão entre os terminais do condutor. Desta forma, a energia mecânica fornecida ao eixo, é armazenada no campo magnético da máquina para ser transmitida para alimentar alguma carga conectada à máquina.

Segundo Iorra (2013), o gerador de corrente contínua pode ser utilizado com excitação em série (caso “b” na figura 23), em derivação (caso “c” na figura 23), composta (caso “d” na figura 23), independente (caso “a” na figura 23), ou por ímãs.

Figura 23 - Tipos de geradores CC



Fonte: FITZGERALD, 2006.

Diferenciando-se pela produção do fluxo, os geradores CC podem conter:

- Excitação em série: produz-se um fluxo de campo conectando-se o circuito de campo em série com o indutivo do gerador. Como a tensão varia abundantemente de acordo com a carga tendo o risco de o gerador desmagnetizar-se.

- Excitação em derivação: produz-se o fluxo de campo conectando-se o circuito de campo diretamente nos terminais do gerador, sendo protegidos apenas por um reostato de campo. A tensão depende da rotação do gerador e da corrente de campo, logo, alterações na rotação podem ser compensadas alterando a excitação utilizando reostato. Com esse modelo é possível controlar a tensão gerada mesmo com as mudanças de carga mecânica além de dispensar fontes para excitação do gerador.
- Excitação composta: produz-se o fluxo de campo conectando-se o circuito de campo parte em série e parte em derivação podendo ser ativo (onde os campos somam-se) ou diferencial (onde os campos se subtraem). Possui valores de tensão mais uniformes se comparado à derivação.
- Excitação independente: produz-se o fluxo de campo conectando-se o circuito de campo em um circuito independente do indutivo do gerador. A tensão nos terminais é diretamente proporcional à velocidade de rotação do rotor e da corrente de campo, onde as variações na corrente de campo permitem compensar as variações na velocidade de rotação.
- Excitação por ímãs: o fluxo de campo é gerado por um ímã, sendo considerado constante. Assemelha-se com a excitação independente com a ressalva que o valor do campo não varia.

2.6.2 Gerador CA

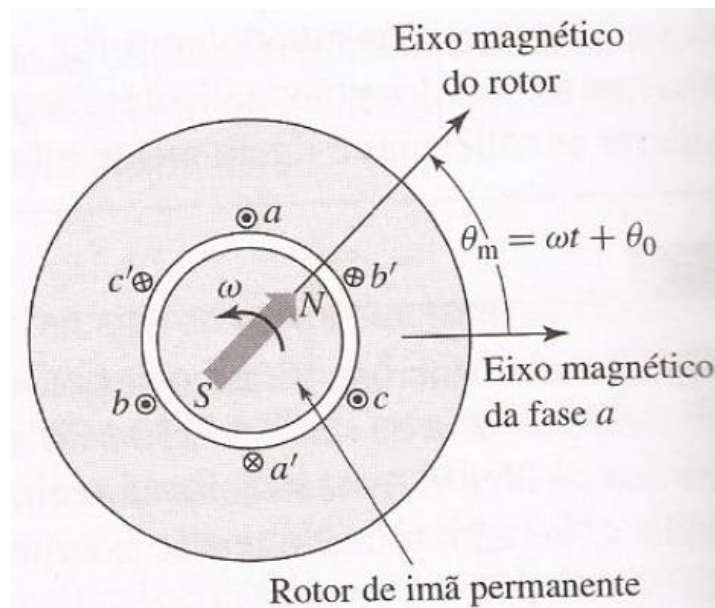
A energia elétrica em corrente alternada (CA) é a mais comum para distribuição domiciliar, tendo seus grandes grupos divididos em geradores síncronos e de indução (IORRA, 2013), onde ambos os grupos possuem vantagens e desvantagens que devem ser analisadas para escolha do equipamento ideal.

Segundo Iorra (2013) os geradores síncronos possuem características conhecidas e de controle relativamente fácil. Além disso, é fácil conectá-los em paralelo, para tal, é necessário que haja mesma tensão, ângulo entre fases e sequência de fases, além de frequências muito similares (recomenda-se que o novo gerador a ser conectado tenha frequência levemente maior, que depois sincronizará com a rede). Outro fator positivo quanto a esse tipo de gerador é sua capacidade elevada em suporte de sobrecargas em curtos períodos de tempo. Geralmente a maior potência para esta

categoria é de 5000 kVa. Devido sua grande versatilidade e altos valores de rendimento (podendo atingir 97%) esse é o tipo de equipamento com melhor adoção por parte do mercado.

