



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO – UFOP

ESCOLA DE MINAS

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



LEONARDO ALVES GONZAGA

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO: DIMENSIONAMENTO DO
SISTEMA DE RECALQUE DE ÁGUA BRUTA PARA A ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BRAZLÂNDIA – DF**

**OURO PRETO - MG
2019**

LEONARDO ALVES GONZAGA

leonardogonzaga93@gmail.com

**ANÁLISE DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO: DIMENSIONAMENTO DO
SISTEMA DE RECALQUE DE ÁGUA BRUTA PARA A ESTAÇÃO DE
TRATAMENTO DE ÁGUA DO MUNICÍPIO DE BRAZLÂNDIA – DF**

Monografia apresentada ao Curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Professor orientador: MSc. Caio César de Souza Pereira

**OURO PRETO – MG
2019**

G642a

Gonzaga, Leonardo Alves.

Análise de sistemas de bombeamento [manuscrito]: dimensionamento do sistema de recalque de água bruta para a estação de tratamento de água do município de Brazlândia ? DF / Leonardo Alves Gonzaga. - 2019.

68f.: il.: color; grafs; tabs.

Orientador: Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira.

Monografia (Graduação). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola de Minas. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Associação de bombas. 2. Tubulação. 3. Adutora de água bruta. 4. Bomba centrífuga. 5. Abastecimento de água. I. Pereira, Caio César de Souza. II. Universidade Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU: 621

Catálogo: ficha.sisbin@ufop.edu.br



UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

ATA DA DEFESA

Aos 04 dias do mês de Julho de 2019, às 17h 30min, no auditório, localizada na Escola de Minas – Campus - UFOP, foi realizada a defesa de Monografia do aluno Leonardo Alves Gonzaga, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores: Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira, Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia e Prof. MSc. Sávio Sade Tayer. O candidato apresentou o trabalho intitulado: “Análise de sistemas de bombeamento: Dimensionamento do Sistema de recalque de água bruta para a estação de Tratamento de água do município de Brazlândia – DF”, sob orientação do Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira. Após as observações dos avaliadores, em comum acordo os presentes consideram o (a) aluno (a) aprovado.

Ouro Preto, 04 de Julho de 2019.

Prof. MSc. Caio César de Souza Pereira
Professor Orientador

Prof. MSc. Sávio Sade Tayer
Professor Avaliador

Prof. DSc. Luís Antônio Bortolaia
Professor Avaliador

Leonardo Alves Gonzaga

Aluno(a)

Agradeço à Deus pela força e orientação
nessa caminhada, assim como meus pais
Alierte e Jozelita.

A minha irmã Danyelle, meu sobrinho e
afilhado João Gabriel e a minha avó
Venídia.

A república Covil dos Gênios por ser meu
lar durante essa caminhada.

AGRADECIMENTO

Aos meus pais por serem meus pilares de sabedoria, força e fé, por acreditarem no meu potencial e me fazer alcançar meus sonhos.

Ao meu orientador Caio César de Souza Pereira, pelo incentivo e orientação neste trabalho.

À Escola Minas por toda sua história, pelo ensino de qualidade, por toda sua estrutura e referência de universidade na formação de excelentes profissionais.

Aos professores do curso de engenharia mecânica por suas importantes contribuições para o aprimoramento do trabalho.

À gloriosa República Covil dos Gênios, moradores e ex-alunos, por toda experiência, conquista, amizade, por contribuir com minha formação e se tornar parte da minha família.

Ao Bloco Cabrobró e Centro acadêmico da Escola de Minas, pela experiência de vida inigualável e por colaborar com minha formação pessoal.

À todas as pessoas especiais que de alguma forma me apoiaram e cooperaram para que este sonho se realiza-se.

“Talvez não tenhamos conseguido fazer o melhor. Mas lutamos para que o melhor fosse feito. Não somos o que deveríamos ser, não somos o que iremos ser, mas graças a Deus não somos o que éramos”.

Martin Luther King

RESUMO

GONZAGA, Leonardo Alves. Análise de sistemas de bombeamento: Dimensionamento de sistema de recalque de água bruta para a estação de tratamento de água do município de Brazlândia – DF. 2019. 68f. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

O presente trabalho faz uma análise dos parâmetros relacionados a um sistema de bombeamento e adutora de água bruta para abastecimento de água à população, apresentando uma descrição pormenorizada dos componentes ideais para atendê-lo, com a intenção de propiciar um maior entendimento, da tecnologia em questão. Faz-se necessário a pesquisa sobre os componentes que afetam diretamente a eficiência de um sistema de bombeamento, visto que são medidas imprescindíveis e inadiáveis para garantir a sustentação ambiental e econômica no setor. O presente trabalho é uma pesquisa exploratória, qualitativa e quantitativa, de caráter bibliográfico. A metodologia aplicada está de acordo com o projeto para abastecer uma cidade de médio porte, Brazlândia – DF, na qual utilizou-se fórmulas teóricas, e tabelas dos fabricantes dos equipamentos. Buscou-se informações sobre o local e o sistema já implantado com o intuito de utilizar no dimensionamento os dados reais. Após a definição dos diâmetros da tubulação de sucção e recalque, calcula-se as perdas de carga ao longo do sistema. Para o presente trabalho selecionou-se o material de ferro dúctil para a adutora de água bruta. Assim fez-se a seleção da bomba ideal, para o sistema proposto é KSB MEGANORM 80-250 com rotação de 3500 rpm para uma rede de 60 Hz. Considerando as especificações com vazão de 594 m³/h e altura manométrica de 100,6078 m para atender satisfatoriamente o sistema, faz-se necessário uma associação de 3 bombas deste tipo em paralelo. A peculiaridade de aplicação dos equipamentos no sistema permitiu além do estudo das características operacionais da bomba centrífuga, o estudo destas configurações de instalação e operação.

Palavras-chave: Associação de bombas, tubulação, adutora de água bruta, bomba centrífuga, abastecimento de água.

ABSTRACT

GONZAGA, Leonardo Alves. *Determination of pumping systems: Design of raw water discharge system for a water treatment plant in the municipality of Brazlândia - DF*. 2019. 68f. Monograph (Degree in Mechanical Engineering). Minas School, Federal University of Ouro Preto, Ouro Preto, 2019.

The present work consists of an analysis of the parameters related to a system of pumping and supplying raw water to a water source for a population, presenting a list of the components required to serve it, with the intention of providing a better understanding of the technology in question. Conduct research on components that directly affect the efficiency of a pumping system, since these are unpredictable and unavoidable measures to ensure environmental and economic sustainability in the industry. The work is an exploratory, qualitative and quantitative bibliographical research of character. The methodology is in accordance with the project to supply a medium - sized city, Brazlândia - DF, in which theoretical formulas are used, as well as the table of equipment manufacturers. Information was sought on the location and the system already in place in order to use data sizing. After the definition of the diameters of the suction and settling operation, the load losses are calculated throughout the system. For the present work the ductile iron material was selected for a raw water pipe. An ideal pump selection was therefore made for the KSB MEGANORM 80-250 system with a rotation of 3500 rpm for a 60 Hz network. Considering the filtration with precision of $594 \text{ m}^3 / \text{h}$ and gauge height of 100.6078 m to meet satisfactorily the system, it is necessary an association of 3 thirds of this type in parallel. The peculiarity of the application of the equipment in the system allowed besides the study of the operational characteristics of the centrifugal pump, the study of these configurations of installation and operation.

Keywords: Association of pumps, piping, raw water supply, centrifugal pump, water supply.

LISTA DE SIMBOLOS

μ	Viscosidade dinâmica [Ns/m ²]
C	Constante de Hazen-Williams [-]
D	Diâmetro [m]
f	Fator de atrito [-]
F	Frequência [Hz]
g	Gravidade [m/s ²]
H	Carga hidráulica [m.c.a.]
H _g	Desnível geométrico [m]
H _{gs}	Altura geométrica de sucção [m]
H _{man}	Altura manométrica [m]
J	Perda de carga unitária [-]
K	Coefficiente de perda de carga localizada [-]
L _{virtual}	Comprimento virtual [m]
L	Comprimento do tubo [m]
L _{eq}	Comprimento equivalente [m]
L _{reto}	Comprimento reto [m]
NPSH _d	Net Positive Suction HEAD (disponível) [m.c.a.]
NPSH _r	Net Positive Suction HEAD (requerido) [m.c.a.]
P	Potência [W ou cv ou hp]
p	Pressão [N/m ² ou kgf/cm ²]
p _{abs}	Pressão absoluta [N/m ² ou kgf/cm ²]
p _{atm}	Pressão atmosférica [N/m ² ou kgf/cm ²]
p _r	Pressão relativa [N/m ² ou kgf/cm ²]
p _s	Pressão no reservatório de sucção [N/m ² ou kgf/cm ²]

p_v	Pressão de vapor [N/m ² ou kgf/cm ²]
Q	Vazão [l/s ou m ³ /s ou m ³ /h]
Re	Número de Reynolds [-]
T	Jornada de trabalho [h]
t	Tempo [s]
v	Velocidade [m/s]
V	Volume [m ³ ou l]
v_r	Velocidade de recalque [m/s]
v_s	Velocidade de sucção [m/s]
W	Energia [J]
w	Peso [N]
γ	Peso específico [N/m ³]
ΔH	Perda de carga [m]
ΔH_C	Perda de carga contínua [m]
ΔH_L	Perda de carga localizada [m]
ΔH_r	Perda de carga no recalque [m]
ΔH_s	Perda de carga na sucção [m]
ε	Coefficiente de rugosidade [mm]
η	Rendimento [-]
ν	Viscosidade cinemática [m ² /s]
ρ	Massa específica [kg/m ³]
τ	Tensão de cisalhamento [N/m ²]
ϕ	Diâmetro da tubulação [m]
ϕ_r	Diâmetro de recalque [m]
ϕ_s	Diâmetro de sucção [m]

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Participação de renováveis na matriz elétrica.....	1
Figura 2: Matriz elétrica brasileira.....	4
Figura 3: Representação da expressão da viscosidade absoluta.....	9
Figura 4: Exemplo de um reservatório.....	11
Figura 5: Medida de pressão em relação ao formato do reservatório.....	12
Figura 6: Representação da equação da continuidade.....	13
Figura 7: Localização das adutoras em sistema de abastecimento de água.....	15
Figura 8: Representação das alturas de sucção e recalque em uma instalação.....	18
Figura 9: Ábaco de Moody.....	21
Figura 10: Acessórios e seus respectivos comprimentos equivalentes.....	22
Figura 11: Curva de pré-seleção de bombas.....	25
Figura 12: Classificação de Bombas.....	29
Figura 13: Vista em corte de uma bomba centrífuga típica.....	31
Figura 14: Rotor de bomba centrífuga radial pura.....	32
Figura 15: Bomba centrífuga.....	32
Figura 16: Rotor de bomba centrífuga de fluxo misto.....	33
Figura 17: Bomba centrífuga de fluido axial em corte e em funcionamento.....	34
Figura 18: Ligação em série de duas bombas.....	35
Figura 19: Pontos de operação com 1, 2 e 3 bombas em paralelo.....	36
Figura 20: Localização da região administrativa de Brazlândia no distrito federal.....	43
Figura 21: Região Metropolitana da RIDE DF.....	44
Figura 22: Curso rio Descoberto.....	45
Figura 23: Curso rio Descoberto.....	45
Figura 24: Mapa Hidrográfico da região administrativa IV.....	46
Figura 25: Perfil topográfico do terreno.....	46

Figura 26: Comprimentos equivalentes para os dispositivos de sucção.	51
Figura 27: Diagrama de Moody.....	52
Figura 28: Curva do sistema.....	56
Figura 29: Seleção de bomba centrífuga.	57
Figura 30: Seleção do rotor e curva característica para o modelo especificado.....	58
Figura 31: NPSHr da bomba selecionada.	58
Figura 32: Potência da bomba selecionada.	59
Figura 33: Associação de bombas em paralelo.	59
Figura 34: Instalação em paralelo.....	60
Figura 35: Conexão bomba e tubulação em sucção negativa.....	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:Grandezas e unidades de medidas	7
Tabela 2: Variação da viscosidade com a temperatura	9
Tabela 3:Variação do número de Reynolds com o diâmetro	10
Tabela 4: Valores de rugosidade absoluta para alguns materiais	20
Tabela 5: Valores de C (Hazen-Williams) para diversos materiais.....	23
Tabela 6:Valores de K – Coeficiente de perda de carga localizada para diversas peças	24
Tabela 7: Comparação entre pesquisa qualitativa e quantitativa.....	38
Tabela 8: Variáveis e indicadores da pesquisa	41
Tabela 9: Valores de K e de velocidade.....	48
Tabela 10: Comprimento equivalente do acessório em tubulação reta na sucção.....	50
Tabela 11: Perdas de carga localizada na sucção, valores de K.....	52
Tabela 12: Comprimento equivalente do acessório em tubulação reta no recalque.	53
Tabela 13:Perdas de carga localizada no recalque, valores de K.	54
Tabela 14: Aumento de altura manométrica do sistema em relação ao aumento de vazão	55
Tabela 15: Pressão atmosférica (p_{atm}) em função da altura em (m).....	61
Tabela 16: Pressão de vapor da água (p_v) em função da temperatura em (m).....	62

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Formulação do problema	1
1.2	Justificativa	3
1.3	Objetivos	5
1.3.1	Geral.....	5
1.3.2	Específicos	5
1.4	Estrutura do trabalho	5
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1	Conceitos básicos	7
2.1.1	Sistemas de unidades	7
2.1.2	Conceitos básicos e propriedades da água	8
2.2	Projeto de sistema de bombeamento e adutoras.....	14
2.3	Diâmetros econômicos para uma instalação elevatória	15
2.3.1	Fórmula de Bresse	15
2.3.2	Fórmula da ABNT	16
2.3.3	Velocidades econômicas	16
2.4	Altura manométrica da instalação	17
2.5	Perdas de carga na instalação	18
2.6	Curvas características	24
2.6.1	Curva de pré-seleção.....	25
2.6.2	Curva do sistema	25
2.7	Cavitação e NPSH (Net Positive Suction Head)	26
2.8	Potência do conjunto moto-bomba.....	28
2.9	Seleção de bombas e aplicações.....	28
2.9.1	Bombas centrífugas.....	30
2.10	Associação de bombas centrífugas	34
2.10.1	Associação de bombas em série	34
2.10.2	Associação de bombas em paralelo	35
3	METODOLOGIA	37
3.1	Tipo de pesquisa.....	37
3.2	Materiais e métodos.....	39
3.3	Variáveis e indicadores.....	40

3.4	Instrumento de coleta e dados	41
3.5	Tabulação de dados	41
3.6	Considerações finais	42
4	RESULTADOS.....	43
4.1	Cenário base e suas características principais	43
4.2	Parâmetros iniciais para o dimensionamento do sistema de bombeamento	47
4.3	Definição do diâmetro da tubulação	48
4.3.1	Fórmula de Bresse	48
4.3.2	Fórmula ABNT.....	49
4.3.3	Velocidades econômicas	49
4.4	Perdas de carga da tubulação	49
4.4.1	Perda de carga na sucção.....	50
4.4.2	Perda de carga no recalque.....	53
4.5	Altura manométrica total e curva característica da instalação	54
4.6	Seleção da bomba.....	56
4.7	Verificação da ocorrência de cavitação	61
4.8	Considerações finais	62
5	CONCLUSÃO.....	64
5.1	Conclusões	64
5.2	Proposições para trabalhos futuros.....	65
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Formulação do problema

Os recursos energéticos são o cerne dos interesses dos diversos países do globo, que desde a primeira revolução industrial reproduz-se conflitos geopolíticos. A expansão do meio urbano industrial na América Latina e Sudeste Asiático contribuíram exponencialmente na demanda energética. As percepções acerca do consumo, recursos naturais, mudanças climáticas e segurança energética pelos diversos países do globo configuram o panorama da evolução desse contexto. Esta, portanto, é indefinida e incerta, com várias trajetórias possíveis para a transição da economia baseada no uso de combustíveis fósseis para energias renováveis.

Até a metade do século XX não havia preocupação em relação a utilização de qualquer fonte de energia. Este descaso com as fontes não renováveis, principalmente, ocasionou a crise do petróleo gerando a necessidade do uso de formas alternativas para geração de energia, conseqüentemente a preocupação com o desperdício e a eficiência dos equipamentos envolvidos que fazem uso destas fontes (DUTRA, 2005).

No caso da energia elétrica, em particular, de acordo com Filho (2009) o Brasil apresenta um contexto mais favorável em relação ao mundo com uma grande oferta de fontes energéticas renováveis na transformação para o tipo elétrica. A Figura 1 representa a participação das fontes renováveis na matriz elétrica do Brasil e no mundo.

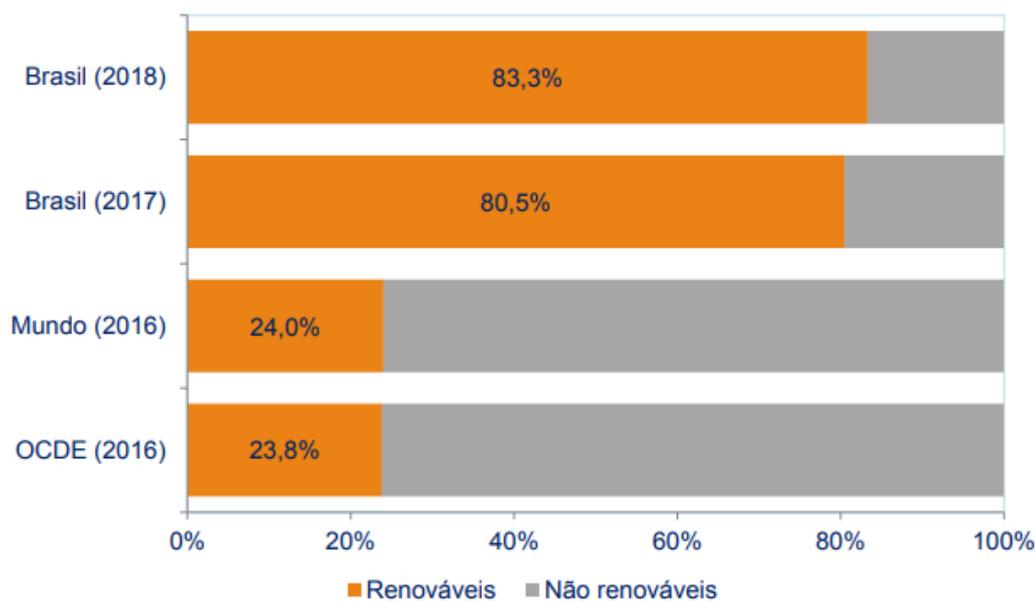


Figura 1: Participação de renováveis na matriz elétrica.
Fonte: EPE, 2019.

O governo brasileiro gerencia três programas estratégicos no setor de energia elétrica: o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL), o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica (LUZ PARA TODOS) e o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). Estes programas segundo a Eletrobrás (2018) promovem o uso eficiente da energia elétrica e auxiliam no combate ao desperdício e redução de custos e investimentos setoriais.

O insumo energético de destaque no setor de abastecimento de água é a eletricidade, pelo fato da ação ininterrupta nas operações de bombeamento. Os investimentos em eficiência energética projetam preços mais competitivos, uma maior produtividade e até mesmo determinam a sobrevivência da empresa. A redução das perdas com aumento do rendimento uma vantagem econômica, visto que é um fator que depende tanto da potência de trabalho quanto horas de operação do sistema (DUTRA, 2005).

A preocupação com a economia do uso de energia elétrica é essencial nas operações de abastecimento de água e saneamento básico. Os gastos com o consumo de eletricidade ocupam o segundo lugar no ranking de custos operacionais das empresas de saneamento brasileiras, perdendo apenas para a mão de obra. De toda energia elétrica consumida no país, 2,5% se faz no saneamento, o que corresponde aproximadamente 9,5 bilhões de kWh/ano. Entre as diversas funções na qual esta quantia é aplicada, 90% é destinado ao funcionamento das estações elevatórias (GOMES, 2004).

Assim, no cenário atual, a busca por formas alternativas de energia são preocupações constantes. No Brasil, com a geração predominantemente hidrelétrica, pensava-se como uma fonte inesgotável, o que com a medida do tempo constatou-se não ser verdade. A exploração descontrolada deste recurso impossibilita à natureza repor o que é consumido. A necessidade de um sistema de bombeamento de água eficiente tornou-se necessária portanto tanto no quesito econômico quanto ambiental.

Diante do panorama apresentado, a principal preocupação na atualidade tem sido o uso racional, consciente e otimizado da energia elétrica, acrescido no conflito contra o desperdício e a perda no dia a dia das empresas de abastecimento de água. É inegável a necessidade de uma melhor elaboração e otimização dos sistemas de bombeamento de água.

Frente aos aspectos aqui delineados, surge o estímulo que levou ao desenvolvimento desse estudo objetivando a otimização dos sistemas de bombeamento de porte pequeno e médio pelo correto dimensionamento, perante os fatos que podem melhorar a eficiência desse

processo, utilizando uma seleção correta e adequada de bombas e tubulações. Assim temos a seguinte problemática:

Como realizar o dimensionamento do sistema de recalque para adução de água bruta para a estação de tratamento de água do município de Brazlândia – DF?