De acordo com Chapman (2005), o gerador de indução possui limitações severas pois não pode gerar potência reativa e consome potência reativa, sendo necessário conexão com alguma fonte externa para obtenção da potência reativa e controle de tensão no gerador. Para Farret e Simões (2006) esse equipamento possui fácil manipulação na operação em paralelo com grandes sistemas de potência que forneceriam a potência reativa e controlariam a tensão gerada. Seu uso é muito comum em pequenas hidroelétricas.

Figura 24 – Diagrama de uma máquina CA de imã permanente.



Fonte: FITZGERALD, 2006.

Esse tipo de gerador possui problemas relativos à possibilidade de desmagnetização em caso de operação isolada da rede e frequência. Logo, mesmo esse tipo de gerador sendo muito utilizado em pequenas centrais hidroelétricas, não é o mais adequado para aplicação predial (IORRA, 2013).

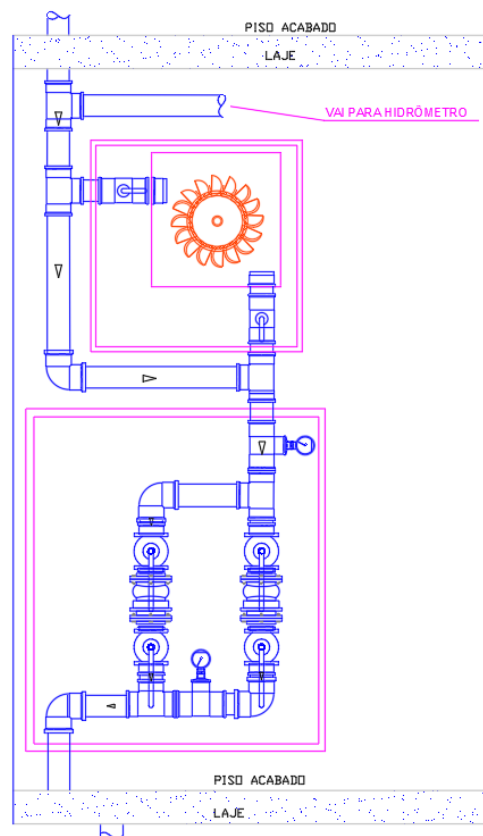
3 METODOLOGIA DE ESTUDO

Neste módulo serão descritos os materiais e métodos utilizados na descrição do procedimento para verificar a viabilidade e estabelecer quais as formas de mini ou micro abastecimento energéticos que podem ser implantados na rede de distribuição predial.

3.1 Posicionamento das turbinas

Conforme Chechinell e Speck (2017) as turbinas deverão ser posicionadas em locais onde haja pressão excedente e maiores vazões. Considerando que o local de maior pressão esteja anterior à válvula redutora de pressão, sugere-se que a instalação do equipamento seja realizada através de um desvio no by pass, anterior à entrada da VRP conforme Figura 25.

Figura 25 - Simulação de instalação de máquina hidráulica



Fonte: Acervo próprio do autor

A figura 25 ilustra duas possibilidades de fluxo na tubulação hidráulica: passagem pela turbina ou desvio de direcionamento à estação redutora de pressão. No caso de uso da máquina hidráulica observa-se que o fluxo é desviado da prumada de água fria e direcionado para o distribuidor da turbina. Posteriormente, direciona-se o fluxo para estação redutora de pressão, passando primeiramente pelo manômetro que realizará a medição de pressão na chegada do equipamento. A regularização da pressão de acordo com os critérios de projeto é realizada pela válvula redutora de pressão, seguidamente, o fluxo direciona-se à prumada de abastecimento e segue para os pavimentos inferiores à válvula.

3.2 Procedimentos de instalação

Os procedimentos para instalação de sistemas geradores de energia iniciam-se usualmente com um estudo de inventário energético de uma região a fim de identificar os pontos de maior potencial e as configurações de queda que propiciam o melhor aproveitamento. A partir desse estudo são identificados os locais onde o aproveitamento apresenta as melhores condições para um investimento viável, passando por estudos de análise multicritérios que envolvem todos os fatores importantes à construção da unidade geradora (SOSNOSKI, 2015), são eles:

- Valores de produção de energia;
- Viabilidade técnica;
- Custos de instalação e manutenção;
- Impactos econômicos e socio ambientais.

Detectado o local com as condições ideais, desenvolve-se um estudo de viabilidade paralelamente à um estudo da concepção técnica da central de geração, resultando posteriormente no projeto básico e executivo.

Para Sosnoski (2015) os estudos de concepção têm o intuito de analisar a melhor configuração dos equipamentos e estrutura, aproveitando as características locais em benefício do empreendimento. Desta forma, a etapa do inventário em um projeto de distribuição de água é composta pela identificação da configuração e arranjo do sistema.

Em acordo a esse procedimento, a instalação e geração de energia no sistema de distribuição predial a partir de mini e/ou micro centrais hidrelétricas necessita dos estudos de viabilidade, que antecedente os projetos básicos e executivo.

Para realização de estudos de viabilidade, pode-se considerar fatores como inflação, juros, variação no valor da energia elétrica entre outros fatores. Um projeto viável economicamente não deve resultar em prejuízo ou, caso isso ocorra, o mesmo não deve ser elevado e conter justificativa.

O cálculo de viabilidade considera os custos e receitas geradas pelo projeto, de forma a eliminar ou evitar o prejuízo e obter uma conclusão baseada em fatos e números. Ressalta-se que nem sempre um projeto viável resulta em excelência financeira: a aplicação de fontes renováveis pode, em alguns casos, ser mais relevante do que o preço da instalação.

1. Receitas

O cálculo de receitas baseia-se na quantidade de energia gerada e economia que esta geração trará ao sistema, onde a economia é dada pela quantidade de energia gerada multiplicada pelo preço de mercado da mesma. Para obtenção do resultado real, deve-se considerar a variação do preço da energia elétrica (o preço de mercado varia conforme condições adversas).

A quantidade de energia gerada é calculada em função da quantidade de água que passa pelo gerador hidráulico e da pressão que passa pelo mesmo, sendo exclusivamente dependente da posição do equipamento, tornando a escolha do local de instalação ainda mais importante.

2. Custos

A análise de custos é fator determinante para realização do investimento, dividindo-os em custos iniciais e custos operacionais.

Para determinação dos custos iniciais deve-se considerar os custos do equipamento, instalação e demais materiais necessários para execução da instalação, além de

possíveis alterações da estrutura do prédio que acarretem em custos adicionais. Os valores de aquisição das máquinas hidráulicas, em sua maioria, são obtidos em catálogos de fornecedores, ressaltando-se que os custos iniciais devem ser quitados dentro do prazo de vida útil.

Os custos operacionais são relativos à geração e manutenção dos equipamentos existentes no sistema, sendo diretamente dependentes da quantidade a ser gerada.

3.3 Simulação

Consideremos um edifício residencial de alto padrão composto por 36 pavimentos tipos. A área comum é formada por 04 pavimentos garagem, 01 pavimento térreo e 01 pavimento lazer. Nos pavimentos tipos encontram-se 02 apartamentos por andar contendo sala, cozinha, 03 suítes, lavabo, área de serviço, banho de serviço e circulação, com área total de 200m² conforme projeto. Suponha-se 06 moradores para cada unidade conforme planta baixa, 36 pavimentos no edifício o número total de pessoas que devemos considerar para o consumo diário é:

$$\text{População} = \text{n}^{\circ} \text{ apto/andar} \times \text{n}^{\circ} \text{ pavimentos} \times \text{pessoas/apto}$$

$$\text{População} = 2 \times 36 \times 6$$

$$\text{População} = 432 \text{ pessoas}$$

De acordo com a tabela de estimativa de consumo predial diário (Tabela 2), um morador de residência de padrão luxo consome em média 250 litros de água por dia em apartamentos, portanto:

$$C_d = 432 \text{ habitantes} \times 250 \text{ litros/dia.hab}$$

$$C_d = 108.000 \text{ Litros/trecho}$$

Para cálculo da vazão de projeto, considerando os ambientes e aparelhos descritos em projeto para cada unidade tem-se:

Tabela 3 - Pesos para cálculo de vazão de projeto

Ambiente	Aparelho sanitário	Pesos relativos	Σ Peso
ESTAR/ JANTAR	PIA	0,7	0,7
COZINHA	02 PIA + MLL	$2 \times 0,7 + 1,0$	2,4
ÁREA DE SERVIÇO	TQ + MLR	$0,70 + 1,0$	1,7
BANHO DE SERVIÇO	LV + BS + CH	$0,3 + 0,3 + 0,1$	0,7
LAVABO	LV + BS	$0,3 + 0,3$	0,6
SUÍTE 01	LV + BS + CH	$0,3 + 0,3 + 0,1$	0,7
SUÍTE 02	LV + BS + CH	$0,3 + 0,3 + 0,1$	0,7
SUÍTE MASTER	02 LV + BS + CH	$2 \times 0,3 + 0,3 + 2 \times 0,1$	1
	TOTAL		8,5