1.2 Justificativa

A energia elétrica passou a exercer papel mais importante na matriz energética brasileira nas últimas décadas por razões técnicas, ambientais e econômicas. Conjectura na qual leva a tendência da migração de uma matriz predominantemente fóssil para uma matriz eletro energética, com hegemonia de fontes limpas e renováveis (CNI, 2017).

O setor público viu a necessidade de assumir o controle direto do setor elétrico a partir da década de 60, centralizando sua política. As empresas estatais qualificaram um papel fundamental desde a geração, transmissão e integração de sistemas isolados. A centralização permitiu o planejamento e a construção de obras hidráulicas, de sistemas de distribuição e transmissão que produziram uma melhora considerável dos serviços relativos à eletricidade, pelos efeitos da economia de escala (GOLDENBERG e PRADO, 2017).

Nos anos 1990, quando uma séria crise financeira afetou algumas empresas estatais, iniciou-se um período de mudanças drásticas em termos de planejamento energético, onde apontou-se a solução do fornecimento de energia por meio da desestatização de empresas e inclusão gradual de características de livre mercado ao setor (CNI, 2017).

A crise advertiu a necessidade de introduzir novas fontes de geração na matriz energética nacional. Teve destaque as termelétricas que operam a partir de combustíveis fósseis. Medidas também foram adotadas baseadas no desenvolvimento de projetos de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), fontes não convencionais e na conservação de energia (CNI, 2017).

James *et al.* (2002) identifica que entre 2% e 3% do consumo de energia elétrica do mundo são usados no bombeamento e tratamento de água para residências urbanas e industriais. O consumo de energia, na maioria dos sistemas de água em todo o mundo, poderia ser reduzido em pelo menos 25 por cento, por meio de ações de efficientização com melhor desempenho.

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 578,9 TWh em 2016, resultado 0,4% inferior ao de 2015. As centrais elétricas de serviço público, com 83,0% da geração total, permanecem como principais contribuintes. A principal

fonte de geração de energia elétrica é a hidráulica, que apresentou uma expansão de 5,9% na comparação com o ano anterior (EPE, 2017).

A Figura 2 discrimina o percentual de cada fonte na matriz energética brasileira no ano de 2018. Na figura destaca-se a parcela de energia hidráulica com 66,6%, incluindo importações.

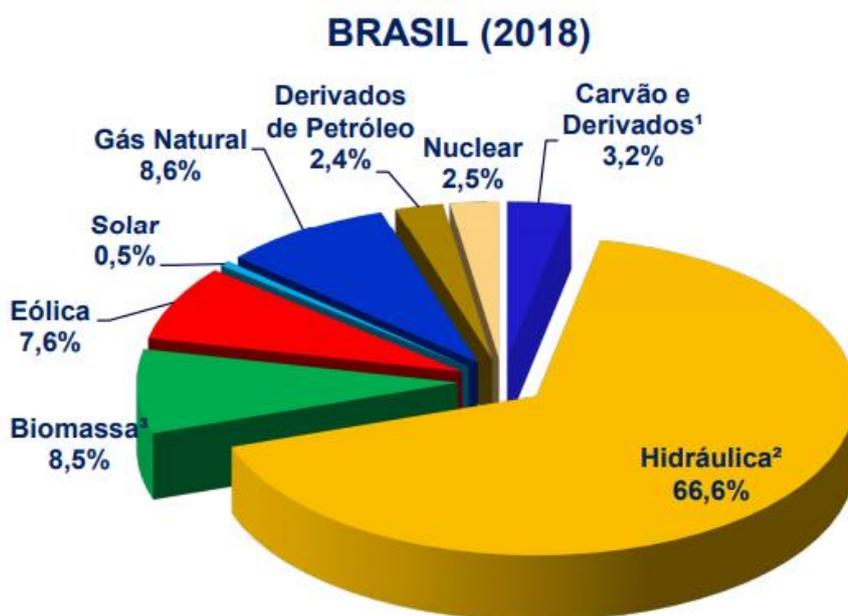


Figura 2: Matriz elétrica brasileira.
Fonte: EPE, 2019.

O Brasil dispõe de marcos regulatórios adequados para o setor de petróleo e para o setor de energia elétrica. A experiência desenvolvida na retomada do planejamento energético, com visão de longo prazo, analisando todos os energéticos, mostrou-se extremamente valiosa, para orientar, dentro de critérios técnicos, econômicos e ambientais, as trajetórias de desenvolvimento dos sistemas energéticos nacionais. Isto tem contribuído, de forma significativa, para o estabelecimento das alternativas energéticas mais adequadas para o país, dentro do conceito de desenvolvimento sustentável, com uma oferta de energia para os consumidores, com qualidade e preços adequados (FILHO, 2009).

Espera-se que toda a população urbana mundial dobre nos próximos 40 anos. O consumo de energia das companhias municipais de água tende também a duplicar se o cenário de consumo atual se perpetuar. À medida que os recursos hídricos se esgotam, os preços intrínsecos a este bem sobem, de forma que as companhias traduzem isto na cobrança maior sobre a energia produzida. Desta forma as companhias municipais de água têm um papel importante na busca eficiente do potencial energético de acordo com James *et al* (2002).

Diante de tal cenário, faz-se necessário a pesquisa sobre os componentes que afetam diretamente a eficiência de um sistema de bombeamento, visto que são medidas imprescindíveis e inadiáveis para garantir a sustentação ambiental e econômica no setor de energia elétrica no país.

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

A proposição de investigação foi focada nos aspectos do dimensionamento e da implantação de um sistema de bombeamento de porte médio para adução de água bruta que possa proporcionar uma maior eficiência energética e hidráulica, objetivando extrair o máximo potencial do sistema.

1.3.2 Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre sistemas de bombeamentos de água e seus componentes;
- Diagnosticar o cenário do sistema de bombeamento de água e adução para a implantação dos dispositivos selecionados;
- Dimensionar o sistema de bombeamento de água bruta para adução;
- Selecionar acessórios, tubulações e tipo de material para o sistema proposto;
- Verificar o atendimento das demandas de água.

1.4 Estrutura do trabalho

O estudo em questão será fracionado em cinco capítulos, os quais seguem as normas da ABNT e as normas para a produção de trabalhos científicos na área de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Ouro Preto, procedendo determinada estrutura apresentada a seguir:

Capítulo 1 – Introdução

Apresenta-se a formulação do problema, a justificativa para a realização do trabalho e seus objetivos geral e específicos, além da estrutura da monografia.

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica

Trata-se da fundamentação teórica dos conceitos e teorias a respeito do processo de bombeamento de água, suas variáveis e a teoria envolvida no estudo da associação de bombas em sistemas de bombeamento.

Capítulo 3 – Metodologia

Adota-se a metodologia requerida no tipo de pesquisa envolvida no estudo expondo-se descrição dos instrumentos e fontes escolhidas para a coleta de dados e suas ferramentas, as quais são imprescindíveis para a obtenção dos resultados.

Capítulo 4 – Resultados

Demonstra-se os resultados e discussões encontrados a partir da metodologia de dimensionamento de sistemas de bombeamento e adutoras de água bruta, identificando-se os parâmetros a serem considerados na busca de um sistema mais eficiente.

Capítulo 5 – Conclusão

Buscou-se sintetizar o trabalho exibido durante a monografia, além de fornecer comentários sobre os prós e contras das situações encontradas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O objetivo deste capítulo é apresentar de forma geral a teoria envolvida no uso eficiente de sistemas de bombeamento. Considerando os principais componentes neste tipo de sistema e, conduzindo-se de forma analítica e teórica, buscando o conhecimento necessário para a obtenção da melhor forma de dimensionar otimizando ao máximo o consumo de energia elétrica. Desta forma, serão abordados, os conceitos básicos, uma revisão sobre sistemas de bombeamento, os tipos de bombas e componentes aplicáveis que influenciam na implementação da instalação.

2.1 Conceitos básicos

2.1.1 Sistemas de unidades

As unidades utilizadas são derivadas das unidades fundamentais. Serão utilizadas as unidades mais comuns na prática da engenharia voltada para o abastecimento de água, as quais estão descritas abaixo na Tabela 1:

Tabela 1:Grandezas e unidades de medidas

GRANDEZA	SÍMBOLO	UNIDADE	UNIDADES PRÁTICAS
MASSA ESPECÍFICA	ρ	kg/m^3	[-]
PESO ESPECÍFICO	γ	N/m^3	kgf/m^3
PRESSÃO	p	N/m^2 (Pascal) – Pa)	kgf/cm^2
VAZÃO (VOLUMÉTRICA)	Q	m^3/s	$l/s, m^3/h$
VISCOSIDADE DINÂMICA	μ	$N * s/m^2$ (ou Pa * s)	cP (centipoise)
VISCOSIDADE CINEMÁTICA	ν	m^2/s	cSt (centistoke)
ENERGIA (TRABALHO)	W	J (Joule)($N * m$)	kWh, MWh
POTÊNCIA	P	$Watt$ (J/s)	Hp e Cv
FREQUÊNCIA	F	Hz (Hertz)	rpm
CARGA HIDRÁULICA	H	$m. c. a.$	m

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL (2005).

2.1.2 Conceitos básicos e propriedades da água

I. Massa Específica

É a relação entre a massa de um corpo e seu volume. Normalmente caracterizada pela letra grega ρ . É dada pela fórmula:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

II. Peso Específico

É a relação entre o peso de um corpo (w) e o volume por ele ocupado. Caracterizada pela letra grega γ . É expresso como abaixo:

$$\gamma = \frac{w}{V} \quad (2)$$

No caso dos líquidos, a variação da massa específica com a temperatura e a pressão é pequena de acordo com Eletrobrás (2005), podendo ser considerada constante a mesma observação vale para o peso específico, pois é evidente sua relação com a massa específica:

$$\gamma = \rho \cdot g \quad (3)$$

III. Densidade

Para Eletrobrás (2005), densidade é a relação entre massa específica de uma substância e a massa específica de outra que foi adotada como referência em condições padrão. No caso dos líquidos, a referência é a água, sendo assim a densidade da água é igual a 1.

IV. Viscosidade Absoluta

É a capacidade do líquido em suportar um esforço de cisalhamento, para fluidos Newtonianos. Caracterizada pela letra grega μ pela equação:

$$\tau = \mu * \frac{dv}{dy} \quad (4)$$

Onde $\frac{dv}{dy}$ é a variação da velocidade de escoamento de uma “placa” num fluido em relação à distância que as separa; e τ é a tensão de cisalhamento posta à “placa”, igual a força sobre a superfície. A Figura 3 representa a equação da viscosidade dinâmica.

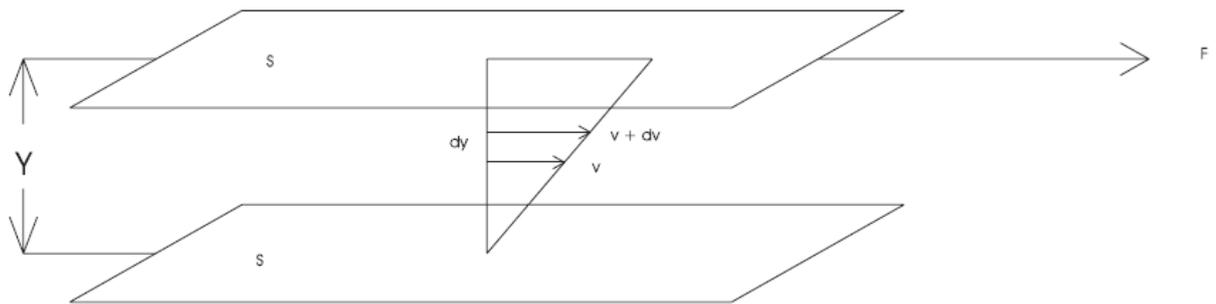


Figura 3: Representação da expressão da viscosidade absoluta.
Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

Nem todos os fluidos se comportam desta forma, isto é, a resistência ao cisalhamento achando-se proporcional ao grau de velocidade, perpendicularmente à tensão. Para Eletrobrás (2005) os fluidos para que essa relação é verdadeira são chamados “fluidos Newtonianos”. Nesse caso o da água, da qual “ μ ” conserva-se constante e igual a $0,0001568 \text{ N}\cdot\text{S}/\text{m}^2$, na temperatura de $4 \text{ }^\circ\text{C}$.

V. Viscosidade Cinemática

Em conformidade com as equações da hidráulica que comparam as grandezas integrantes, o que interessa, no entanto, é a viscosidade cinemática, que é a relação entre a viscosidade absoluta e a massa específica da substância em questão, neste caso, a água. É caracterizada pela letra grega ν para a equação:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (5)$$

Seu valor, nos mesmos 4°C , é $0,000001586 \text{ m}^2/\text{s}$. Regularmente, o valor da viscosidade cinemática nas adversidades que envolvem a hidráulica é tido para a temperatura de 20°C , que é de $0,000001003$ ou, aproximadamente, 1×10^{-6} . A Tabela 2 demonstra alguns valores da variação da viscosidade com a temperatura.

Tabela 2: Variação da viscosidade com a temperatura

TEMPERATURA	VISCOSIDADE DINÂMICA	VISCOSIDADE CINEMÁTICA
0	0,001781	0,000001793
4	0,001568	0,000001586
10	0,001307	0,000001309
20	0,001002	0,000001003

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL *apud* ANEXO A da NB – 591 – ABNT, 2005.

A viscosidade pode ser entendida, conforme Eletrobrás (2005), como a resistência oferecida pelo líquido ao escoamento. É intuitivo que fluidos de maior viscosidade detenham maior resistência ao escoamento.

VI. Número De Reynolds

Trata-se de um número adimensional que representa o tipo de movimento de um fluido: laminar, ou seja, linhas de fluxo paralelas ao escoamento, ou então turbulento, que é o movimento caótico das moléculas. É calculado em função da velocidade do escoamento, do diâmetro interno da tubulação e do coeficiente de viscosidade cinemática do fluido (ν):

$$Re = \frac{v * \varphi}{\nu} \quad (6)$$

Onde “Re” é o número de Reynolds, v é a velocidade média do escoamento e φ o diâmetro da tubulação por onde o escoamento se dá. Segundo a Eletrobrás (2005) o escoamento é considerado turbulento quando esse número é superior a 4000 e laminar quando ele é inferior a 2000, tendo uma zona de transição entre esses dois limites.

Os valores do número de Reynolds para diversos diâmetros comerciais estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3:Variação do número de Reynolds com o diâmetro

DIÂMETRO (mm)	NÚMERO DE REYNOLDS
100	100.000
150	150.000
200	200.000
250	250.000
300	300.000
400	400.000
500	500.000
600	600.000
800	800.000
1000	1.000.000

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

VII. Pressão

A aplicação de forças em um fluido só é possível através da superfície, contrariamente aos sólidos, os quais se pode considerar a ação pontual de uma força qualquer. Diante disso, é conveniente estudar as forças que atuam nos líquidos a partir do conceito de pressão. Por sua vez, a pressão pode ser entendida como uma força, por unidade de superfície, aplicada perpendicularmente a essa superfície por um fluido com o qual está em contato (ELETROBRÁS, 2005).

a. Conceituação Prática

Considera-se o reservatório da Figura 4 e um ponto na base, onde está submetido ao “peso” da água sobre a superfície. Considerando que a água está em repouso no reservatório, qualquer ponto da base adequa-se como referência. Seja “S” a área da base e “h” a altura do reservatório. O “peso” da água sobre a base será igual ao produto do volume de água ($V = S \times h$) pelo seu peso específico γ , representado pela Figura 4. Deste modo, a pressão num ponto qualquer da base do reservatório será:

$$p = \frac{V * \gamma}{S} \quad (7)$$

Ou, apenas:

$$p = \gamma * h \quad (8)$$

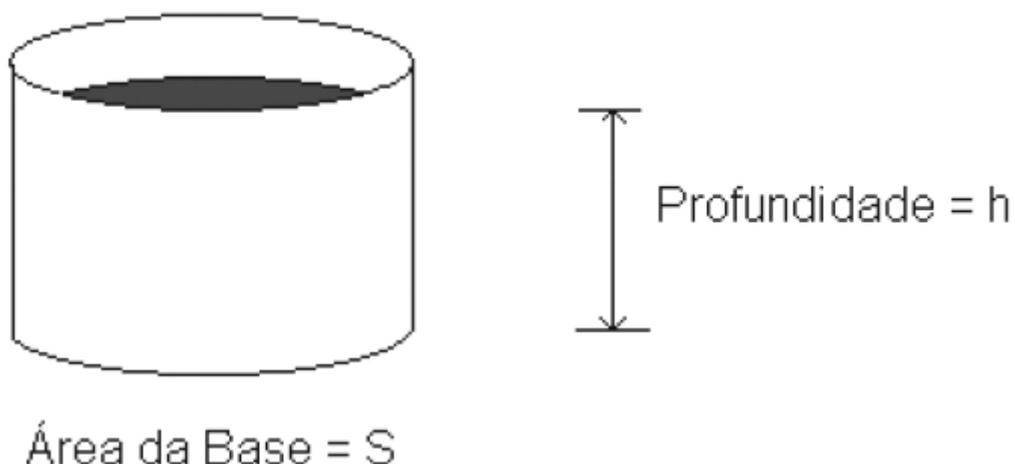


Figura 4:Exemplo de um reservatório.
Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

Um erro comumente cometido por operadores de sistemas de bombeamento e abastecimento de água se encontra no fato de relacionar o peso da coluna de água com a pressão

exercida pela mesma. Erroneamente consideram que um reservatório de grande capacidade proporcionará maior pressão no sistema distribuidor.

Visto que as pressões dependem da altura da coluna de líquido, pode-se concluir que as pressões em qualquer ponto no interior do líquido não dependem do formato ou do volume do reservatório, como mostra a Figura 5:

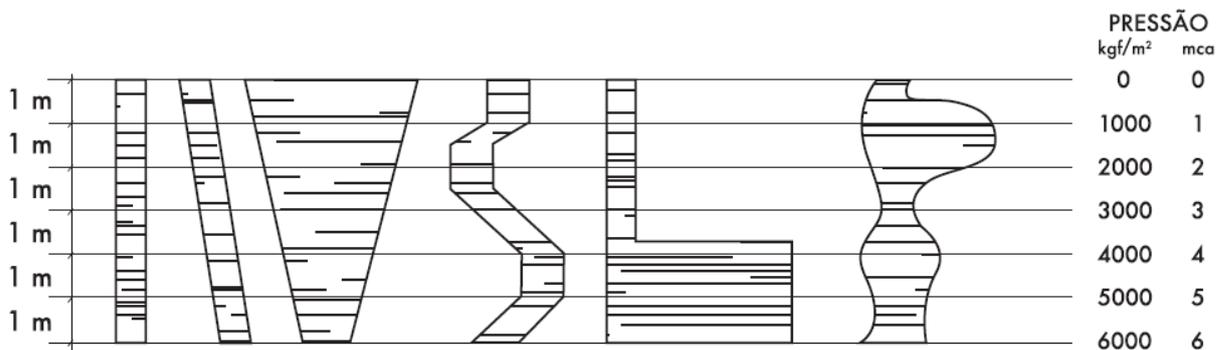


Figura 5: Medida de pressão em relação ao formato do reservatório.
Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL *apud* JACUZZI, 2005.

A pressão absoluta é dada por:

$$p_{abs} = p_{atm} + \gamma * h \quad (9)$$

Na expressão, a primeira parcela refere-se à pressão na superfície livre do líquido. A essa pressão dá-se o nome de “pressão atmosférica”. À pressão assim determinada dá-se o nome de “pressão absoluta”.

Nos trabalhos de engenharia, de acordo com Eletrobrás (2005) principalmente no setor de abastecimento de água, é conveniente considerar o referencial de pressão igual à pressão atmosférica. À pressão assim determina-se pelo nome de “pressão manométrica” ou “pressão relativa”.

$$p_r = \gamma * h \quad (10)$$

Assim, é comum encontrar a equação:

$$p_{abs} = p_{atm} + p_r \quad (11)$$

O fato de a pressão atmosférica variar com a altitude não implica que se incorre em erro quando a tomamos como referencial nos trabalhos de sistemas de abastecimento, pois os sistemas de água normalmente estão restritos a uma área onde a pressão atmosférica não varia

significativamente. Além do que, como em todos os problemas da física, o que interessa para se realizar trabalho é o diferencial de energia, e não a energia absoluta (ELETROBRÁS, 2005).

b. Relação Prática entre Unidades Usuais de Pressão

Da relação entre a pressão relativa e o peso específico da água decorre uma das mais práticas relações da hidráulica aplicada, para 1 kgf/cm² temos 10 m.c.a.

É importante notar que a facilidade numérica para a conversão de pressão “ p ” em carga de pressão “ p/γ ” só ocorre quando se usam unidades do SI. Utilizando unidades do sistema inglês, é preciso considerar outro fator de conversão de unidades.

VIII. Vazão

A vazão escoante numa determinada tubulação é o volume de líquido escoado num determinado tempo. É escrito como:

$$Q = \frac{V}{t} \quad (12)$$

Onde “ Q ” é a vazão, “ V ” é o volume de líquido escoado e “ t ” é o tempo decorrido para que o escoamento se dê.

Consoante com Eletrobrás (2005), em consequência da consideração estatística de velocidade média, decorre a equação da continuidade, pois permite admitir o escoamento nas canalizações sob pressão como permanentes e uniformes. Sendo uma das equações de grande utilidade prática na hidráulica aplicada.