Fonte: Acervo próprio do autor

Na simulação, o sistema hidráulico possui uma coluna com seis válvulas redutoras de pressão. Dessa forma, a água sai do reservatório superior e se divide em cinco colunas verticais. De acordo com o dimensionamento e cálculo de pressão em cada ponto, optou-se pela instalação da primeira VRP a 39,12m após saída do reservatório superior, sendo este o local previsto para inserção da primeira turbina.

As válvulas redutoras de pressão foram instaladas no 30º (primeiro ponto), 25º, 20º, 15º, 10º e 5º pavimento, totalizando 06 pontos de geração de energia conforme Figura 26. A altura do pé direito entre cada pavimento é igual a 3,00 m totalizando pressão de 15 metros de coluna d'água em cada trecho.

Para cálculo da vazão na entrada do sistema de reaproveitamento considera-se para o trecho entre VRP's:

$$\Sigma P = 8,5 \times 2 \times 5$$

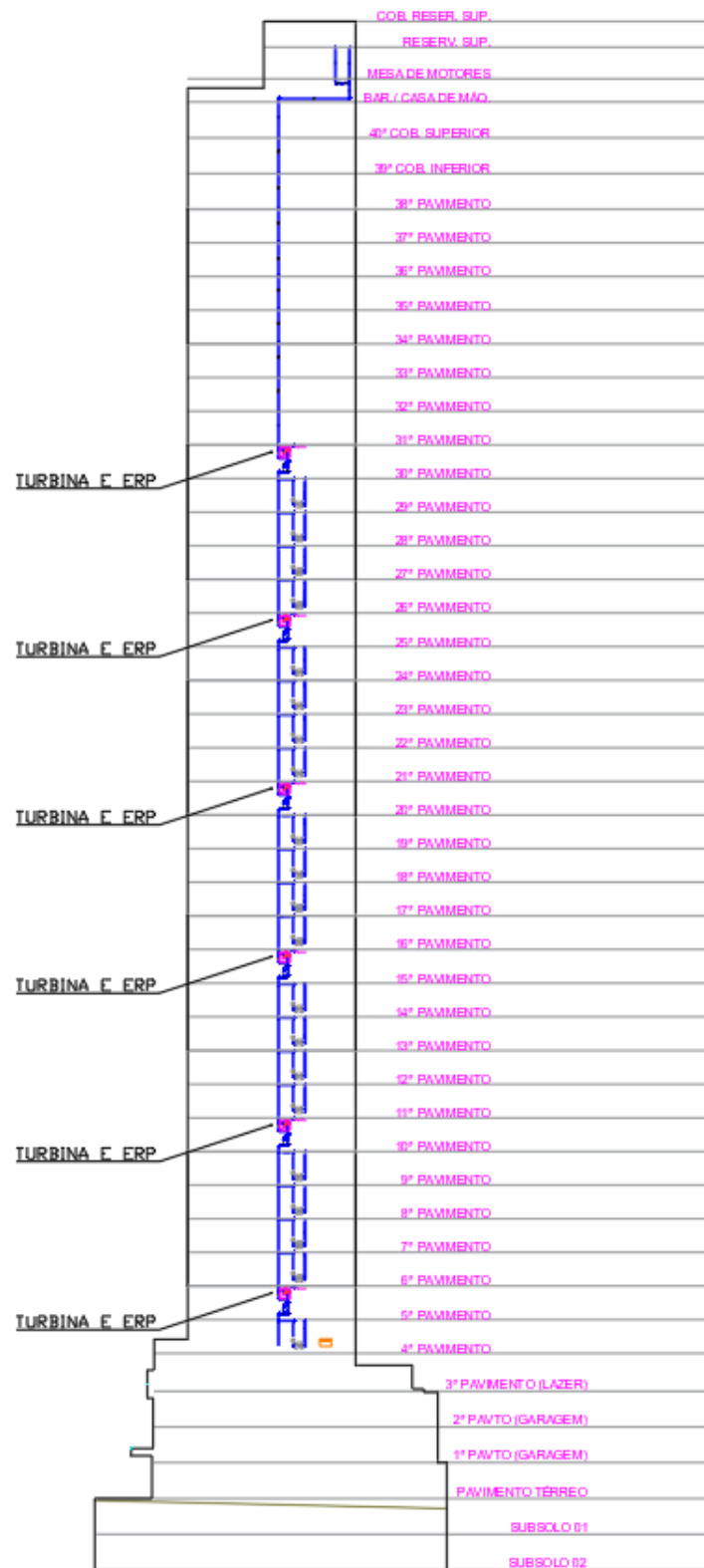
$$\Sigma P = 85$$

Portanto, tem-se:

$$Q = 0,3 \times \sqrt{\Sigma 85}$$

$$Q = 2,76 \text{ m}^3/\text{s}$$

Figura 26 - Prumada de água fria.



Fonte: Acervo próprio do autor

Para valores de pressão média igual a 15 mca e vazão média de 2,76 m³/s, conforme Quadro 1, a turbina que melhor se encaixa com essa pressão e vazão foi a turbina Kaplan com rendimento estimado de 88%.

A pressão média composta por esta simulação será de 15 metros de coluna d'água (5 pavimentos x 3 metros de pé direito), o rendimento do gerador será aproximado, como 70% devido fatos de perda em transitórios e conversões de energia. Portanto, a energia gerada por dia de acordo com o aproveitamento da potência da rede equivale a:

$$Et = 0,88. 1000. 9,8. 108. 15$$

$$Et = 13.970.880 \text{ J/dia}$$

$$Et = \frac{Et \text{ [J/dia]}}{1000.3600}$$

$$Et = 3,88 \text{ kWh/dia}$$

O que resulta em aproximadamente:

$$Et = 116,42 \text{ kWh/mês}$$

3.4 Destino da energia gerada

Para o cálculo do consumo de energia são necessárias três variáveis: a potência, o número de horas e os dias de uso do aparelho a ser utilizado. Os cálculos de consumo médio de energia, segundo o PROCEL INFO (2019), são realizados através da multiplicação da potência do aparelho, número de horas de consumo e quantidade de dias de uso conforme a fórmula abaixo:

$$\text{Consumo} = \frac{\text{Potência} \times \text{Nº de horas de consumo} \times \text{Dias de consumo ao mês}}{1000}$$

A tabela 1 apresenta os valores de consumo dos aparelhos elétricos que podem ser instalados nas áreas de convivência de funcionários, guarita da portaria ou ambientes de uso coletivo existente na edificação.

Tabela 4 - Consumo de energia de aparelhos domésticos

Aparelhos elétricos	Potência média (watts)	Dias Estimados (uso/mês)	Média Utilização / Dia	Consumo Médio Mensal (kWh)
Cafeteira Elétrica	600	30	1h	18,0
Enceradeira	500	2	2h	2,0
Espremedor de frutas	65	20	10 min	0,22
Forno elétrico	800	20	1 h	12,0
Fritadeira elétrica	1000	15	30 min	7,5
Furadeira	650	5	1h	-
Grill	900	10	30 min	4,5
Lâmpada Led 12W	12	30	5h	1,8
Lavador de louças	1500	30	40 min	30,0
Liquidificador	300	15	15 min	1,1
Notebook	30	30	8h	7,2
Panela elétrica	1100	20	2h	44,0
Parafusadeira	1010	1	1h	-
Telefone sem fio	3	30	24h	2,16
Torradeira	800	30	10 min	4,0
TV PLASMA 42"	320	30	5h	48
Ventilador de teto	120	30	8h	28,8

Fonte: ELETROBRÁS, 2019.

Considerando os valores de potência de consumo de cada aparelho e dados como horas de funcionamento por dia e número de dias indica-se o cálculo da quantidade de elementos a serem alimentados pelo sistema de reaproveitamento conforme:

$$N^{\circ} \text{ de aparelhos} = \frac{\text{Consumo de energia}}{\text{Potência} \times \text{Horas por dia} \times n^{\circ} \text{ de dias}}$$

A tabela 5 é composta pelo cálculo quantitativo de aparelhos a serem alimentados considerando a potência gerada de 116,42 kWh/mês gerada pelo sistema:

Tabela 5 - Levantamento quantitativo de aparelhos a utilizar a energia reaproveitada.