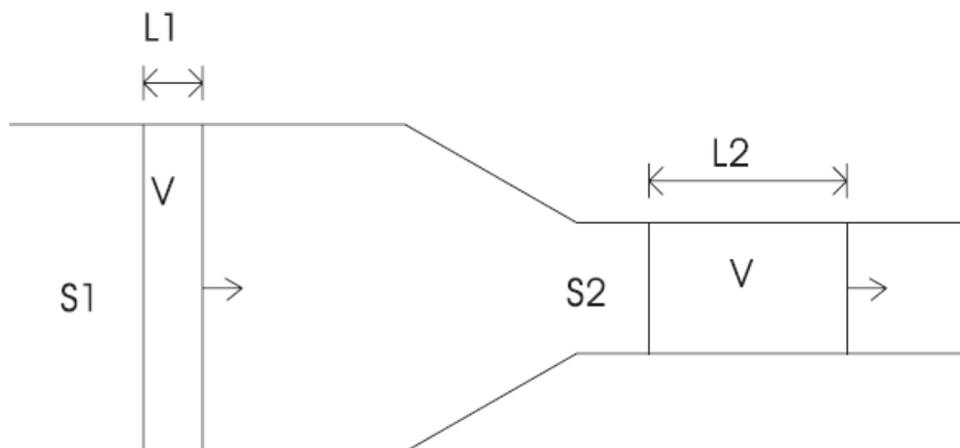


Figura 6: Representação da equação da continuidade.

Fonte: ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

Considerando a Figura 6, constata-se que o volume escoado pela tubulação de diâmetro “d” na unidade de tempo deve ser o mesmo escoado na tubulação de diâmetro “D”, já que se parte do princípio de regime permanente e uniforme; ou seja, não há fonte nem escoadouro entre os trechos de tubulação. Em outras palavras, a vazão é constante no trecho considerado.

$$Q_1 = Q_2 \quad (13)$$

Assim, escreve-se que:

$$\frac{S_1 * L_1}{t} = \frac{S_2 * L_2}{t} \quad (14)$$

Para $\frac{L_i}{t} = v_i$ a velocidade média de escoamento no trecho i , pode-se escrever a equação na forma: $S_1 * v_1 = S_2 * v_2$, expressão conhecida como “equação da continuidade”.

Deriva-se da equação da continuidade outra expressão para a vazão:

$$Q = S . v \quad (15)$$

Onde “S” é a área da seção transversal da tubulação por onde flui o líquido a uma velocidade média “v”.

2.2 Projeto de sistema de bombeamento e adutoras

Em um projeto de bombeamento deve-se seguir uma sequência de passos para o dimensionamento correto do sistema e da mais eficiente maneira possível. São eles:

- Projeto de bombeamento:

Nesse passo determina-se o diâmetro das tubulações de sucção e recalque, as perdas de carga localizada e distribuídas ao longo da tubulação, a altura manométrica total visando a pressão necessária na saída da bomba para suprir as necessidades do projeto, estabelece-se o ponto de projeto de acordo com a altura e vazão requeridas e por fim determina-se a curva do sistema para seleção da bomba adequada.

- Seleção da bomba;
- Instalação, operação e manutenção da bomba.

Para compreender toda a extensão de funcionamento de um sistema de abastecimento de água é necessário separá-lo por partes ou unidades. Essas unidades compreendem uma parte do processo que a água precisa passar até a rede de distribuição. A Figura 7 mostra a localização das adutoras no sistema.

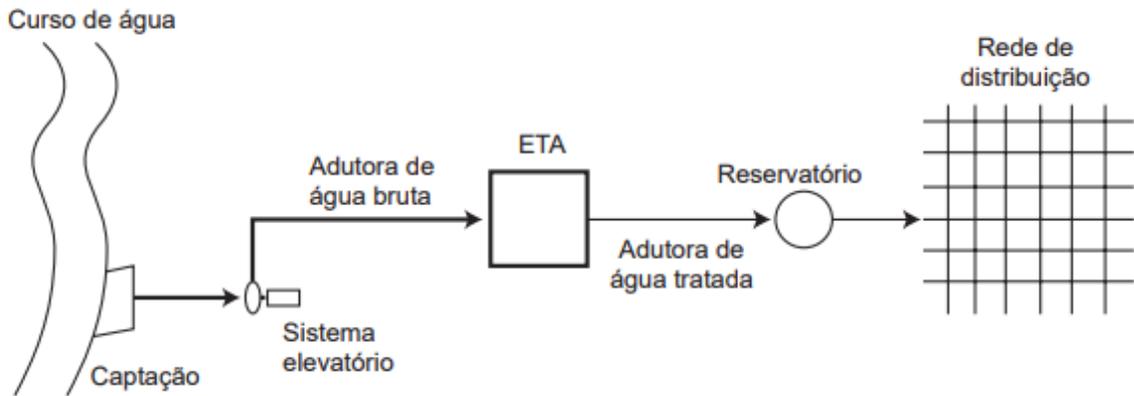


Figura 7: Localização das adutoras em sistema de abastecimento de água.
Fonte: TSUTIYA, 2006.

Adutoras são canalizações dos sistemas de abastecimento de água, através destas a água bruta ou tratada são conduzidas para unidades precedentes da distribuição. Elas fazem a interligação entre outros principais componentes do sistema como a captação, estações de tratamento e reservatórios (TSUTIYA, 2006).

Tsutiya (2006) recomenda a criteriosa análise para a instalação das adutoras, bem como sua elaboração e projeto para a implantação.

2.3 Diâmetros econômicos para uma instalação elevatória

Tendo em conta a equação da continuidade mencionada anteriormente, Carvalho (1977) realça a necessidade de escolha do diâmetro adequado numa faixa onde conjuga-se investimento e custo operacional de forma a ser levado a um custo mínimo.

Baseado no critério do Custo Total Mínimo, desenvolveu-se várias fórmulas recomendadas para tal cálculo a serem mostradas a seguir.

2.3.1 Fórmula de Bresse

A fórmula de Bresse fornece o diâmetro da linha de recalque. Para a linha de sucção, adota-se o diâmetro comercial imediatamente superior. Quando o diâmetro calculado pela fórmula de Bresse não coincidir com um diâmetro comercial, é procedimento usual admitir

diâmetro comercial imediatamente superior para a linha de sucção e o comercial inferior para a linha de recalque (CARVALHO, 1977).

$$D = K * \sqrt{Q} \quad (16)$$

D: Diâmetro (m)

K: Coeficiente variável, função dos custos de investimento e de operação. K varia entre 0,8 e 1,3.

Q: vazão (m³/s)

A fórmula de Bresse tem se mostrado de grande utilidade prática. O coeficiente K tem sido objeto de vários estudos e, no Brasil, se tem utilizado valores que variam de 0,75 a 1,40. O valor de K depende de variáveis tais como: custo médio do conjunto elevatório, inclusive despesas de operação e manutenção, custo médio da tubulação, inclusive despesas de transporte, assentamento e conservação, peso específico do fluido, rendimento global do conjunto elevatório, etc.

2.3.2 Fórmula da ABNT

A fórmula da ABNT é usual quando o funcionamento do sistema é intermitente. A não coincidência do cálculo do diâmetro com um diâmetro comercial implica no procedimento usual em admitir o diâmetro superior para a linha de sucção e o comercial inferior para a linha de recalque (CARVALHO, 1977).

$$D = 0,586 * \sqrt[4]{T} * \sqrt{Q} \quad (16)$$

D: Diâmetro (m)

T: Jornada de trabalho (h)

Q: Vazão (m³/s)

2.3.3 Velocidades econômicas

Para Carvalho (1977), em todas as instalações de bombeamento onde o dimensionamento dos diâmetros das linhas de sucção e recalque obedeceu ao critério de

conjugar-se o investimento e o custo operacional, de forma a obter-se um custo mínimo, constatou-se que as velocidades de escoamento ficaram dentro dos seguintes limites:

$$v_s < 1,5 \text{ m/s (0,9 a 2,2 m/s)}$$

$$v_r < 2,5 \text{ m/s (2,1 a 3 m/s)}$$

Assim, o dimensionamento das linhas de sucção e recalque pode basear-se em tais limites de velocidade (chamadas velocidades econômicas) e efetivar-se através do uso da equação da continuidade:

$$D = \sqrt{\frac{4 \times Q}{\pi \times v}} \quad (18)$$

D: Diâmetro econômico (m)

Q: Vazão (m³/s)

v: Velocidade econômica (m/s)

2.4 Altura manométrica da instalação

Define a altura manométrica de um sistema elevatório como sendo a quantidade de energia que deve ser absorvida por 1 quilograma de fluido que atravessa a bomba, energia esta necessária para que o mesmo vença o desnível da instalação, a diferença de pressão entre os 2 reservatórios (caso exista) e a resistência natural que as tubulações e acessórios oferecem ao escoamento dos fluidos (perdas de carga) CARVALHO (1977).

A Figura 8 representa um sistema de bombeamento que transfere um líquido do reservatório 1 para o reservatório 2, seus componentes principais e as alturas de sucção e recalque.

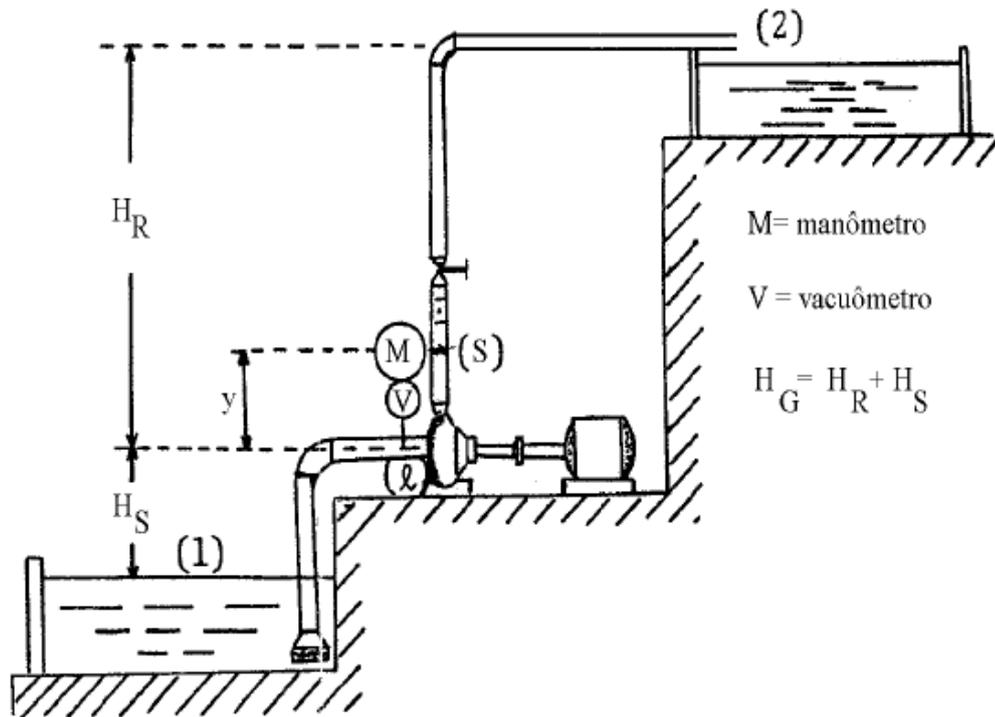


Figura 8: Representação das alturas de sucção e recalque em uma instalação.
Fonte: CARVALHO, 1977.

$$H_{man} = H_g + \frac{P_r - P_s}{\gamma} + \Delta H \quad (17)$$

H_{man} : Altura manométrica (m)

H_g : Desnível Geométrico (m)

p_r : Pressão no reservatório de recalque (kg/m^2)

p_s : Pressão no reservatório de sucção (kg/m^2)

ΔH : Perda de carga nas tubulações e acessórios (m)

2.5 Perdas de carga na instalação

Perdas de carga referem-se à energia perdida pela água no seu deslocamento por alguma tubulação devido ao atrito do fluido nas paredes da tubulação por conta da rugosidade. É uma perda de energia ou pressão entre dois pontos da tubulação, podendo ser classificadas de duas formas segundo Carvalho (1997):

- Contínua: perda de carga nos trechos retos de canalizações;
- Localizada ou acidental: perda nos acessórios das tubulações.

Ainda segundo Carvalho (1977) os principais fatores que influem na perda de carga são correspondentes à natureza do líquido, o estado superficial da parede e, portanto, o material do tubo, o diâmetro da tubulação, a natureza do regime de escoamento (laminar ou turbulento) e o comprimento da tubulação.

O uso conjugado da fórmula de Darcy-Weiss Bach com o ábaco de Moody nos permite calcular a perda de carga contínua na tubulação de conforme Carvalho (1977):

$$\Delta H = f * \frac{L}{D} * \frac{v^2}{2 * g} \quad (18)$$

ΔH : perda de carga (m)

L: Comprimento do tubo (m)

D: diâmetro do tubo (m)

f : coeficiente de atrito (depende do regime de escoamento e rugosidade relativa da parede do conduto)

g : aceleração da gravidade (m/s²)

v : velocidade média do escoamento (m/s)

Esta velocidade média de escoamento, segundo a equação da continuidade quando aplicada a tubos circulares temos:

$$v = \frac{4 \times Q}{\pi \times D^2} \quad (19)$$

Q: vazão (m³/s)

D: diâmetro da tubulação (m)

v : velocidade média de escoamento (m/s)

Para determinação do coeficiente de atrito devemos considerar:

- Escoamento laminar

Quando temos escoamento laminar o coeficiente de atrito é dado pela fórmula:

$$f = \frac{64}{Re} \quad (20)$$

Sendo Re o número de Reynolds.

- Escoamento Turbulento

Quando o escoamento for turbulento, o coeficiente de atrito depende também da rugosidade relativa da tubulação que pode ser obtida de acordo com Carvalho (1977) diretamente do Ábaco de rugosidades ou pela Tabela 4:

Tabela 4: Valores de rugosidade absoluta para alguns materiais

Tipo de material	e (mm)
Ferro fundido novo	0,26 - 1
Ferro fundido enferrujado	1 - 1,5
Ferro fundido incrustado	1,5 - 3
Ferro fundido asfaltado	0,12 - 0,26
Aço laminado novo	0,0015
Aço comercial	0,046
Aço rebitado	0,092 - 9,2
Aço asfaltado	0,04
Aço galvanizado	0,15
Aço soldado liso	0,1
Aço muito corroído	2,0
Aço rebitado, com cabeças cortadas	0,3
Cobre ou vidro	0,0015
Concreto centrifugado	0,07
Cimento alisado	0,3 - 0,8
Cimento bruto	1 - 3
Madeira aplainada	0,2 - 0,9
Madeira não aplainada	1,0 - 2,5
Alvenaria de pedra bruta	8 - 15
Tijolo	5
Plástico	0,06
Alvenaria de pedra regular	1

Fonte: CARVALHO, 1977.

O ábaco de Moody correspondente a Figura 9 é a representação gráfica em escala duplamente logarítmica do fator de atrito em função do número de Reynolds e a rugosidade relativa de uma tubulação. Pode-se distinguir duas situações diferentes, o caso em que o fluxo seja laminar e o caso em que o fluxo seja turbulento.

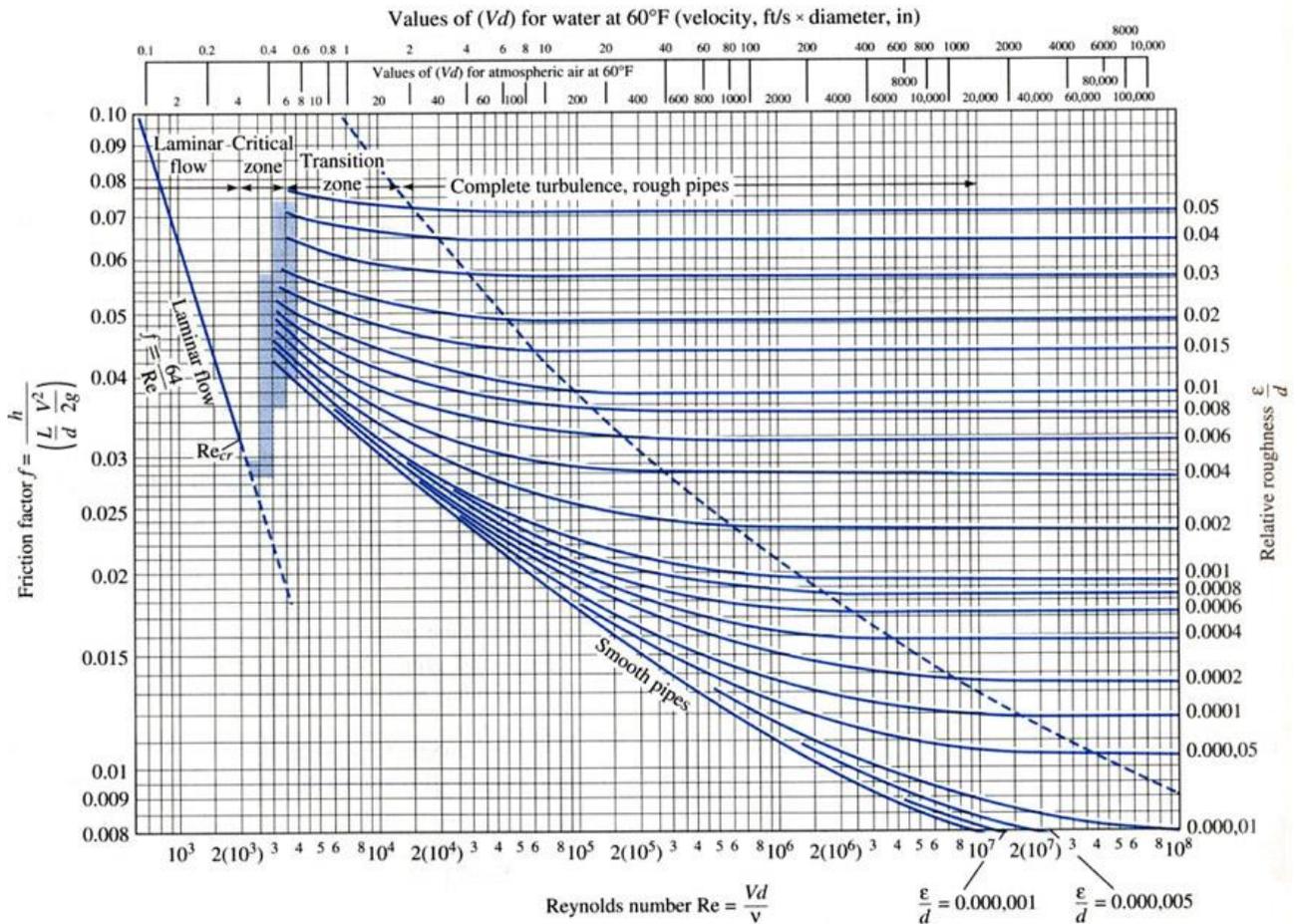


Figura 9: Ábaco de Moody.
Fonte: CARVALHO, 1977.

A soma das duas parcelas das perdas de carga (distribuída e localizada) equivale à perda de carga total do sistema considerado. Em alguns casos (adutoras muito longas em relação ao diâmetro), as perdas de carga localizadas não são significativas se comparadas com a perda distribuída.

Normalmente trabalha-se com o método dos comprimentos equivalentes para o cálculo da perda de carga total, ou seja, através de tabelas, convertendo-se a perda acidental em perda de carga equivalente a um determinado comprimento de tubulação. Isso significa que, ficticiamente, seria como substituir, por exemplo, uma curva de 90° por um comprimento de tubo, e a perda de carga contínua nesse comprimento equivale à perda localizada na curva (MELLO, s/d).

A parcela relacionada às perdas de carga nas tubulações e acessórios pode ser determinada pela altura relativa conhecendo o comprimento virtual da tubulação, que por sua vez é descrito pela seguinte equação:

$$L_{\text{virtual}} = L_{\text{real}} + L_{\text{eq}} \quad (21)$$

O comprimento virtual é composto por duas parcelas, uma tendo como referencial o comprimento total à extensão da canalização de sucção e recalque e outra denominada comprimento equivalente devido às perdas de carga. Essas resistências ocorrem tanto nos trechos retilíneos quanto nas peças intercaladas com a tubulação, que são traduzidas em termos de extensão retilínea. A Figura 10 mostra alguns itens e seus respectivos comprimentos equivalentes:

Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)*

D/ÂMETRO D	Comprimentos equivalentes a perdas localizadas. (Expressos em metros de canalização retilínea)*																		
	COTOVELO 90° RAIO LONGO	COTOVELO 90° RAIO MEDIO	COTOVELO 90° RAIO CURTO	COTOVELO 45°	CURVA 90° R/D - 1/2	CURVA 90° R/D - 1	CURVA 45°	ENTRADA NORMAL	ENTRADA DE BORDA	REGISTRO DE GAVETA ABERTO	REGISTRO DE GLOBO ABERTO	REGISTRO DE ANGULO ABERTO	TÊ PASSAGEM DIRETA	TÊ SAÍDA DE LADO	TÊ BILATERAL	VÁLVULA DE PÊ CRIVO	CANALIZAÇÃO SAÍDA DA	VÁLVULA DE RETEÇÃO TIPO LEVE	VÁLVULA DE RETEÇÃO TIPO PESADO
mm																			
13 ½	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6
19 ¾	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,3	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4
25 1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2
32 1¼	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0
38 1½	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8
50 2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4
63 2½	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1
75 3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7
100 4	2,1	2,8	3,4	1,3	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	6,4	12,9
125 5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1
150 6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3
200 8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0
250 10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0
300 12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0
350 14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0

* Os valores indicados para registros de globo, aplicam-se também às torneiras, válvulas para chuveiros e válvulas de descarga.