APARELHO	POTÊNCIA (Watts)	ENERGIA GERADA (kWh/Mês)	H/DIA (h)	N ° DE DIAS	QUANT
Cafeteria elétrica	600	116,42	1,00	30	6
Enceradeira	500	116,42	2,00	2	58
Espremedor de frutas	65	116,42	0,17	20	537
Forno elétrico	800	116,42	1,00	20	7
Fritadeira elétrica	1000	116,42	0,50	15	16
Furadeira	650	116,42	1,00	5	36
Grill	900	116,42	0,50	10	26
Lâmpada Led 12W	12	116,42	8,00	30	40
Lavador de louças	1500	116,42	0,67	30	4
Liquidificador	300	116,42	0,25	15	103
Notebook	30	116,42	8,00	30	16
Panela elétrica	1100	116,42	2,00	20	3
Parafusadeira	1010	116,42	1,00	1	115
Telefone sem fio	3	116,42	24,00	30	54
Torradeira	800	116,42	0,17	30	29
TV PLASMA 42"	320	116,42	5,00	30	2
Ventilador de teto	120	116,42	8,00	30	4

Fonte: Acervo próprio do autor

A tabela 6 descreve o fator unitário por aparelho para levantamento quantitativo dos equipamentos a serem utilizados, onde o cálculo para consumo de um aparelho qualquer, atendendo a potência gerada para abastecimento é dado pela multiplicação entre fator unitário e potência gerada. O cálculo de fator unitário é dado por:

$$\text{Fator unitário} = \frac{1000}{\text{Potência} \times \text{Horas por dia} \times \text{nº de dias}}$$

O estudo considerando o cálculo percentual e valores unitários permite realizar o levantamento considerando o uso simultâneo de vários aparelhos, onde a

porcentagem de consumo de cada aparelho é determinada conforme especificidades ou preferências de uso e/ou projeto.

Tabela 6 – Fator unitário para levantamento quantitativo em função da potência gerada

APARELHO	POTÊNCIA (Watts)	H/DIA (h)	N ° DE DIAS	FATOR UNITÁRIO
Cafeteria elétrica	600	1,00	30	0,056
Enceradeira	500	2,00	2	0,500
Espremedor de frutas	65	0,17	20	4,615
Forno elétrico	800	1,00	20	0,063
Fritadeira elétrica	1000	0,50	15	0,133
Furadeira	650	1,00	5	0,308
Grill	900	0,50	10	0,222
Lâmpada Led 12W	12	8,00	30	0,347
Lavador de louças	1500	0,67	30	0,033
Liquidificador	300	0,25	15	0,889
Notebook	30	8,00	30	0,139
Panela elétrica	1100	2,00	20	0,023
Parafusadeira	1010	1,00	1	0,990
Telefone sem fio	3	24,00	30	0,463
Torradeira	800	0,17	30	0,250
TV PLASMA 42"	320	5,00	30	0,021
Ventilador de teto	120	8,00	30	0,035

Fonte: Acervo próprio do autor

O cálculo em função da pré determinação percentual para cada aparelho é dado pela multiplicação entre fator unitário, potência total gerada e porcentagem adotada para cada equipamento.

3.5 DISCUSSÕES

Considerando a necessidade energética crescente devido ao aumento populacional e a modernização das edificações atuais, pretendeu-se com esse trabalho determinar as perdas de dissipação de energia das válvulas redutoras de pressão visando convertê-las em uma nova fonte de reaproveitamento energético.

Elaborou-se uma revisão bibliográfica capaz de avaliar todas as características, funções e novas possibilidades que esse sistema de controle de pressão poderia exercer, visando a contribuição para embasamento de posteriores trabalhos

acadêmicos que abranjam o estudo de dissipação de energia e consequente elaboração de sistemas inteligentes capazes de ampliar e maximizar o sistema hidrossanitários e elétricos das edificações.

Para tal, sugeriu-se a instalação de microgeradores de energia nas estações redutoras de pressão com o propósito de aproveitar a pressão dissipada pelas VRP's para conversão de energia hidráulica em energia elétrica. Para fins de geração, determinou-se os fatores necessários para seleção da máquina hidráulica, além de sugerir os locais de instalação e demais fatores de influência do sistema a ser instalado.

4 CONCLUSÃO

O presente trabalho permite aproveitamento de uma fonte energética salientando o interesse na adoção de soluções inovadoras que visam otimização no aproveitamento energético dos sistemas hidráulicos com excesso de energia que seria dissipada através das válvulas redutoras de pressão instaladas no sistema de distribuição predial.

Esse estudo permite afirmar que é tecnicamente viável a microgeração de energia nas instalações hidráulicas prediais e a mesma é capaz de ocorrer sem prejudicar o abastecimento de água da edificação.

Em termos de reaproveitamento energético o projeto mostrou-se eficaz visando a sustentabilidade de recursos, porém inviável financeiramente pela baixa quantidade de energia gerada e dificuldade na implantação desse sistema em larga escala (a instalação em prédios já existentes mostra-se inviável e a aplicação em projetos recentes exige investimentos relevantes).

A tendência de variação no preço da energia, aliada ao aumento de demanda e menor possibilidade do aumento de ofertas pode tornar o projeto viável futuramente. Não obstante, em frente a escassez de recursos, quase chegando à escassez dos ativos ambientais, planeja-se que projetos semelhantes sejam implementados de forma a ponderar a relação entre custo x benefício de acordo com as condições de fornecimento energético existentes no futuro.

Para determinar de forma mais assertiva a viabilidade de operação do sistema proposto, recomenda-se a implementação de um projeto piloto, tornando possível realizar de forma mais fiel os estudos de viabilidade, levantamento de custos, materiais, funcionamento e outros fatores relativos ao mesmo.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, G. M; NASCIMENTO, R. S do. **Fontes alternativas e renováveis de energia no Brasil:** métodos e benefícios ambientais. XX Encontro Latino Americano de Iniciação Científica, XVI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação e VI Encontro de Iniciação à Docência – Universidade do Vale do Paraíba. Centro Universitário Ingá – UNINGÁ. 2016.

ARMFIELD, **Turbine Service Unit – FM6X**. Disponível em: < http://armfieldonline.com/media/transfer/doc/fm6x_60_61_62_63_64_new_layout_v1a_web.pdf>. Acesso em junho de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626: Instalação predial de água fria**. Rio de Janeiro, 1998.

BERMAD. **“Y” Control Strainer**. 2016a. Disponível em: <<https://www.bermad.com/wp-content/uploads/Y-Strainer.pdf>>. Acesso em maio de 2019.

BERMAD. **Redutora de pressão – 42 LP**. 2016c. Disponível em: < https://www.bermad.com/br/wp-content/uploads/sites/8/BC-42-LP-Redutora-de-Pressao-de-Acao-Direta-mod.42-LP_Ficha-Tecnica.pdf >. Acesso em junho de 2019.

BERMAD. **Redutora de pressão – Modelo 420**. 2016b. Disponível em: <https://www.bermad.com/br/wp-content/uploads/sites/8/BC-420-Redutora-de-Pressao-Pilotada-mod.420_Ficha-Tecnica.pdf>. Acesso em maio de 2019.

BONOW, A. A.; IBAÑEZ, G. B.; NETO, T. P. **O Uso do Potencial Hidráulico Predial para Microgeração de Energia Elétrica**. 2014. 6p. Artigo (Graduação em Engenharia de Energia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

BORGNAKKE, Claus; SONNTAG, Richard E. **Fundamentos da Termodinâmica**. 464 p. 7. ed. São Paulo, Brasil: Blucher, 2009.

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

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações Hidráulicas e o projeto de arquitetura**. São Paulo: Blucher, 2013.

CARVALHO JÚNIOR, Roberto de. **Instalações prediais hidráulico-sanitárias: princípios básicos para elaboração de projetos**. São Paulo. Blucher, 2014.

ÇENGEL, Yunus A.; BOLES, Michael A. **Termodinâmica**. 7. ed. Porto Alegre, Brasil: AMGH, 1019 p., 2013.

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

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

CHENICHEL, K. M. et al. **Estudo da viabilidade de microgeração de energia nas instalações hidráulicas prediais** - Estudo de caso. 6º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, p. 07. Bento Gonçalves, RS. 10 a 12 de Abril de 2018.

COVAS, D. **Detecção de Fugas em Redes de Distribuição de Água - Método de Análise Hidrodinâmica**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Superior Técnico, Lisboa, Portugal, 1998.

COVAS, D.; RAMOS, H. **A Utilização de válvulas redutoras de pressão no controle e redução de fugas em sistemas de distribuição de água**. 8º Encontro Nacional de Saneamento Básico, Barcelos. 27 a 30 de outubro, 1998.

CREDER, Hélio. **Instalações hidráulicas e sanitárias** 5.^a ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1991

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.

DOCOL. **Catálogo geral 2018/ 2019**. Disponível em < <https://www.docol.com.br/uploads/pdf/catalogo-geral-2018-2019.pdf>>. Acesso em maio de 2019.