Figura 10: Acessórios e seus respectivos comprimentos equivalentes.
Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Existem outros métodos para o cálculo de perda de carga que expressem satisfatoriamente o valor da perda. Entre esses, destaca-se pela simplicidade e facilidade de uso, o Método de Hazen-Williams, que é feito através da seguinte expressão:

$$J = \left(\frac{4 \times Q}{0,355 \times \pi \times C \times D^{2,63}} \right)^{1,852} \quad (22)$$

Q: vazão (m³/s)

C: constante adimensional de Hazen-Williams

D: diâmetro interno da tubulação (m)

Matematicamente, define-se perda de carga como sendo:

$$\Delta H_c = J \times L_{reto} \quad (23)$$

ΔH_c : Perda de carga contínua de uma instalação (m)

J: Perda de carga unitária

L_{reto} : Comprimento reto da tubulação (m)

O grau de resistência ao escoamento é determinado pelo coeficiente “C” de Hazen - Willians. A Tabela 5 represente os valores de C para diversos materiais.

Tabela 5: Valores de C (Hazen-Williams) para diversos materiais

Tipo de conduto	C
Aço corrugado	60
Aço com juntas “loc-bar”, novas	130
Aço com juntas “loc-bar”, usadas	90-100
Aço galvanizado	125
Aço rebitado, novo	110
Aço rebitado, usado	85-90
Aço soldado, novo	130
Aço soldado, usado	90-100
Aço soldado com revestimento especial	130
Aço zincado	140-145
Alumínio	140-145
Cimento-amianto	130-140
Concreto, com bom acabamento	130
Concreto, com acabamento comum	120
Ferro fundido, novo	130
Ferro fundido, usado	90-100
Plástico	140-145
PVC rígido	145-150

A determinação das perdas de carga localizadas se faz utilizando a expressão:

$$\Delta H = K * \frac{v^2}{2 * g} \quad (24)$$

Sendo “K” chamado de coeficiente de perda de carga localizada, que é tabelado para as diversas peças possíveis de serem encontradas nas canalizações hidráulicas. A Tabela 6 mostra os valores de K para algumas dessas peças.

Tabela 6: Valores de K – Coeficiente de perda de carga localizada para diversas peças

TIPO DE PEÇA	VALOR DE K
Ampliação gradual (velocidade na seção menor)	0,3
Bocais	2,75
Comporta aberta	1
Cotovelo de 90 graus	0,9
Cotovelo de 45 graus	0,4
Crivo	0,75
Curva de 90 graus	0,4
Curva de 45 graus	0,2
Entrada normal em canalização	0,5
Registro de gaveta aberto	0,1
Registro de globo aberto	10
Tê passagem direta	0,6
Tê passagem de lado	1,3
Válvula de pé	1,75
Válvula de retenção	2,5

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL, 2005.

2.6 Curvas características

Trabalhando-se com as curvas características do funcionamento de uma bomba, 3 variáveis são requeridas em função da vazão: altura manométrica, rendimento e NPSH_r. Estas

curvas podem ser plotadas em um único gráfico ou serem analisadas separadamente, em conformidade com cada fabricante. Estes realizam testes em laboratório para a confecção dos gráficos respectivos a cada bomba e são publicados na forma de catálogos (MELLO, s/d).

2.6.1 Curva de pré-seleção

A Figura 11 apresenta um gráfico de pré-seleção de bombas de uma determinada marca, a partir do qual o usuário tem uma ideia de quais catálogos consultar a respeito da seleção propriamente dita, locando o ponto de trabalho neste gráfico e determinando qual a "família" ideal de bombas.

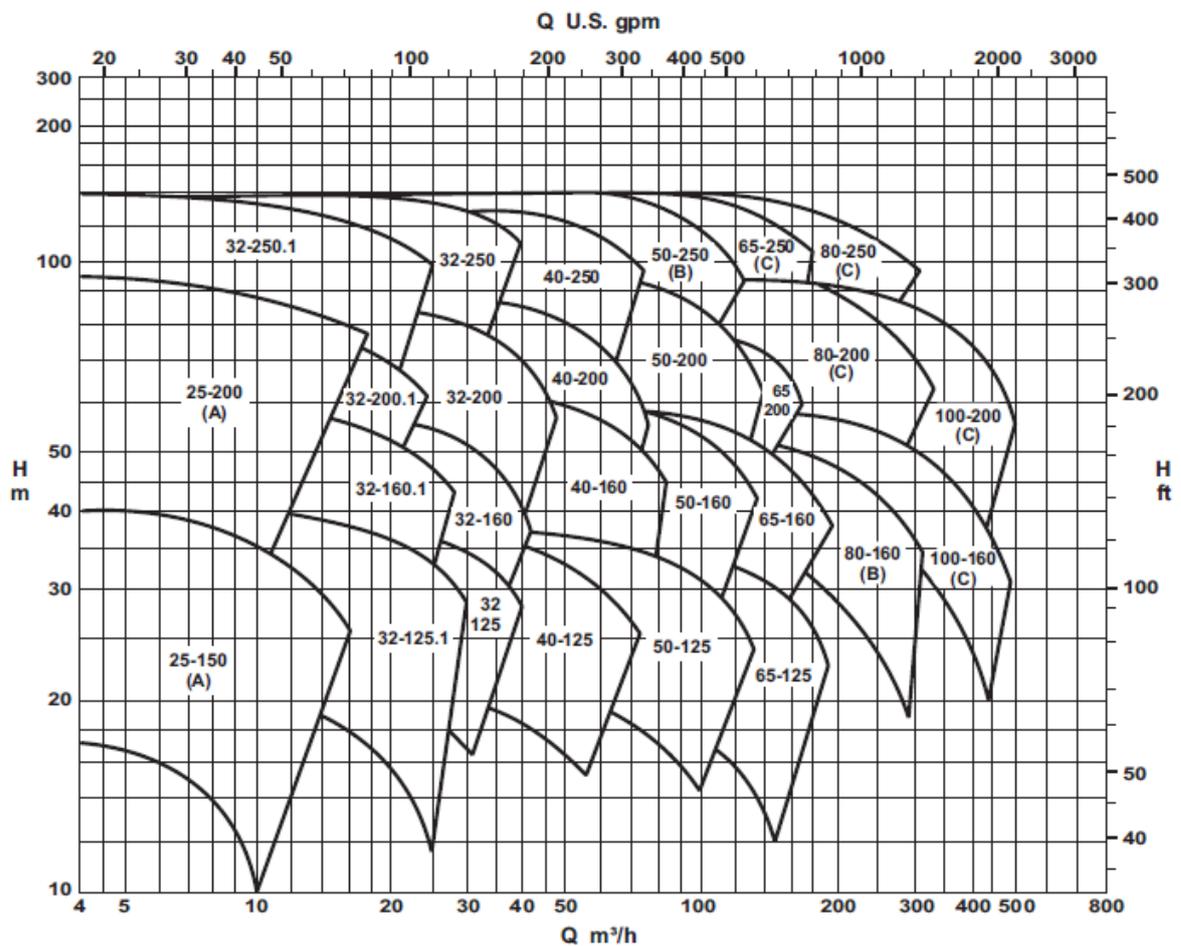


Figura 11: Curva de pré-seleção de bombas.
Fonte: Manual KSB, 2019.

2.6.2 Curva do sistema

A curva do sistema, que pode ser chamada de curva da tubulação, é uma curva traçada no gráfico $H_{\text{man}} \times Q$ e sua importância está no fato da determinação do ponto de trabalho do sistema obtido na interseção desta com a curva característica da bomba cedida pelo fabricante.

Como nas fórmulas para a determinação da perda de carga a vazão entra elevada ao quadrado (1,852 na expressão de Hazen-Williams) e também na expressão para o cálculo da perda localizada o aspecto dessa curva é o de uma parábola do segundo grau. Desta forma, a equação $H_m = f(Q)$, é a seguinte:

$$H_{man} = H_g + K \times Q^{1,852} \quad (25)$$

Tendo conhecimento da vazão necessária e altura manométrica, substitui-se esses pontos conhecidos na equação para encontrar K, completando-a. A altura geométrica é a soma da altura de sucção e com a altura de recalque. Definida a equação o próximo passo é construir a curva do sistema, criando valores para vazão e altura manométrica e ligando esses pontos no gráfico (MELLO, s/d).

2.7 Cavitação e NPSH (Net Positive Suction Head)

A bomba necessita de uma pressão para levar água até sua entrada garantindo o funcionamento se estiver acima do reservatório de sucção. Ao sugar a água que entra pela bomba, provoca-se uma variação de pressão chamada de pressão de sucção. Essa pressão deve ser menor do que a pressão superficial do reservatório, pois quando a pressão é exageradamente baixa, ocorre uma intensa formação de bolhas de vapor na entrada da bomba, prejudicando o funcionamento da mesma.

As bolhas de vapor serão conduzidas pelo fluxo do líquido até atingirem a região do rotor que, normalmente, gira à alta velocidade e, assim, provoca o aumento da pressão no interior da bomba. Quando essas bolhas, provocadas pelo aumento da pressão, atingem a superfície do rotor, condensam-se de forma rápida e transformam-se em líquido novamente. A rápida condensação dessas bolhas resulta numa implosão delas sobre o rotor. Essa implosão provoca a formação de pequenas bolsas, bolhas ou cavidades sobre ele. Com o tempo, esse fenômeno tem como efeito a retirada de material da superfície do rotor, onde essas implosões ocorrem. A esse fenômeno se dá o nome de cavitação.

Todavia, é impossível para a bomba succionar a água sem que sua pressão não seja menor que a do tanque de sucção, que, na maioria dos casos, é a própria pressão na superfície do líquido no reservatório de sucção. Dessa forma, na maioria das instalações de bombeamento, sempre ocorrerá uma vaporização da água na entrada da bomba (ELETROBRÁS, 2009).

I. NPSH – Net Positive Suction Head (Energia Positiva de Sucção).

É um dos mais polêmicos termos associado a bombas, porém sua compreensão é essencial para o bom funcionamento. Assim devemos entender os conceitos de NPSH disponível e requerido.

NPSH (ou APLS) é a grandeza que representa a disponibilidade de energia com que o líquido penetra na boca da entrada da bomba e que permitirá atingir o bordo da pá rotor. Existem dois fatores que possibilitam o surgimento da cavitação em uma bomba:

- bomba trabalhando com baixa pressão e alta vazão;
- existência de altura negativa de sucção.

II. NPSH requerido

O $NPSH_r$ requerido ou real é uma característica da bomba, determinada em seu projeto de fábrica, por meio de cálculos e ensaios de laboratório. Tecnicamente, $NPSH_r$ é a energia necessária para vencer as perdas de carga entre a conexão de sucção da bomba e as pás do rotor, assim como criar a velocidade desejada no líquido, nas pás do rotor.

III. NPSH disponível

$NPSH_d$ disponível se refere à disponibilidade de energia do líquido ao entrar na bomba, a qual depende da maneira como é projetada a instalação hidráulica. De uma forma geral o $NPSH_d$, que é uma característica da instalação hidráulica, pode ser definido como a energia que o líquido possui, num ponto imediatamente anterior ao flange de sucção da bomba, acima da sua pressão de vapor. Essa variável deve ser calculada por quem dimensionar o sistema, em função da bomba, utilizando-se de coeficientes tabelados e dados da instalação.

$$NPSH_{disp} = \frac{p_s + p_{atm} - P_v}{\gamma} \times (-\Delta P_s) \times (\pm H_{gs}) \quad (26)$$

p_s : pressão no reservatório de sucção (m.c.a.)

p_{atm} : pressão atmosférica no local (m.c.a.)

p_v : pressão de vapor do líquido à temperatura de bombeamento (m.c.a.)

H_{gs} : altura geométrica de sucção (m)

γ : peso específico (N/m³)

2.8 Potência do conjunto moto-bomba

A partir da determinação dos valores hidráulicos relativos à vazão horária (requerida), da altura manométrica e do rendimento (η) do conjunto motor-bomba, pode-se calcular o valor correspondente à potência do conjunto mediante o emprego da seguinte fórmula:

$$P = \frac{\gamma \times Q \times H_{man}}{75 \times \eta} \quad (27)$$

Onde:

P: potência (cv)

Q: vazão requerida (m³/s)

H_{man}: altura manométrica (m.c.a.)

γ : peso específico da água (kgf/m³)

η : rendimento do conjunto

2.9 Seleção de bombas e aplicações

A máquina mais antiga que se conhece que transfere energia para um fluido é a bomba. Tem-se registro de pelo menos dois projetos deste equipamento que datam antes de cristo: as rodas de água com conchas impulsionadas na parte inferior da roda, ou noras, usadas na Ásia e na África (1000 a.C.) e a bomba de parafuso de Arquimedes (250 a.C). Também se tem conhecimento de turbinas de rodas com remos pelos romanos em 70 a.C., e moinhos de vento na Babilônia em 700 a.C. (WHITE, 2011).

Bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que transferem energia ao fluido com a finalidade de transportá-lo de um ponto ao outro. Recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte desta energia ao fluido sob forma de energia de pressão, energia cinética ou ambas, isto é, aumentam a pressão do fluido, a velocidade ou ambas as grandezas.

As máquinas que são atravessadas por líquidos são simplesmente chamadas de bombas, mas se gases são envolvidos, três diferentes termos são usuais, dependendo da elevação de pressão que se deseja obter. Se a elevação de pressão for muito pequena (alguns centímetros de altura de água), uma bomba de gás é chamada de ventilador, até 1 atm., usualmente é chamada de soprador, e acima de 1 atm. comumente é chamada de compressor (WHITE, 2011).

A diferença entre estes dois grupos é que no primeiro o fluido fica confinado em alguma região do equipamento, enquanto no segundo grupo isto não ocorre, havendo fluxo contínuo através da máquina. No primeiro grupo, ao desligar o equipamento, o fluido fica confinado em seu interior, no segundo grupo isto só ocorrerá se houver algum sistema externo que o mantenha nesta condição, caso contrário escoará para fora da máquina.

Atualmente a aplicabilidade das máquinas de fluxo é bastante variada, obtemos água pressurizada de uma torneira, usamos um secador de cabelos, dirigimos um carro no qual máquinas de fluxo operam os sistemas de lubrificação, refrigeração e direção, e trabalhamos num ambiente confortável provido com circulação de ar.

Para White (2011), pode-se citar dois tipos básicos de bombas: as bombas de deslocamento positivo e as bombas dinâmicas ou de variação de quantidade de movimento. Há uma infinidade de cada tipo em uso no mundo hoje, sendo a Figura 12 uma classificação geral dos seus subtipos.

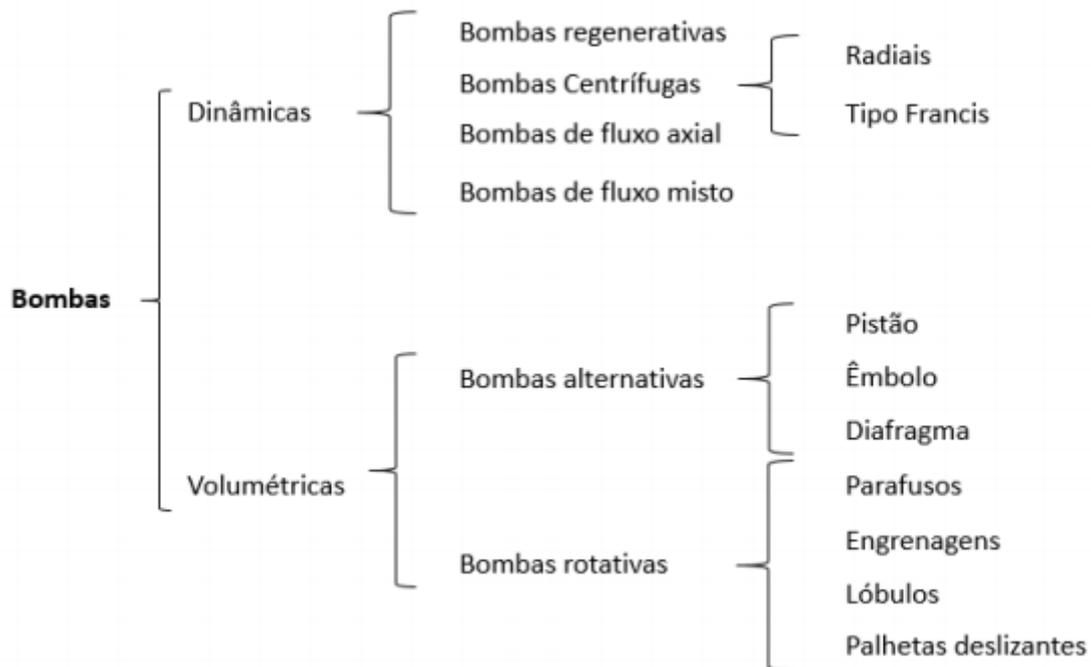


Figura 12: Classificação de Bombas.
Fonte: SOUZA, 2014.

As máquinas de fluxo e as máquinas de deslocamento positivo podem ser classificadas em duas classes cada, são as máquinas hidráulicas e máquinas térmicas. Nas máquinas hidráulicas o processo ocorre com variação pouco sensível da massa específica do fluido que

está sendo usado, ou seja, processos que podem ser modelados como incompressíveis. Já nas máquinas térmicas o fluido tem variação significativa de sua massa específica durante o processo de troca de energia não possibilitando a hipótese de fluido incompressível.

As principais classificações de bombas hidráulicas de acordo com Mello *et al* [s.d.] são:

- I. Quanto à trajetória do fluido
 - a. Bombas radiais ou centrífugas: sua característica básica é trabalhar com pequenas vazões e grandes alturas, com predominância de força centrífuga, são as mais utilizadas atualmente.
 - b. Bombas axiais: trabalha com grandes vazões e pequenas alturas.
 - c. Bombas diagonais ou de fluxo misto: caracterizam-se pelo recalque de médias vazões e médias alturas, sendo um tipo combinado das duas anteriores.
- II. Quanto ao posicionamento do eixo
 - a. Bomba de eixo vertical: utilizada em poços subterrâneos profundos
 - b. Bomba de eixo horizontal: é o tipo construtivo mais usado.
- III. Quanto à posição do eixo da bomba em relação ao nível da água
 - a. Bomba de sucção positiva: quando o eixo da bomba se situa acima do nível do reservatório.
 - b. Bomba de sucção negativa: quando o eixo da bomba se situa abaixo do nível do reservatório.

2.9.1 Bombas centrífugas

É um tipo de bomba que tem por princípio de funcionamento a transferência de energia mecânica para o fluido a ser bombeado em forma de energia cinética. Por sua vez, esta energia cinética é transformada em energia potencial sendo a sua característica principal. O movimento rotacional de um rotor inserido em uma carcaça é o órgão funcional responsável por tal transformação. A Figura 13 representa uma bomba centrífuga típica radial.

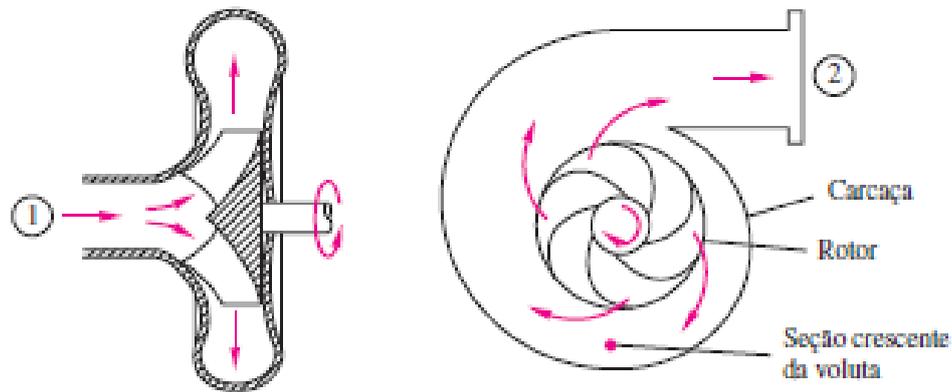


Figura 13: Vista em corte de uma bomba centrífuga típica.
Fonte: WHITE, 2011.

A seguir tem-se as mais conhecidas bombas centrífugas que se diferenciam pelo sentido de saída do líquido no rotor, tendo em vista que a bomba do tipo centrífuga radial, pela sua simplicidade de fabricação, em série, é utilizada na maioria das instalações de água limpa para pequenas, médias e grandes alturas de elevação.

De modo geral, classificamos as bombas centrífugas em:

- Radial
- Fluxo misto
- Fluxo axial

2.9.1.1 Bomba centrífuga radial

A movimentação do líquido se dá do centro para a periferia do rotor, no sentido perpendicular ao eixo de rotação. O líquido penetra no rotor paralelamente ao eixo, sendo dirigido pelas pás para a periferia, segundo trajetórias contidas em planos normais ao eixo (ELETROBRÁS, 2009).

A Figura 14 mostra esquematicamente, em corte transversal, um rotor de bomba centrífuga radial pura:

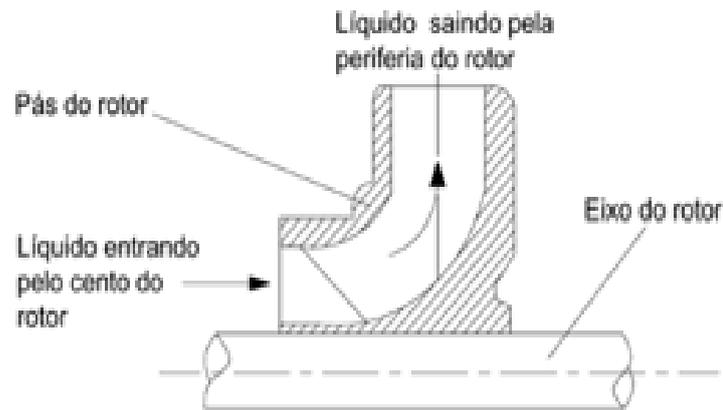


Figura 14: Rotor de bomba centrífuga radial pura.
Fonte: ELETROBRÁS, 2009.

Como se pode observar na ilustração, as trajetórias são curvas contidas num plano radial. A Figura 15 apresenta o desenho de uma bomba centrífuga radial pura em corte longitudinal.

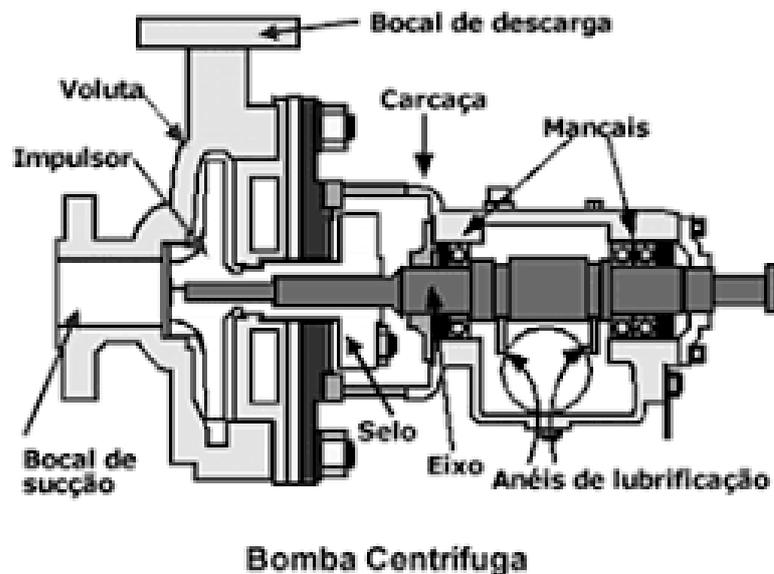


Figura 15: Bomba centrífuga.
Fonte: ELETROBRÁS, 2009.

2.9.1.2 Bomba centrífuga de fluxo misto ou heliocentrífuga

Nas bombas centrífugas de fluxo misto, o movimento do líquido ocorre na direção inclinada (diagonal) em relação ao eixo de rotação. Em bombas desse tipo, o líquido penetra no rotor em sentido paralelo ao eixo de rotação; sai do rotor, numa trajetória ligeiramente inclinada, seguindo um plano perpendicular ao eixo de rotação (ELETROBRÁS, 2009).

A pressão é comunicada pela força centrífuga e pela ação de sustentação ou propulsão das pás da bomba. A Figura 16 apresenta esquematicamente a trajetória de um líquido em uma bomba centrífuga de fluxo misto ou helicocentrífuga em corte transversal.

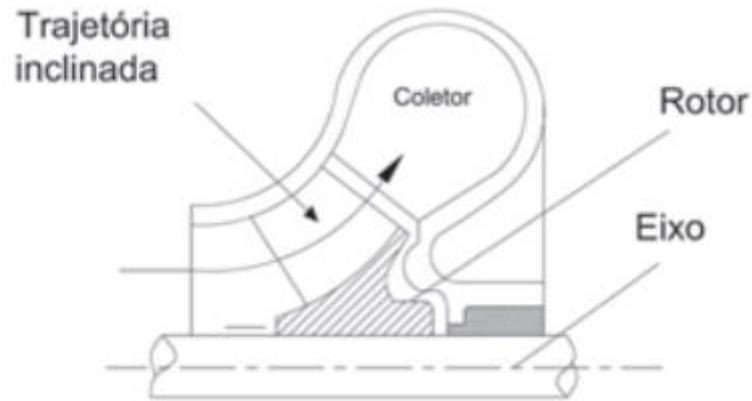


Figura 16: Rotor de bomba centrífuga de fluxo misto.
Fonte: ELETROBRÁS, 2009.

2.9.1.3 Bomba centrífuga de fluxo axial ou helicoaxial

Nas bombas centrífugas de fluxo axial ou helicoaxial o movimento do líquido ocorre paralelo ao eixo de rotação. O rotor normalmente possui apenas uma base de fixação das pás com a forma de um cone ou ogiva.

As bombas deste tipo são empregadas quando se necessita de grandes vazões em pequenas e médias alturas de elevação. Estas bombas são projetadas para que sua vazão e altura correspondam a um melhor rendimento hidráulico e, como consequência, a uma maior economia de energia.

A Figura 17 apresenta em corte uma bomba centrífuga de fluido axial ou helicoaxial e também apresenta um desenho esquemático de uma bomba centrífuga de fluxo axial em funcionamento.

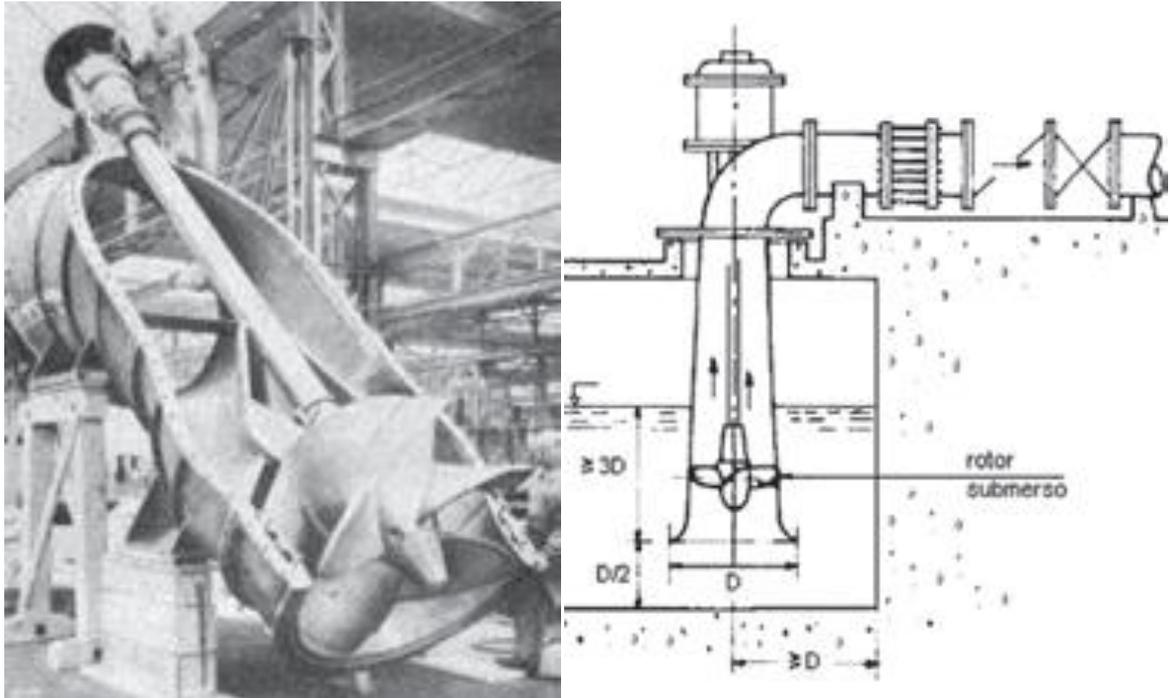


Figura 17: Bomba centrífuga de fluido axial em corte e em funcionamento.
Fonte: ELETROBRÁS, 2009.

2.10 Associação de bombas centrífugas

Em sistemas de abastecimento de água, em aplicações industriais, elevatórias de água e esgotos, pode-se apresentar um campo de variação de descarga e da altura manométrica excessivamente amplo, sendo assim impossibilitada a possibilidade de uma única bomba, mesmo variando-se a velocidade. Diante de tal situação recorre-se a associação de duas ou mais bombas em série ou paralelo (MACINTYRE, 1997).

2.10.1 Associação de bombas em série

A associação de bombas em série é dada de modo que as bombas são atravessadas sucessivamente pela mesma descarga, assim cada uma propiciará uma parcela de altura total H . A curva característica do conjunto de bombas será obtida somando-se, para cada valor de vazão, as ordenadas de altura de cada bomba. Há a possibilidade de associação de bombas iguais ou não. Emprega-se este tipo de sistema quando se varia muito a altura manométrica (MACINTYRE, 1997).

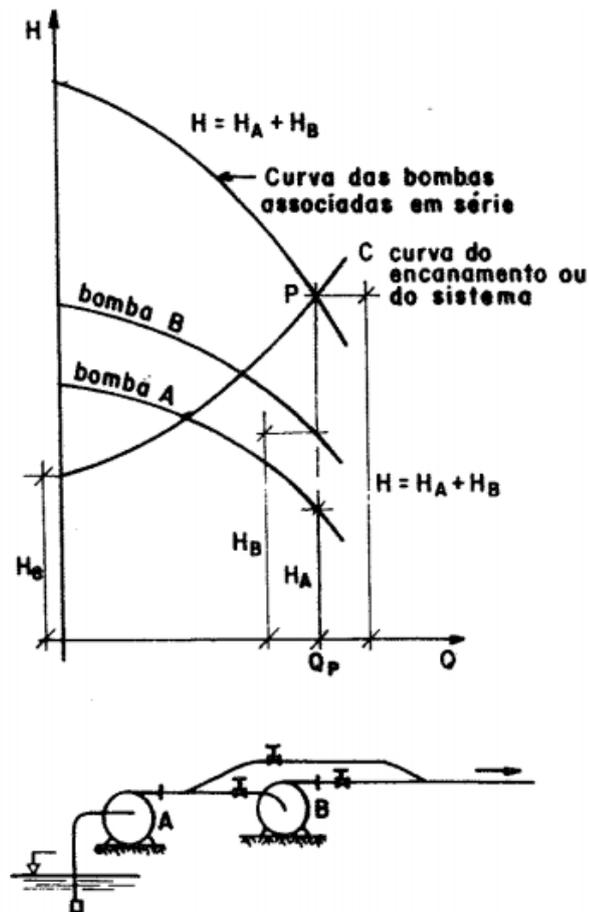


Figura 18: Ligação em série de duas bombas.
Fonte: MACINTYRE, 1997.

2.10.2 Associação de bombas em paralelo

A associação de bombas em paralelo consiste na disposição das tubulações de recalque de maneira tal que, escoam-se as descargas de duas ou mais bombas funcionando simultaneamente. A curva característica do conjunto será obtida somando-se para cada valor de altura, os valores de vazão. Sem considerar-se as perdas de carga no encanamento, a vazão final seria a soma das vazões de cada bomba. Para evitar correntes secundárias, recomenda-se a utilização de bombas iguais no sistema (MACINTYRE, 1997).

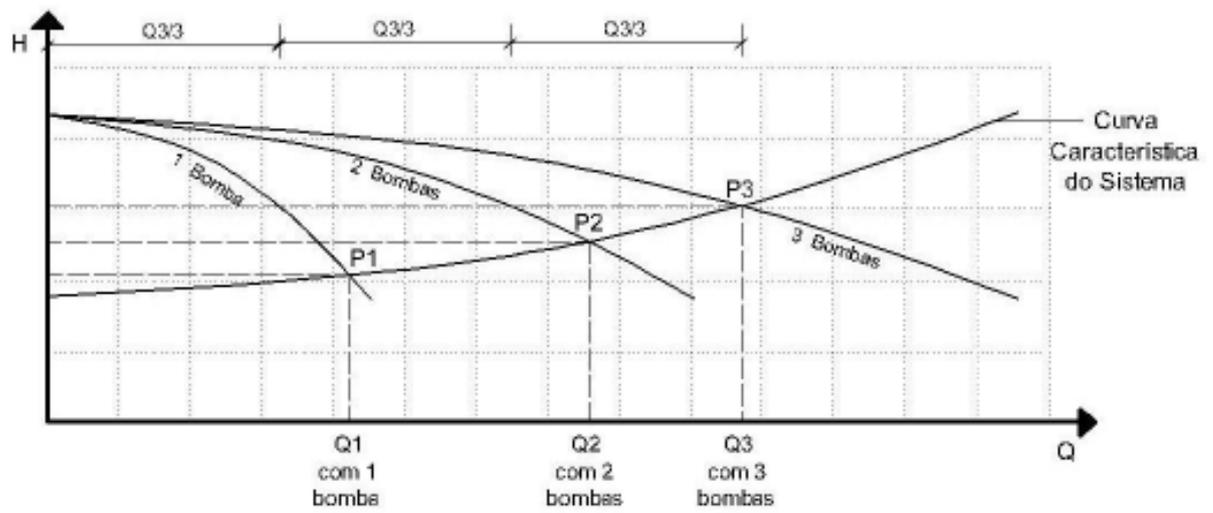


Figura 19: Pontos de operação com 1, 2 e 3 bombas em paralelo.
Fonte: Adaptado de MACINTYRE, 1997.

3 METODOLOGIA

Este capítulo tem como objetivo demonstrar as características do desenvolvimento da pesquisa, a metodologia de dimensionamento de sistemas de bombeamento buscando-se a otimização deste, melhor rendimento e rentabilidade do mesmo. Será apresentada natureza da pesquisa, as variáveis e indicadores do processo, os métodos utilizados, instrumentação de coleta de dados a tabulação destes.

3.1 Tipo de pesquisa

Segundo Demo (2000, p.20) pesquisa é definida como: “Pesquisa é entendida tanto como procedimento de fabricação do conhecimento, quanto como todo o processo reconstrutivo de conhecimento”. Prodanov e Freitas (*apud* BARROS e LEHFELD, 2000, p.14) dizem que a finalidade da pesquisa é resolver problemas e solucionar dúvidas mediante a utilização de procedimentos científicos, e a partir de interrogação formulada em relação a pontos ou fatos que permanecem obscuros e necessitam de explicações plausíveis e respostas que venham a elucidá-las.

A Pesquisa Científica visa a conhecer cientificamente um ou mais aspectos de determinado assunto. Para tanto, deve ser sistemática, metódica e crítica. O produto da pesquisa científica deve contribuir para o avanço do conhecimento humano. Na vida acadêmica, a pesquisa é um exercício que permite despertar o espírito de investigação diante dos trabalhos e problemas sugeridos ou propostos pelos professores e orientadores.

Focando-se em pesquisa científica, Prodanov e Freitas (2013) esclarecem que pesquisa científica é a realização de um estudo planejado, sendo o método de abordagem do problema o que caracteriza o aspecto científico da investigação e que sua finalidade é descobrir respostas para questões mediante a aplicação do método científico, partindo de um problema, uma interrogação, uma situação para a qual o repertório de conhecimento disponível não gera resposta adequada.

Este trabalho pode ser caracterizado como uma pesquisa de abordagem qualitativa e quantitativa, pois para Prodanov e Freitas (2013), pesquisa qualitativa é aquela que considera que há uma relação entre o mundo real e o sujeito, ou seja, é um vínculo indissociável entre o mundo objetivo e a subjetividade do sujeito que não pode ser traduzido em números. A interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são básicas no processo de pesquisa qualitativa. Esta não requer o uso de métodos e técnicas estatísticas. O ambiente natural é a

fonte direta para coleta de dados e o pesquisador é o instrumento-chave. Os pesquisadores tendem a analisar os dados indutivamente, e o processo e seu significado são os focos principais da abordagem.

A Tabela 7 apresenta um comparativo entre os aspectos principais de cada tipo de pesquisa no ponto de vista qualitativo e quantitativo. Basicamente a diferença mais significativa entre as duas naturezas se dá pela utilização ou não de instrumentos estatísticos e formulações baseadas em dados quantizáveis. Assim, o tipo de abordagem utilizada na pesquisa dependerá dos interesses do autor (pesquisador) e do tipo de estudo que ele desenvolverá. É importante acrescentar que essas duas abordagens estão interligadas e complementam-se.

Tabela 7: Comparação entre pesquisa qualitativa e quantitativa

Ponto de Comparação	Pesquisa Qualitativa	Pesquisa Quantitativa
Foco da pesquisa	Qualidade (natureza e essência)	Quantidade (quantos, quanto)
Raízes filosóficas	Fenomenologia, interação simbólica	Positivismo, empirismo, lógico
Frases associadas	Trabalho de campo, etnografia, naturalismo, subjetivismo	Experimental, empírico, estatístico
Metas de investigação	Entendimento, descrição, descoberta, generalização, hipótese	Predição, controle, descrição, confirmação, teste de hipótese
Ambiente	Natural, familiar	Artificial, não-natural
Amostra	Pequena, não-representativa	Grande, ampla
Coleta de dados	Pesquisador como principal instrumento (entrevista, observação)	Instrumentos manipulados (escala, teste, questionário etc.)
Modo de análise	Indutivo (pelo pesquisador)	Dedutivo (pelo método estatístico)

Fonte: PRODANOV E FREITAS, 2013.

Conforme as classificações, determina-se que o presente trabalho está de acordo com as definições para uma pesquisa exploratória. De acordo com Gil (2008) as pesquisas exploratórias têm como principal finalidade desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. De todos os tipos de pesquisa, estas são as que apresentam menor rigidez no planejamento. Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas

não padronizadas e estudos de caso. Procedimentos de amostragem e técnicas quantitativas de coleta de dados não são costumeiramente aplicados nestas pesquisas (GIL, 2008).

Por fim, quanto aos procedimentos técnicos, este trabalho consiste em uma pesquisa de caráter bibliográfico, pesquisa documental e estudo de caso. Prodanov e Freitas (2013) definem pesquisa bibliográfica como aquela que quando ela quando elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de: livros, revistas, publicações em periódicos e artigos científicos, jornais, boletins, monografias, dissertações, teses, material cartográfico, internet, com o objetivo de colocar o pesquisador em contato direto com todo material já escrito sobre o assunto da pesquisa.

Pesquisa classificada como estudo de caso é caracterizada por Gil (2008) como estudo profundo e exaustivo de um ou de poucos objetos, de maneira a permitir o seu conhecimento amplo e detalhado, tarefa praticamente impossível mediante os outros tipos de delineamentos considerados. Gil (*apud* Yin, 2005, p.32) ainda complementa que o estudo de caso é um estudo empírico que investiga um fenômeno atual dentro do seu contexto de realidade, quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas e no qual são utilizadas várias fontes de evidência.

3.2 Materiais e métodos

Inicialmente para este trabalho foi efetuada uma extensa revisão bibliográfica acerca das causas envolvidas que possam ter algum nível de influência no desenvolvimento eficaz do projeto. A intenção foi o embasamento teórico mais adequado e relevante na análise criteriosa de um sistema de bombeamento de médio porte com o intuito de efficientização energética. Para tal trabalho utilizou-se artigos, teses, dissertações, catálogos, livros, etc.

No trabalho analisado, o sistema de bombeamento de água é fictício, com condições de contorno que atendam os objetivos para a análise do sistema. Foram coletados dados relativos ao consumo médio de água por pessoa com embasamento teórico, consumo energético de bombas por meio de catálogos das empresas fabricantes, e possíveis perdas de carga do sistema. A partir da determinação do sistema que melhor atende o cenário em questão, faz-se uma análise técnica dos fatores que influenciam no dimensionamento do sistema bem como a eficiência da instalação para o cenário proposto.

Buscou-se o embasamento teórico que comprove a veracidade do sistema estudado, como seus parâmetros e equipamentos selecionados e a fidedignidade do sistema de

bombeamento no contexto social e industrial médio/pequeno porte de uma cidade, para assim validar os resultados teóricos obtidos deste trabalho.

A princípio os cálculos realizados para o sistema englobam conceitos e estudos com fórmula de Bresse, ábaco de Hazen-Willians, método do comprimento equivalente, fórmula de Darcy-Weissbach para determinação da altura manométrica necessária para atender o sistema proposto. Além disso, estar de acordo com uma proposta de melhoria de um sistema de bombeamento de água para uma cidade de médio porte, que se enquadre nas necessidades energéticas, possuindo compatibilidade com os métodos utilizados atualmente.

Posteriormente o trabalho analisa a seleção dos equipamentos disponíveis no mercado para atender o sistema de captação de água do cenário proposto sendo realizado o embasamento destas escolhas a partir das análises energéticas das bombas. O presente trabalho finaliza-se a partir da análise técnica na implantação de um sistema com associação de bombas para suprir a descarga de vazão.

3.3 Variáveis e indicadores

Prodanov e Freitas (2013) consideram que variável pode ser considerada uma classificação ou medida; uma quantidade que varia; um conceito operacional que contém ou apresenta valores; aspecto, propriedade ou fator discernível em um objeto de estudo e passível de mensuração. As variáveis são, portanto, características observáveis do fenômeno a ser estudado e existem em todos os tipos de pesquisa, no entanto, nas pesquisas quantitativas elas são medidas, já nas qualitativas, elas são descritivas ou explicadas. A seguir, a Tabela 8 demonstra as principais variáveis do estudo e os seus respectivos indicadores.