ELECTROSERVICE. **Hydro Power Turbines.** Disponível em: <<http://www.electroservice.ro/en/services/3-hydro-power-turbines/>>. Acesso em 02 de novembro de 2019.

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

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

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

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 10 de junho de 2019.

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

GOMES, H. P. **Sistemas de Bombeamento – Eficiência Energética.** João Pessoa: Editora da Universidade Federal da Paraíba. 2012.

GONÇALVES, Elton; LIMA, Celso Vieira de. **Guias Práticos: Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água.** Volume 4. Organização e revisão técnica por Airton Sampaio Gomes. Brasília: SNSA, 2007.

GUEDES, M.V. **O alternador síncrono trifásico nos pequenos aproveitamentos hidroelétricos.** Faculdade de engenharia da Universidade do Porto: s.n. 1994.

ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M. **Sistemas prediais de água fria.** Texto Técnico – Escola Politécnica da USP. Departamento de Engenharia de Construção civil, TT/PCC/08. EPUSP, 1994.

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.

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

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.

MARINHO, Elizabeth Cândida. **Uso racional da água em edificações públicas**. 2007. 72 páginas. Monografia de Especialização - Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte, 2007.

MATOS, C. R.; LOPES, T. R. **Consumo de água no Campus Darcy Ribeiro da Universidade de Brasília** - Estudo de Medidas para redução de perdas. Faculdade de Tecnologia – Universidade de Brasília. Brasília, DF. 2016

MINISTÉRIO DA SAÚDE (BRASIL). **Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial União. 12 dez 2011.

MORAN, Michael J.; SHAPIRO, Howard N.; BOETTNER, Daisie D.; BAILEY, Margaret B. **Princípios da Termodinâmica para Engenharia**. 7. ed. Rio de Janeiro, Brasil: LTC, 820 p., 2013.

NIAGARA. **Manual de válvulas redutoras de pressão**. Disponível em: < <https://www.niagara.com.br/uploads/manuais/2018/03/fig-155-valvula-redutora-de-pressao-bronze-classe-150.pdf> >. Acesso em 17 de novembro de 2019.

OLIVEIRA, L.H. **Metodologia para a implantação de programa de uso racional de água em edifícios**. São Paulo, 1999. 319p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PEDROSO, Hermínio Braga. **Roteiro para projeto de pequenas e médias usinas hidrelétricas**. Goiânia: UFG, 1982.

PROCEL INFO, 2006. Disponível em: <<http://www.procelinfo.com.br/main.asp?View=%7BE6BC2A5F-E787-48AF-B485-439862B17000%7D>>. Acesso em 05 de junho de 2019.

RAMOS, H. M., BORGA, A., SIMÃO, M. **New design solutions for low-power energy production in water pipe systems**. Water Science and Engineering, Vol. 2, No. 4, pp. 69-84, 2009.

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 Batrista Campos. **Máquinas hidráulicas e térmicas**. Capítulo 8. Faculdade de Engenharia Mecânica - Universidade Estadual Paulista. Ilha solteira, 2009.

REALI, Marco. P., MONUZZI, Rodrigo B. **Instalações Prediais de Água Fria**. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

SANTANA, Adrielle de Carvalho. **Geradores de corrente contínua**. Unidade 02. Disponível em < http://professor.ufop.br/sites/default/files/adrielle/files/aula_5.pdf >. Acesso em 30 de novembro de 2019.

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

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. (2011) Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto. Brasília: Ministério das Cidades/SNSA/PMSS. 2019.

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, Fábio André Borges de. **Produção de energia em sistemas de distribuição de água – produção descentralizada.** 2017. 85 páginas. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2015.

TIAGO FILHO, Geraldo L. T. et al. **Pequenos aproveitamentos hidroelétricos.** Ministério de Minas e Energia. Brasília, 2008.

VALADARES, Leonardo. **Válvulas redutoras de pressão Magofe.** Disponível em: < <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAfZgsAF/valvulas-redutoras-pressao-magofe> >. Acesso em junho de 2019.

VENTURINI, Jamila. **Válvulas redutoras de pressão.** Revista Equipe de Obra, São Paulo, v. VII, n. 35. Maio, 2011. Disponível em: < <http://equipedeobra17.pini.com.br/construcao-reforma/35/valvulas-redutoras-de-pressao-213991-1.aspx> >. Acesso em 12 de maio 2019.

ZURICH. **Manômetro digital.** 2014. Disponível em: < <https://www.zurichpt.com.br/pdf/z.10.b.pdf> >. Acesso em junho de 2019.