Tabela 8: Variáveis e indicadores da pesquisa

Variáveis	Indicadores
Tubulação	<ul style="list-style-type: none"> • Diâmetro • Comprimento • Elevação • Tipo de material
Bomba	<ul style="list-style-type: none"> • Vazão de recalque • Perda de carga • Altura manométrica • Potência instalada • Potência consumida

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

3.4 Instrumento de coleta e dados

Nesta etapa ocorre a coleta de dados das variantes do tema proposto para obtenção dos fundamentos necessários que suportam a pesquisa por meio de revisões bibliográficas, observações, cálculos e discussões.

Esta pesquisa é de natureza bibliográfica com estudo de caso, qualitativa, quantitativa e explicativa. Assim sendo os dados necessários para os estudos serão obtidos por meio de pesquisas bibliográficas, utilizando livros, teses, dissertações e catálogos, associado com cálculos diretos por meio de fórmulas os quais caracterizam um sistema de bombeamento, fazendo-se a comparação e viabilização deste sistema alcançando dados teóricos e práticos que os sustentem.

3.5 Tabulação de dados

A partir dos dados da cidade cenário obtidos, as fórmulas teóricas, e tabelas dos fabricantes dos equipamentos, foram analisados os desníveis e comprimento da tubulação para determinação de quantidades necessárias para atender o sistema. Para a análise de efficientização, será utilizado o *software* Microsoft Excel para confirmação do melhor arranjo do sistema de bombeamento de água proposto. O último programa será utilizado também, para gerar tabelas detalhadas e gráficos que facilitarão a visualização, entendimento e interpretação dos resultados.

3.6 Considerações finais

No presente capítulo foram abordadas e conceituadas as classificações referentes ao tipo de pesquisa, no qual foi apresentado também as ferramentas e técnicas utilizadas para a elaboração deste trabalho. Apresentou-se também os materiais, métodos, forma de coleta e tabulação dos dados obtidos e empregados para desenvolver o trabalho.

No capítulo a seguir, será apresentado o dimensionamento de sistemas de bombeamento através de um projeto de uma adutora de água existente, explicitando-se os resultados das caracterizações dos parâmetros e indicadores do sistema de bombeamento e adutoras de água bruta. Posteriormente, serão apresentados dados que fundamentam a proposta para a implantação do sistema de bombeamento, através de análise e correções técnicas dos equipamentos, segundo os conceitos apresentados no capítulo de Revisão Bibliográfica.

4 RESULTADOS

4.1 Cenário base e suas características principais

O Sistema de bombeamento proposto dedica-se a região administrativa de Brazlândia, no Distrito Federal. Brazlândia, criada em 05 de junho de 1933 é uma terra repleta de encantos e atrativos, com percentual da área em relação ao Distrito Federal de 8,32%, possui atualmente 54 mil habitantes na área urbana e cerca de 30 mil na área rural, e possui uma área total de 474,83 km² (CONHEÇA A RA, 2019).

A Figura 20 mostra a localização da região administrativa IV do Distrito Federal:

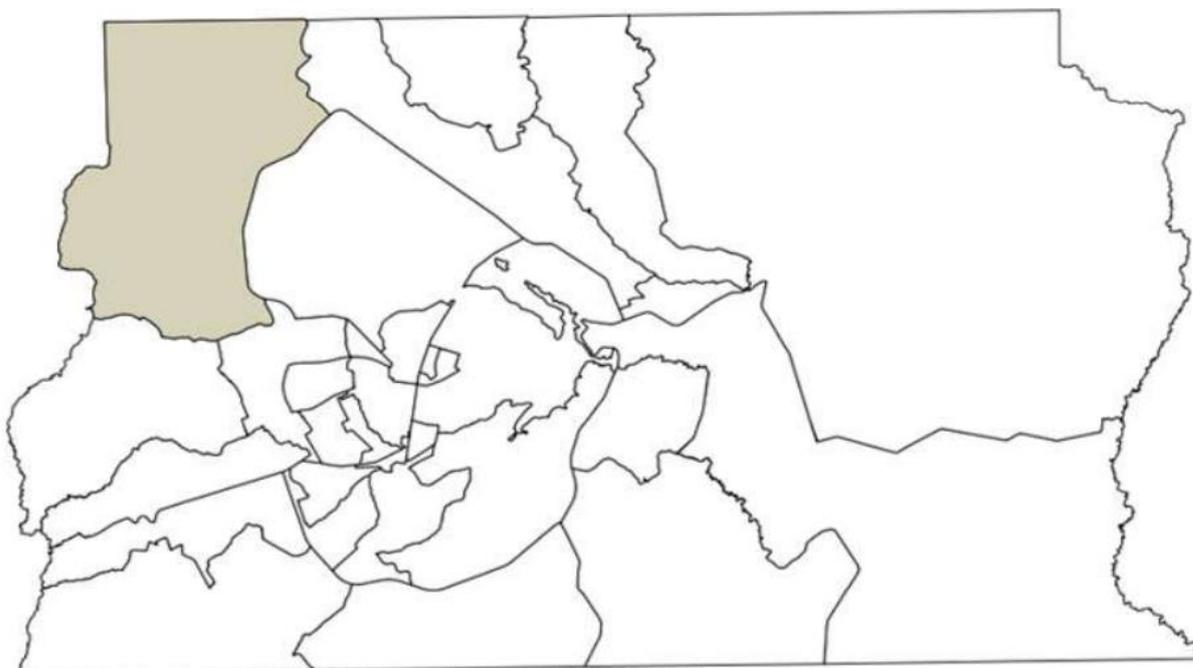


Figura 20: Localização da região administrativa de Brazlândia no distrito federal.
Fonte: Ra IV – Brazlândia, 2018.

O sistema Brazlândia integra-se através de dois sistemas independentes de abastecimento, sendo um através da captação superficial e o outro por poços profundos que abastecem a região administrativa IV do Distrito Federal. O subsistema de águas superficiais, que se destina ao abastecimento de Brazlândia, é formado pelas captações dos córregos Barrocão (Descoberto montante) e Capão da onça, cujas vazões são encaminhadas diretamente à estação de tratamento de água Brazlândia.

BARROCÃO – Córrego, afluente da margem direita do córrego Capão da onça. Bacia hidrográfica do Rio Descoberto. Unidade hidrográfica alto Rio Descoberto/UH-33.

CAPÃO DA ONÇA – Córrego, depois de receber o córrego Barroirão, passa a se chamar Rio Descoberto. Bacia hidrográfica do Rio Descoberto. Unidade hidrográfica alto Rio Descoberto/UH-33.

O Rio Descoberto é um curso de água que delimita a divisa do estado de Goiás pelo lado oeste com o Distrito Federal. O rio é represado formando o Lago Descoberto, sendo responsável por aproximadamente 60% da água utilizada para abastecimento no Distrito Federal (CONHEÇA A RA, 2019).

A Figura 21 demonstra as regiões administrativas do Distrito Federal além da localização das estações de tratamento instaladas e planejadas.

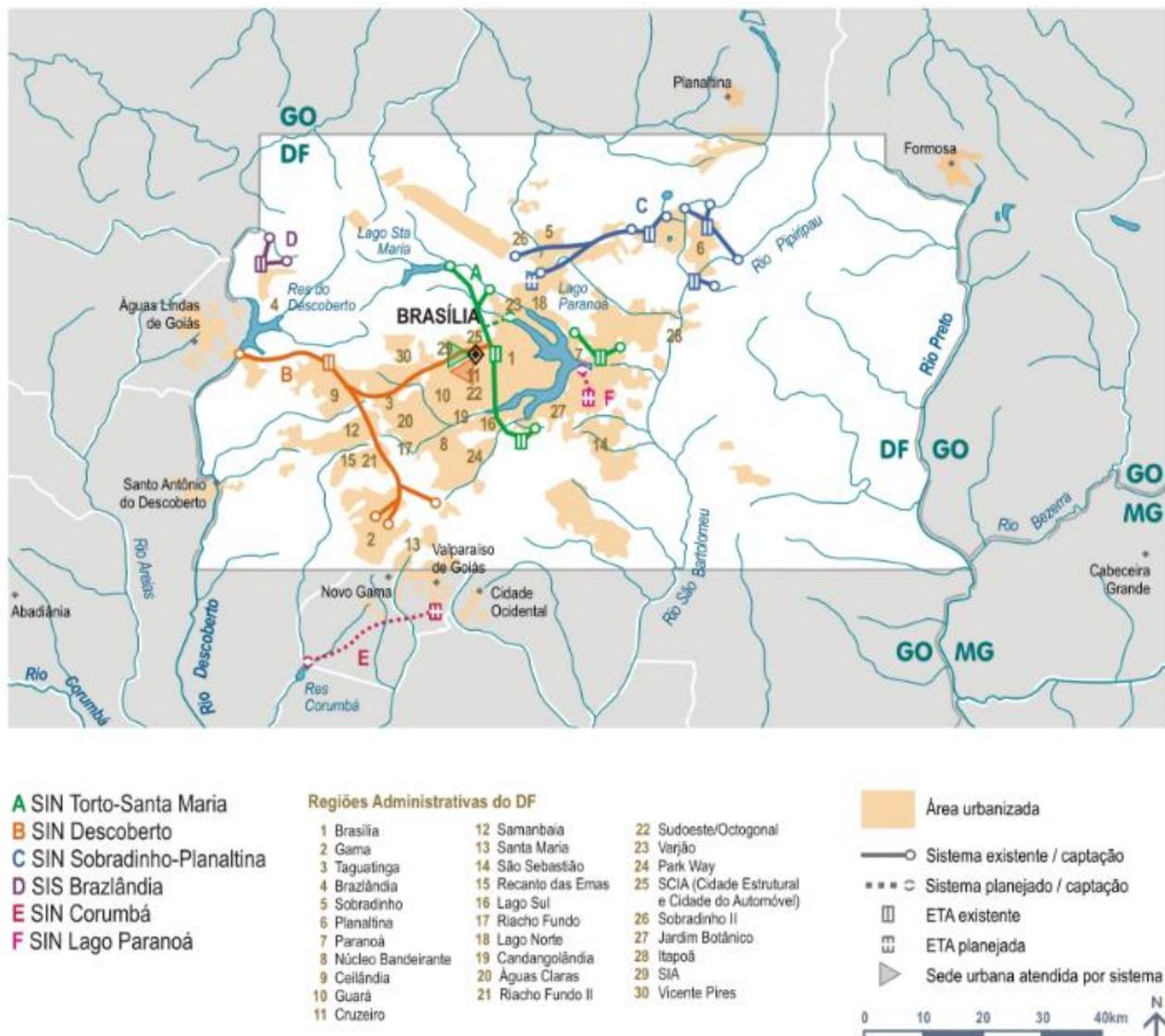


Figura 21: Região Metropolitana da RIDE DF.
Fonte: ANA, 2010.

As Figuras 22 e 23 mostram o curso do rio descoberto composto pelos córregos Barroirão e Capão da Onça através do *software* Google Maps e a Figura 24 configura a união dos cursos anteriormente mencionados. Para o estudo proposto o dimensionamento do sistema de captação será realizado pelo córrego Barroirão.

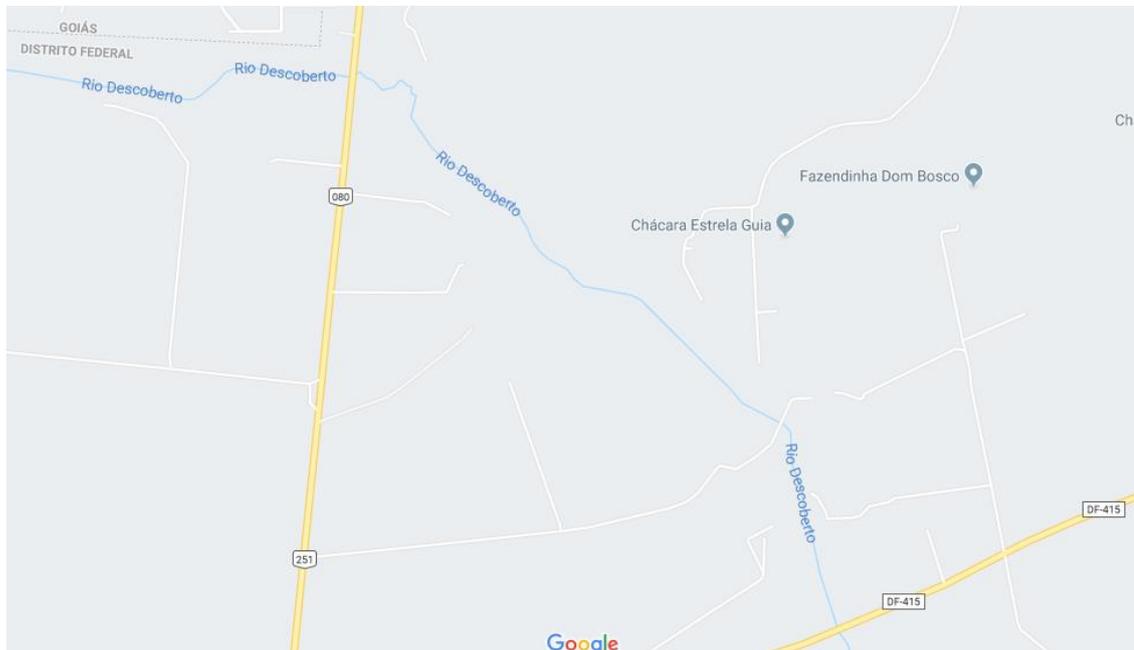


Figura 22: Curso rio Descoberto.
Fonte: Pesquisa direta, 2019.



Figura 23: Curso rio Descoberto.
Fonte: Pesquisa direta, 2019.

4.2 Parâmetros iniciais para o dimensionamento do sistema de bombeamento

Segundo Carvalho (1977), o primeiro procedimento para o dimensionamento de um sistema de bombeamento, é definir qual será a vazão recalçada, ou seja, qual será o consumo do mesmo. Por meio do levantamento de informações junto à companhia de saneamento ambiental do distrito federal (CAESB), a vazão de projeto da estação de tratamento de água de Brazlândia é equivalente a 165 l/s, e a vazão média é 95 l/s (ATLASCAESB, 2018).

Para o cálculo da vazão de dimensionamento das adutoras é imprescindível conhecer os fatores intervenientes como horizonte de projeto, vazão de adução e período de funcionamento da adução. Segundo Tsutiya (2006), em sistemas de abastecimento de água o horizonte de projeto é situado entre 20 e 50 anos.

A vazão de adução é estabelecida em função da população a ser abastecida, da cota *per capita*, dos coeficientes de variação das vazões e do número de horas de funcionamento. De acordo com Tsutiya (2006) o cálculo de vazão de adução considera um período de 24 h/dia. Porém o que acontece habitualmente em aduções por recalque é a utilização de período de bombeamento de 16 a 20 horas, devido a necessidades de manutenção, possível falta de energia, etc.

Outro aspecto que pode ser considerado para definir o período de adução é o período fora do horário de pico, do sistema elétrico. Esse horário corresponde ao período de 3 horas contínuas a ser estabelecido pela concessionária de energia elétrica compreendido entre 17:00 e 22:00 horas, de segunda a sexta-feira (TSUTIYA, 2006).

Para o cenário inicial, onde a instalação será dimensionada de acordo com sua capacidade máxima, foi definido que a bomba trabalharia em um regime constante de 24 horas por dia suprindo a demanda da adutora de água bruta para a cidade de Brazlândia – DF.

Atendendo a figura 27, tem-se o desnível do terreno, onde o ponto de captação encontra-se a 1098 metros de altitude em relação ao nível do mar, e a estação de tratamento de água a 1154 metros de altitude. O comprimento entre a captação e o recalque é igual a 2,84 quilômetros. Devido ao dimensionamento apenas para a estação de tratamento, não será acrescida cota para o reservatório elevado. Assim sendo, o desnível geométrico H_g da equação 19 é igual a 56 metros.

4.3 Definição do diâmetro da tubulação

Atendendo a vazão necessária, o primeiro passo do cálculo é a definição dos diâmetros de sucção e recalque, os quais podem ser calculados através das Equações 16, 17 e 18.

4.3.1 Fórmula de Bresse

Ao explicitar a variável Q da fórmula de Bresse e aplicando-se na equação da continuidade, tem-se que:

$$v = \frac{4}{\pi * K^2} \quad (28)$$

Através desta expressão organizou-se o Tabela 9, que apresenta valores de K e de velocidade. Geralmente a velocidade média das instalações situa-se entre 0,6 e 2,4 m/s. As maiores velocidades são utilizadas em instalações que funcionam apenas algumas horas por dia.

Tabela 9: Valores de K e de velocidade

Valor de K	Velocidade (m/s)	Valor de K	Velocidade (m/s)
0,75	2,26	1,10	1,05
0,80	1,99	1,20	0,88
0,85	1,76	1,30	0,75
0,90	1,57	1,40	0,65
1,00	1,27		

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Pela fórmula de Bresse, equação 16, tem-se o valor de 0,4062 m, com vazão equivalente a 0,165 m³/s. Adotou-se K = 1 em função da Tabela 9, considerando velocidade econômica para a linha de sucção: $v_s < 1,5$ m/s. De acordo com catálogos comerciais utilizando linhas de Ferro Fundido Dúctil que estão de acordo com a ABNT NBR 7675 e/ou NBR 15420, a faixa de diâmetros nominais estão entre DN80 e DN1200, “importou-se” então os diâmetros comerciais de 0,5 metros para a linha de sucção e 0,4 metros para a linha de recalque.

Após esta etapa determinou-se as velocidades de escoamento da água em ambas as linhas da tubulação, calculadas a partir da Equação 21. Para a vazão de projeto obteve-se os valores de 0,84 m/s para sucção e 1,31 m/s para o recalque.

4.3.2 Fórmula ABNT

Pela fórmula da ABNT, Equação 17, tem-se o valor de 0,5269 m com vazão equivalente a 0,165 m³/s e horas de trabalho considerando 24 horas por dia. “Importou-se” o diâmetro comercial de 0,6 metros para a sucção e 0,5 para o recalque. Determinou-se a velocidade de escoamento da água em ambas as linhas da tubulação, calculadas a partir da Equação 21. Para a vazão de projeto obteve-se o valor de 0,84 m/s para o recalque e 0,58 m/s para a sucção.

4.3.3 Velocidades econômicas

Utilizando o método das velocidades econômicas, determinou-se inicialmente as velocidades de 1,5 m/s para a sucção e 2,5 m/s para o recalque. Após esse passo calculou-se os diâmetros a partir da Equação 18 obtendo o valor de 0,3742 m para a sucção e 0,2899 m para o recalque, com vazão equivalente a 0,165 m³/s. De acordo com os catálogos, selecionou-se os diâmetros comerciais de 0,4 metros para a linha de sucção e 0,3 metros para a linha de recalque.

Tendo os valores comerciais dos diâmetros, refaz-se o cálculo das velocidades de escoamento a partir da Equação 21. Para a vazão de projeto obteve-se o valor de 1,31 m/s para a sucção e 2,33 m/s para o recalque.

Obedecendo ao critério de conjugar-se o investimento e o custo operacional, de forma a obter-se um custo mínimo, de acordo com Carvalho (1977), constatou-se que o método das velocidades econômicas foi o mais adequado ao cenário proposto, e que as velocidades de escoamento ficaram dentro dos limites.

Em posse dos dados de vazão requerida, diâmetros das tubulações e suas respectivas velocidades, posteriormente foram calculadas as perdas de carga do sistema, utilizando o método direto, Ábaco de Hazen-Willians, e método dos comprimentos equivalentes com auxílio da fórmula de Darcy-Weiss Bach.

4.4 Perdas de carga da tubulação

Após a definição dos diâmetros da tubulação de sucção e recalque, calcula-se as perdas de carga ao longo do sistema. Para o presente trabalho selecionou-se o material de ferro dúctil

com revestimento interno de argamassa de cimento alto-forno e revestimento externo de zinco metálico e pintura em epóxi verde. Todos os tubos, conexões, válvulas e acessórios de canalização para adução de água fabricados comercialmente em ferro dúctil seguem as normas NBR 7675 e/ou NBR15420.

4.4.1 Perda de carga na sucção

4.4.1.1 Método dos comprimentos equivalentes

O cálculo da perda de carga na sucção é o somatório da perda de carga localizada mais a perda de carga contínua. A Tabela 10 remete aos valores de perda de carga em comprimentos equivalentes, os quais foram calculados a partir da Figura 10 considerando um crescimento linear desses valores para o diâmetro comercial de 0,4 m como se mostra através do gráfico da Figura 26. Definiu-se que a altura de sucção seria de 2 m e o comprimento de tubulação reta na sucção de 10 m. Considerou-se também, 1 curva de 90°, 1 crivo e 1 válvula de pé.

Tabela 10: Comprimento equivalente do acessório em tubulação reta na sucção

Método de comprimento equivalente (sucção)		
Acessórios	Qtd.	L acessórios (m)
Curva de 90°	1	5,213
Válvula de pé e crivo	1	102,7591
$\Sigma L_{\text{virtual}} =$		117,9721

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

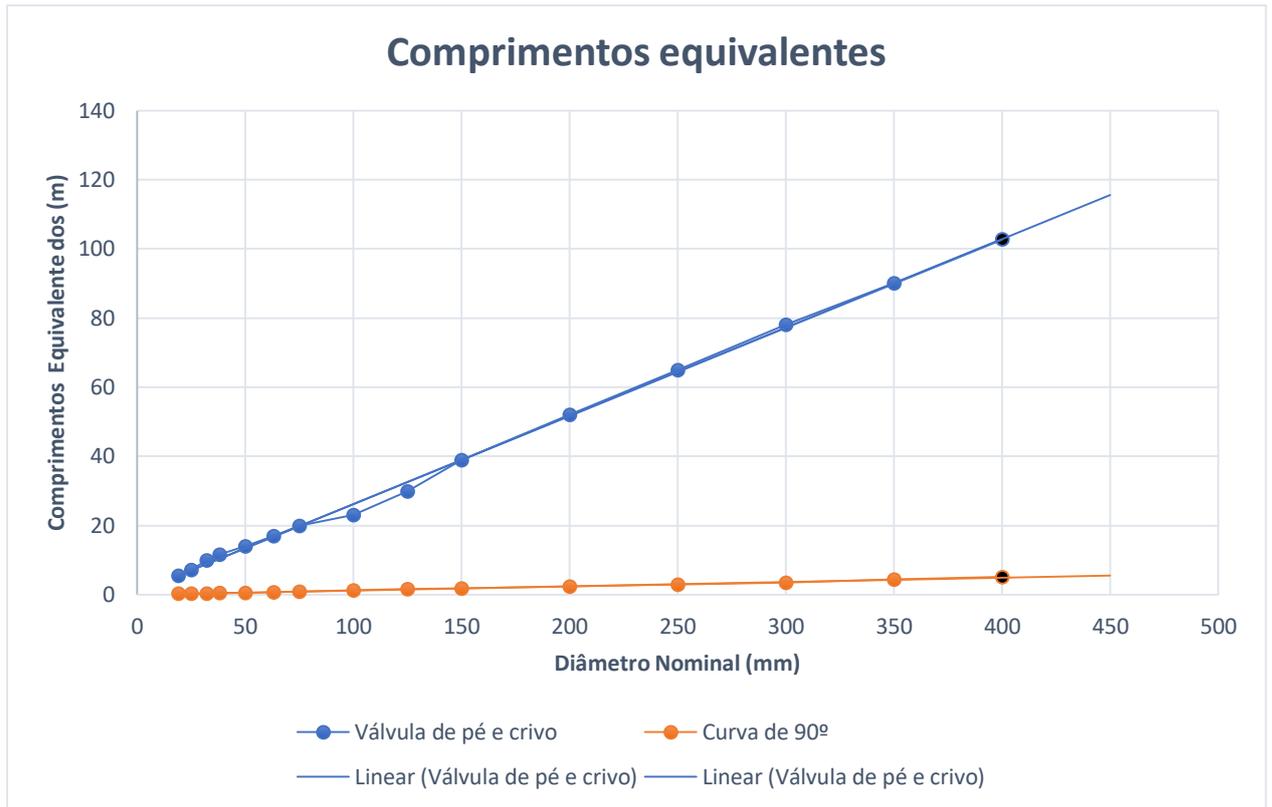


Figura 26: Comprimentos equivalentes para os dispositivos de sucção.
Fonte: Pesquisa direta, 2019.

A partir da Equação 6 pode-se definir o tipo do movimento na tubulação de sucção, definido pelo número de Reynolds. Para a sucção tem-se $Re = 525.211,3122$ (turbulento), adotando $v_s = 1,31$ m/s, $\varphi_s = 0,4$ m, ν (da água a 20°C) = $0,000001$ m²/s.

A Tabela 4 indica a rugosidade de cada material, o que torna possível o cálculo do fator de atrito devido ao tipo de material no escoamento. Para escolher o diâmetro de uma canalização em ferro dúctil revestida internamente com argamassa de cimento, adota-se geralmente um coeficiente de rugosidade $\varepsilon = 0,1$ mm. A partir dos dados coletados observa-se o Diagrama de Moody a fim de determinar o valor do fator de atrito para o cálculo seguinte.

Para uma rugosidade (ε) de 0,1 do Ferro dúctil e diâmetro de 0,4 m na sucção, e Re igual a 525.211,3122, retira-se do diagrama de Moody como mostra a Figura 27 o valor do fator de atrito e obtém-se $f = 0,01635$ aproximadamente. De posse de f e do comprimento virtual da tubulação de sucção ($\Sigma L_{\text{virtual}}$), calcula-se a perda de carga (localizada e contínua) através da Fórmula de Darcy-Weiss Bach.

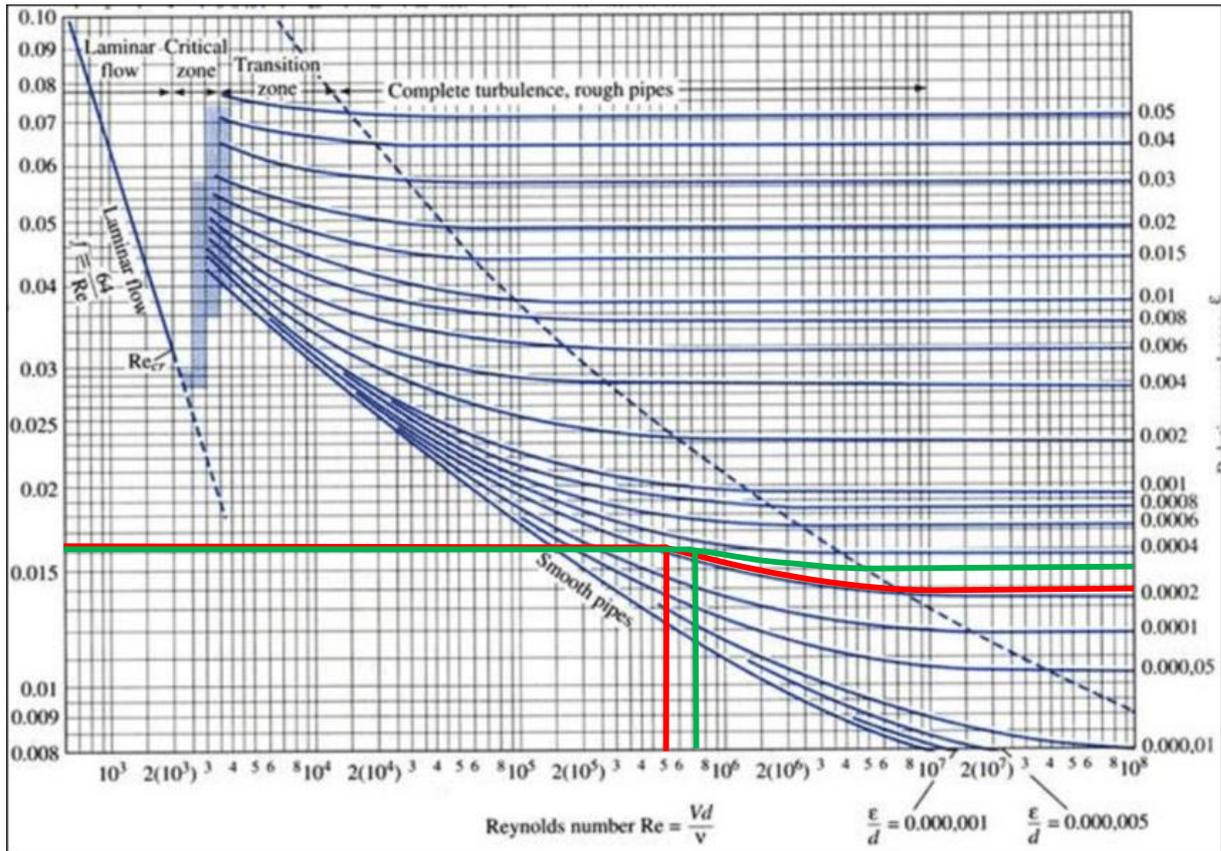


Figura 27: Diagrama de Moody.

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Sendo assim, para um f de 0,01635, $\Sigma L_{\text{virtual}}$ de 117,9721 m, ϕ_s na sucção igual 0,4 m, velocidade na sucção de 1,31 m/s e gravidade de 9,8 m²/s, a perda de carga na sucção através da Equação 20 é igual a 0,4241 m.

4.4.1.2 Método direto

A partir do método direto também é possível o cálculo da perda de carga. A Tabela 11 mostra os valores aproximados de K , conforme a disposição do sistema para que seja realizado o cálculo de perdas de carga localizada.

Tabela 11: Perdas de carga localizada na sucção, valores de K

Método direto (sucção)			
Acessórios	K	Qtd.	Total
Crivo	0,75	1	0,75
Curva de 90°	0,4	1	0,4
Válvula de pé	1,75	1	1,75
		ΣK	2,9

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

No método direto calcula-se a perda de carga localizada através da Equação 26. Na sucção, com $\Sigma K=2,9$, $v_s = 1,3130$ m/s e $g = 9,80$ m/s², obtém-se $\Delta H_L = 0,2550$ m.

Para as perdas de carga contínua, calcula-se através da Equação 25, utilizando o método de Hazen-Williams. Para um L_{reto} de 10m, C da argamassa de cimento alto-forno igual a 145, e diâmetro de sucção de 0,4 m, a perda de carga contínua é 0,0326 m.

O cálculo da perda de carga na sucção é o somatório da perda de carga localizada mais a perda de carga contínua. Sendo assim, tem-se que na sucção a perda de carga é igual a 0,2877 m para o método direto.

4.4.2 Perda de carga no recalque

4.4.2.1 Método dos comprimentos equivalentes

O mesmo procedimento foi realizado para a tubulação de recalque, a qual possui um comprimento de tubulação reta igual a 2,84 quilômetros. Definiu-se que na linha de recalque utilizar-se-ia 1 registro globo aberto, 1 válvula de retenção e 1 saída de canalização.

A partir da Equação 6 pode-se definir o tipo do movimento na tubulação de recalque, definido pelo número de Reynolds. Para o recalque tem-se $Re = 700.281,7496$ (turbulento), adotando $v_r = 2,33$ m/s, $\varphi_r = 0,3$ m, ν (da água a 20°C) = 0,000001 m²/s.

Na Tabela 12 é indicado o comprimento equivalente dos acessórios referente a tubulação de recalque.

Tabela 12: Comprimento equivalente do acessório em tubulação reta no recalque.

Método de comprimento equivalente (recalque)		
Acessórios	Qtd.	L acessórios (m)
Registro de globo aberto	1	102
Válvula de retenção	1	38
$L_{reto} =$		2840
$\Sigma L_{virtual} =$		2980

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

A partir da Figura 27 pode-se extrair o valor de f, o qual é necessário para cálculo final da perda de carga na linha de recalque. Para uma rugosidade (ϵ) de 0,1 do Ferro dúctil e diâmetro de 0,3 m no recalque, e Re igual a 700.281,7496, obtém-se $f = 0,0160$.

Com o valor de f e do comprimento virtual da tubulação de recalque ($\Sigma L_{virtual}$) calcula-se a perda de carga (localizada e contínua), novamente através da Fórmula de Darcy-Weiss Bach.

Para um f de 0,0160, $\Sigma L_{\text{virtual}}$ de 2980 m, ϕ_r no recalque igual 0,3 m, velocidade no recalque de 2,33 m/s e gravidade de 9,8 m/s², a perda de carga no recalque é igual a 44,1837 m.

4.4.2.2 Método direto

Para o método direto a Tabela 13 indica os valores de K utilizados na tubulação de recalque.

Tabela 13: Perdas de carga localizada no recalque, valores de K .

Método direto (recalque)			
Acessórios	K	Qtd.	Total
Registro de globo (aberto)	10	1	10
Válvula de retenção	2,5	1	2,5
Saída de canalização	1	1	1
		ΣK	13,5

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Pela Equação 26, calcula-se a perda de carga localizada no recalque, adotando $\Sigma K = 13,5$ $v_r = 2,33$ m/s, e $g = 9,8$ m/s². Portanto $\Delta H_L = 3,7530$ m.

Através da Equação 25 para um L_{reto} de 2840 m, C do Ferro dúctil igual a 145, e diâmetro de recalque de 0,3 m, a perda de carga contínua (ΔH_C) é 37,6125 m. Somando-se as perdas de carga (localizada e contínua), obtém-se que no recalque a perda de carga é igual a 41,3655 m.

4.5 Altura manométrica total e curva característica da instalação

Mediante os dois métodos utilizados para o cálculo das perdas de carga, define-se a altura manométrica do sistema. Para o método direto, as Equações 25 e 26 definem a perda de carga no sistema como um todo. A partir destas, para um $\Delta H_s = 0,2877$ m e $\Delta H_r = 41,3665$ m, $\Delta H = 41,6532$ m. Assim para o sistema a altura manométrica total dada pela Equação 19 é igual a 97,6532 m.

Já pelo método de comprimento equivalente, a Equação 20 fornece um $\Delta H = 44,6078$ m, definindo $\Delta H_s = 0,4241$ m e $\Delta H_r = 44,1837$ m. Sendo assim, pela Equação 19, $H_{\text{man}} = 100,6078$ m.

Com relação a estes dois métodos, para Carvalho (1977) o método dos comprimentos equivalentes conduz a resultados mais exatos, principalmente quando são utilizadas as tabelas de comprimentos equivalentes dos fabricantes dos acessórios empregados na instalação. Portanto, a altura manométrica a ser empregada nos cálculos seguintes é $H_{\text{man}} = 100,6078$ m.

A curva do sistema, que pode ser chamada de curva da tubulação, determina o ponto de trabalho do sistema obtido na interseção desta com a curva característica da bomba cedida pelo fabricante. Tendo conhecimento da vazão necessária e altura manométrica, substitui-se esses pontos conhecidos na equação para encontrar K da Equação 27. Para uma altura manométrica de 100,6078 m, altura geométrica de 56 m e vazão de 594 m³/h encontra-se 3,25356e-4 para K. A Tabela 14 calculada conforme a Equação 19, demonstra o aumento da altura manométrica do sistema à medida que a vazão recalçada aumenta.

Tabela 14: Aumento de altura manométrica do sistema em relação ao aumento de vazão

Vazão (m ³ /h)	Altura manométrica (m)
0	56
10	56,02313976
20	56,0835346
30	56,17700576
40	56,30156014
50	56,45588078
50	56,45588078
70	56,85012033
80	57,08863299
90	57,35399157
100	57,64573094
200	61,94109349
300	68,58888882
400	77,44736477
500	88,42285711
594	100,607854
600	101,4459253
700	116,461707
800	133,4250492
900	152,2977105
1000	173,0466085

Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Com os valores de vazão e altura manométrica pode-se traçar um gráfico para a curva do sistema. A Figura 28 representa graficamente o comportamento do sistema conforme o aumento da vazão.

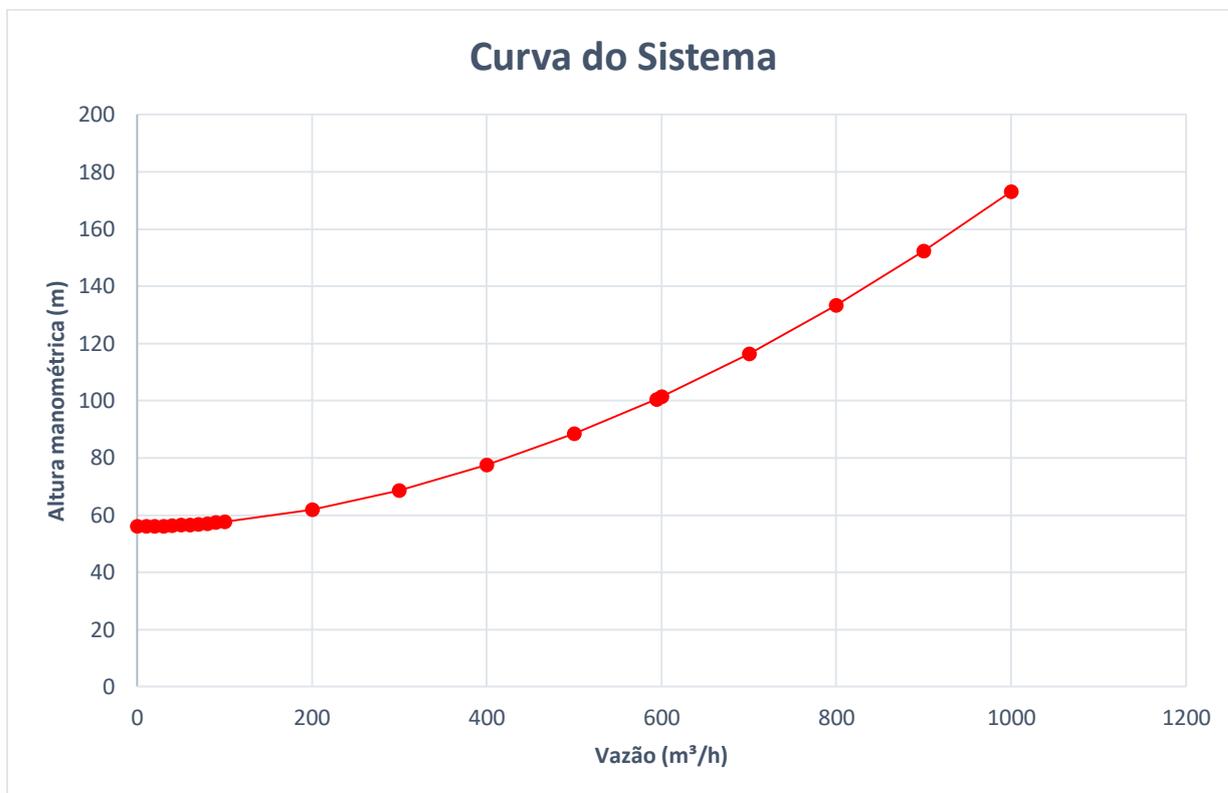


Figura 28: Curva do sistema.
Fonte: Pesquisa direta, 2019.

4.6 Seleção da bomba

Na transferência de fluidos de um local para outro comumente são utilizadas bombas centrífugas, sejam em pequenas ou em grandes instalações. Estas bombas possuem particularidades que devem ser conhecidas para uma correta aplicação, de forma a atender as necessidades dos sistemas de bombeamento. Possuindo como principal característica a curva que relaciona a pressão manométrica e a vazão, entender a dinâmica de operação é o primeiro passo no estudo da aplicação destas máquinas.

Dependendo das peculiaridades de aplicação, podem surgir casos onde são utilizadas mais de uma bomba para atender necessidades específicas seja de vazão ou pressão, sendo então feito uso de associações de bombas sejam em série ou paralelo. Destinado a possibilitar o estudo relacionado as bombas centrífugas, o equipamento é um recurso didático que agrega em uma montagem duas ou mais moto-bombas que podem operar tanto de forma paralela como em

série, permitindo além do estudo das características operacionais da bomba centrífuga, o estudo destas configurações de instalação e operação.

Após os cálculos realizados anteriormente, buscou-se em diversos catálogos de fabricantes de bombas centrífugas capazes de suprir a demanda de água do projeto. Assim sendo, através dos catálogos da fabricante de bombas KSB do Brasil, selecionou-se o equipamento considerando as especificações com vazão mínima de 594 m³/h e altura manométrica de 100,6078 m. A partir deste, como mostra a Figura 31, o tipo de bomba ideal para o sistema proposto é KSB MEGANORM 80-250 com rotação de 3500 rpm para uma rede de 60 Hz. Porém para atender satisfatoriamente o sistema, faz-se necessário uma associação de 3 bombas deste tipo em paralelo.

As associações de bombas são necessárias para que seja possível aumentar significativamente as vazões ou alturas manométricas e assim satisfazer as necessidades operacionais. Na operação de bombas em paralelo, cada uma das bombas é responsável por uma parcela da vazão total recalçada, mantendo a altura manométrica total. Dessa forma para a obtenção da bomba que melhor atende o sistema, dividiu-se em 3 parcelas iguais de vazão. A Figura 29 ilustra essa seleção com os parâmetros adequados à essa associação.

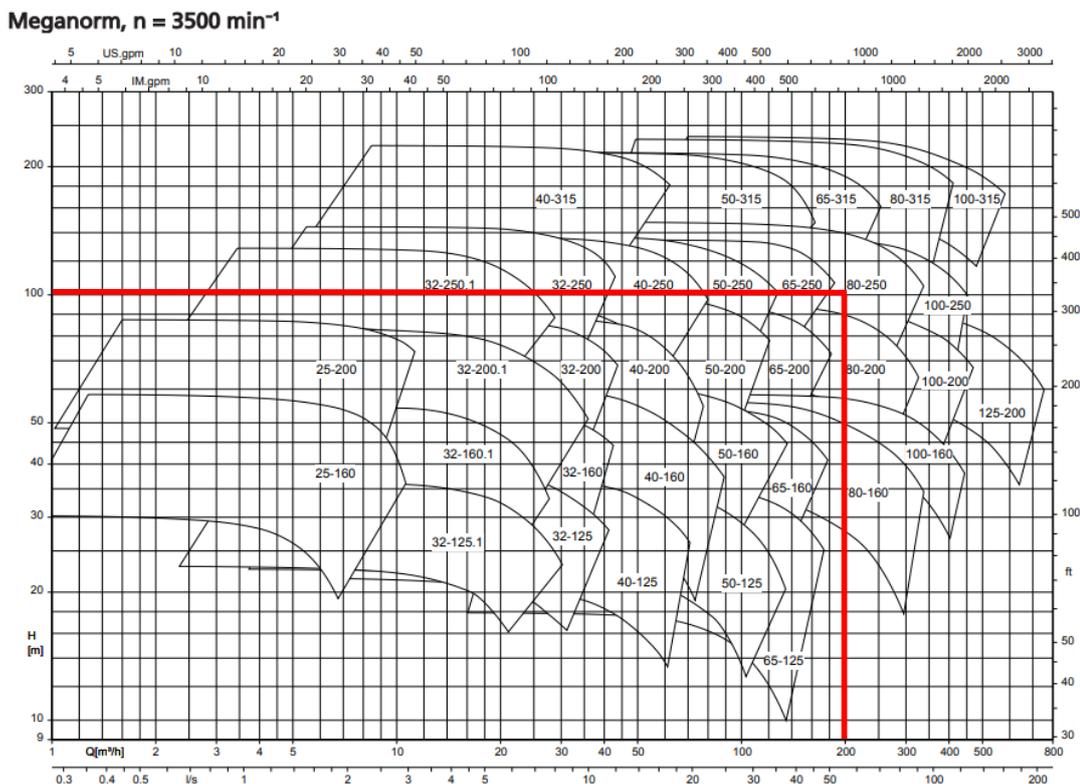


Figura 29: Seleção de bomba centrífuga.
Fonte: Manual de seleção KSB, 2019.

A Figura 30 ilustra a seleção da curva característica adequada ao sistema, assim como o diâmetro do rotor. Traçou-se novamente os parâmetros de vazão e altura manométrica e adotou-se conforme o fabricante o diâmetro de 255 mm, com rendimento de 77% nas condições selecionadas.

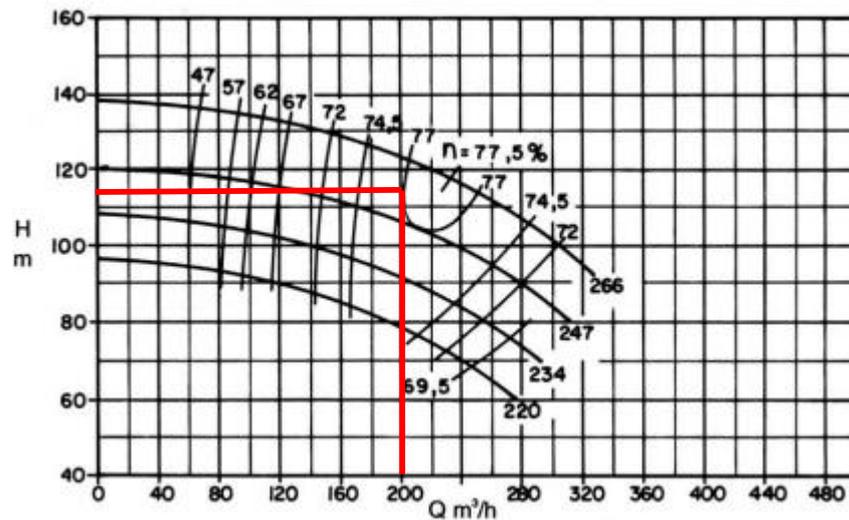


Figura 30: Seleção do rotor e curva característica para o modelo especificado.
Fonte: Manual de seleção KSB, 2019.

A Figura 31 abaixo mostra o valor do NPSHr da bomba para o maior rotor disponível para o tipo de bomba selecionado, com o valor de 3 m.c.a.

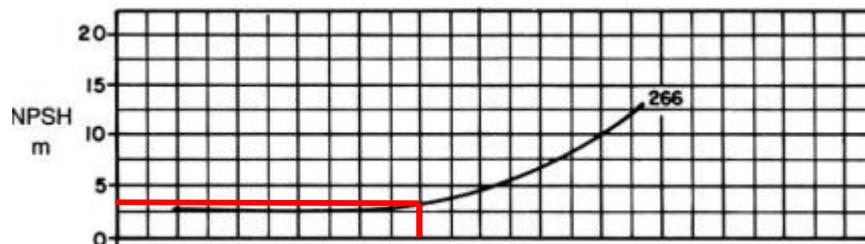


Figura 31: NPSHr da bomba selecionada.
Fonte: Manual Seleção KSB, 2019.

A potência da bomba, utilizando o rotor especificado e a vazão de projeto, é de 116 hp, conforme indica a Figura 32 abaixo:

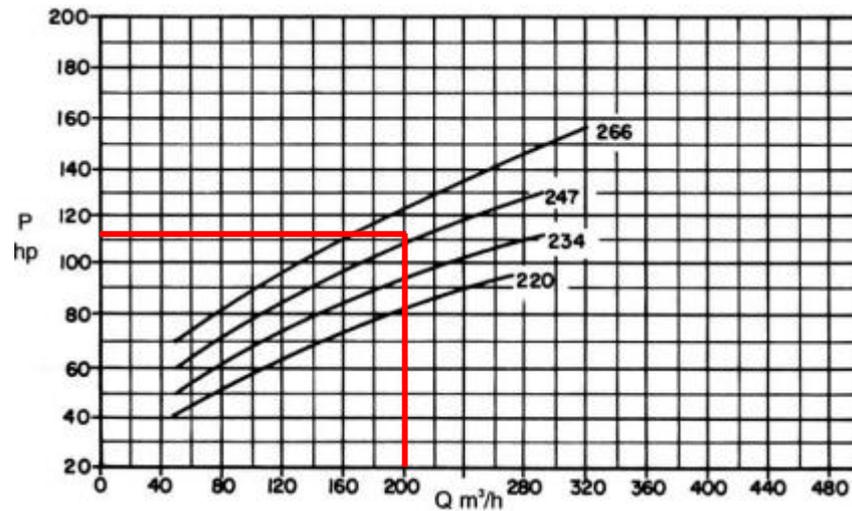


Figura 32: Potência da bomba selecionada.
Fonte: Manual Seleção KSB, 2019.

Para se definir o ponto de operação da bomba, realizou-se o traçado da curva do sistema e dos dados fornecidos pelo fabricante da bomba, assim como as curvas de associação para 3 bombas do mesmo tipo. O ponto de interseção entre as curvas define o ponto de operação, desta forma verificou-se que o sistema está dimensionado a atender as condições de projeto.

De acordo com a Figura 33, com os pontos de interseção entre a curva do sistema e a curva da bomba, definiu-se os valores para altura manométrica e vazão verificando que associação de bombas atenderia as especificações do projeto.

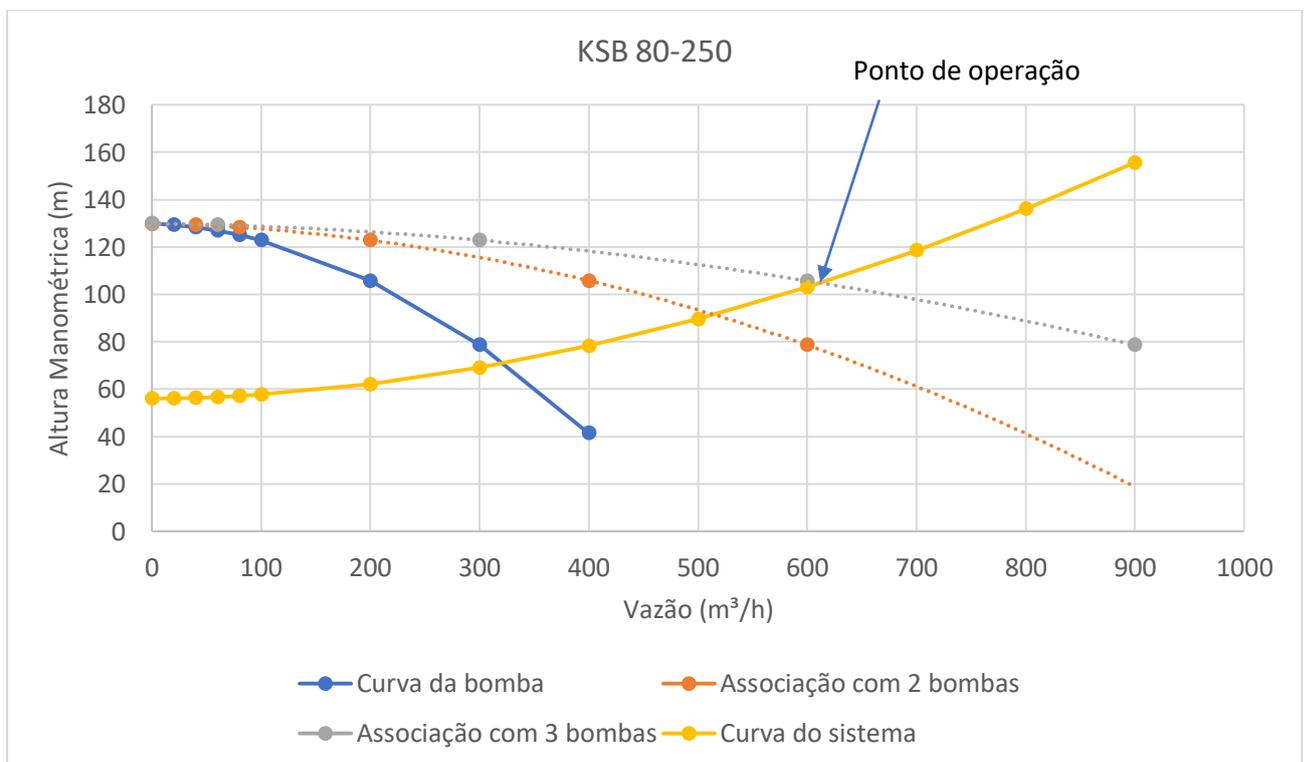


Figura 33: Associação de bombas em paralelo.
Fonte: Pesquisa direta, 2019.

Considerando a instalação de 3 bombas com características iguais em paralelo, a Figura 34 representa sua instalação.

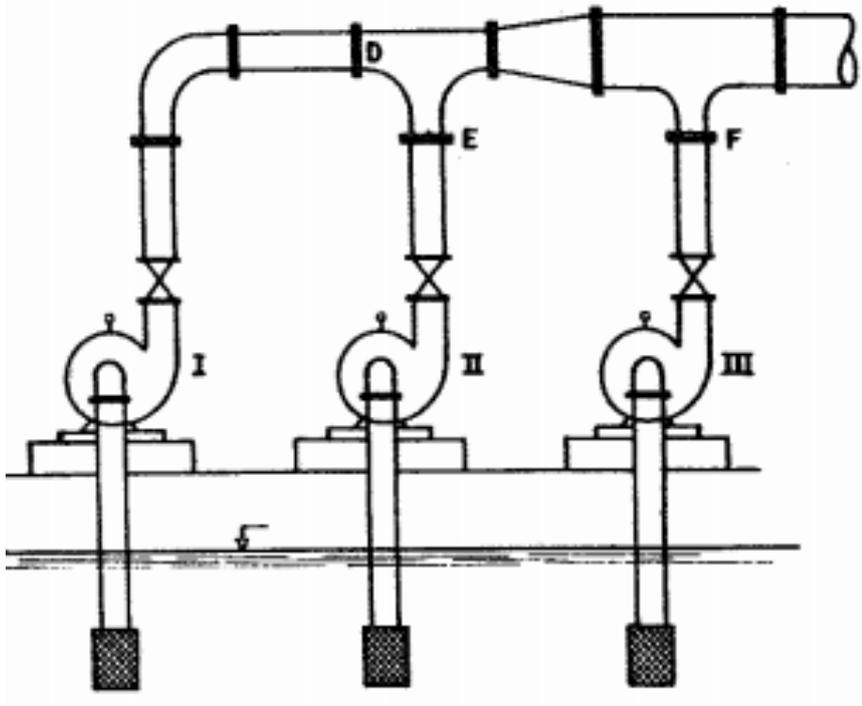


Figura 34: Instalação em paralelo.
Fonte: MACINTYRE, 1997.

Para a implantação do tipo de bomba selecionado, deve-se atentar para as diferenças de diâmetros da bomba e da tubulação tanto de recalque quanto da sucção. Quando houver a necessidade de redução de diâmetro, essa faz-se do tipo excêntrica, montada com o cone para baixo. A ligação do recalque ao flange da bomba deverá ser executada com uma redução concêntrica. A Figura 35 ilustra a montagem.

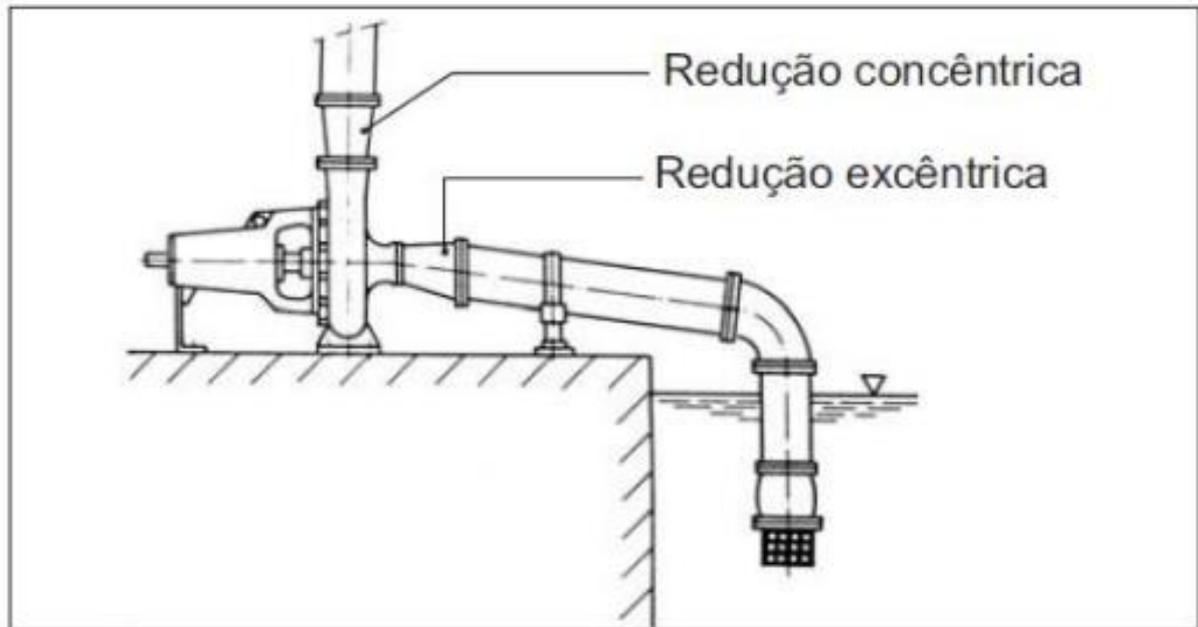


Figura 35: Conexão bomba e tubulação em sucção negativa.
Fonte: Manual de seleção KSB, 2019.

4.7 Verificação da ocorrência de cavitação

Outro fator importante, é o cálculo do $NPSH_d$ (sistema) que deve ser maior que o $NPSH_r$ (bomba) e pode ser calculado através da equação 28. Para $p_{atm} = 8,9956$ m.c.a., $p_v = 0,25$ m.c.a., $H_{gs} = 2$ m e $\Delta P = 0,363$ m, a Equação 28 fornece um $NPSH_d$ igual a 6,3826 m.c.a. sendo maior que o $NPSH_r$ do maior rotor disponível no valor de 3 m.c.a.

Tabela 15: Pressão atmosférica (p_{atm}) em função da altura em (m)

Altitude (m)	Pressão atmosférica (m.c.a.)
0	10,33
300	9,96
600	9,59
900	9,22
1200	8,88
1500	8,54
1800	8,2
2100	7,89
2400	7,58
2700	7,31
3000	7,03

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL, 2009.

Tabela 16: Pressão de vapor da água (pv) em função da temperatura em (m)

Temperatura (°C)	Peso específico (kN/m ³)	Pressão de vapor (m.c.a.)
15	9,789	0,17
20	9,789	0,25
25	9,777	0,33
30	9,764	0,44
40	9,73	0,76
50	9,689	1,26
60	9,642	2,03
70	9,589	3,2
80	9,53	4,96
90	9,466	7,18
100	9,399	10,33

Fonte: Adaptado de ELETROBRÁS/PROCEL, 2009.

Realizando os cálculos através da Equação 29, observa-se que a condição $NPSH_d > NPSH_r$ é satisfeita, concluindo-se que não haverá cavitação e que não se faz necessário nenhuma alteração na tubulação de sucção.

4.8 Considerações finais

A determinação do diâmetro da adutora de acordo com Tsutiya (2006), é feita considerando aspectos econômicos e financeiros, sendo determinado o diâmetro que conduz ao mínimo os custos de implantação. Para o projeto proposto a aquisição do conjunto moto-bomba adequado ao valor do diâmetro dimensionado teve-se de modo a associar-se para atingir os parâmetros requeridos.

Com a adição de mais duas linhas de sucção, com seus respectivos acessórios, além de conexões do tipo junção para a linha de recalque, tem-se alteração na perda de carga do sistema. Porém a alteração de perda de carga em relação ao sistema não se altera drasticamente a ponto de afetar a eficiência do conjunto. A adição das linhas promove um aumento de $\Delta H_s = 0,8483$ m de perda de carga na sucção, e com um aumento de $\Delta H_r = 0,6998$ m de perda no recalque.

O dimensionamento de uma rede de abastecimento de água deve levar em consideração as necessidades de água, estimadas por métodos estatísticos ou analíticos. O volume de água necessário para uma coletividade depende da população e das características das localidades a servir além de serviços municipais agrícolas e industriais. De acordo com o catálogo de

tubulações da Saint-Gobain utilizado no dimensionamento do sistema de bombeamento e adutora, pressupomos as quantidades medias seguintes por habitantes e por dia:

- Comunidades rurais: 130 a 180 litros (não incluindo as necessidades agrícolas)
- Comunidades medias: 200 a 250 litros (incluindo os serviços municipais); e
- Cidades: 300 a 450 litros (incluindo os serviços municipais), podendo ser maiores nas grandes cidades.

Por meio do levantamento de informações junto à companhia de saneamento ambiental do distrito federal (CAESB), a vazão de projeto da estação de tratamento de água de Brazlândia é equivalente a 165 l/s. Isso ocasiona em um volume de 14.256.000 l/dia, sendo assim, para uma população de 54 mil habitantes, o consumo é de 264 litros de água por habitante por dia no município de Brazlândia, caracterizando na transição de comunidade média para cidade de acordo com os dados apresentados.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo finaliza o trabalho proposto apresentando as conclusões alcançadas através do estudo e recomendações para trabalhos futuros.

5.1 Conclusões

O estudo foi de grande importância por possibilitar o dimensionamento de um sistema de bombeamento e adutora de água bruta empregando equipamentos e acessórios devidamente selecionados para o cenário proposto. O sistema de bombeamento de água bruta para a cidade de Brazlândia no distrito federal, com um extenso comprimento de tubulação e uma vazão considerável de uma cidade de médio porte, demonstrou os parâmetros que interferem diretamente no seu dimensionamento.

Como este sistema faz parte de um conjunto maior, o abastecimento de água, buscou-se representá-lo, com auxílio de uma sequência de etapas que o integram, dos métodos utilizados da captação ao tratamento de água bruta e da problemática das perdas no processo.

O dimensionamento foi norteado considerando o método das velocidades econômicas para este sistema, pois considerou-se obter um custo mínimo. As velocidades de sucção inferior a 1,5 m/s, velocidades de recalque inferior a 2,5 m/s, ou seja, dentro dos limites e tubulações com valores adequados do coeficiente “C”, de Hazen-Williams e do fator de atrito “f”, visando a obtenção do sistema de bombeamento.

Em posse dos dados de vazão requerida, diâmetros das tubulações e suas respectivas velocidades, posteriormente foram calculadas as perdas de carga do sistema, utilizando o método direto, Ábaco de Hazen-Williams, e método dos comprimentos equivalentes com auxílio da fórmula de Darcy-Weiss Bach.

Objetivando a proposição da pesquisa no sentido da elaboração e dimensionamento de um sistema de bombeamento e adutora de água bruta, selecionou-se os equipamentos disponíveis comercialmente próprios para esse tipo de sistema, procurando uma adequação sustentável e viável para a implantação do projeto.

A escolha do cenário estudado relaciona-se com a proposição do trabalho a partir das alturas manométricas e vazões necessárias para suprir a demanda da cidade, apresentando apenas o consumo. A peculiaridade de aplicação dos equipamentos no sistema permitiu além

do estudo das características operacionais da bomba centrífuga, o estudo destas configurações de instalação e operação.

5.2 Proposições para trabalhos futuros

Como recomendações para novos trabalhos na área pode-se apontar:

- Análise do projeto do sistema com a utilização de uma ou mais estações elevatórias entre a captação e a estação de tratamento de água bruta;
- Análise da viabilidade econômica de implantação, manutenção e retorno do investimento considerando um horizonte de projeto a longo prazo;
- Análise do uso de inversores de frequência na busca de um melhor ponto de rotação da bomba para aumento de eficiência.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ANA – Agência Nacional de Águas. **Região Metropolitana da RIDE DF**. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/analise/RegiaoMetropolitana.aspx?rme=1>>. Acesso em: 17/08/2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12215: **Projeto de adutora de água Parte 1: Conduto forçado**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7675: **Tubos e conexões de ferro dúctil e acessórios para sistemas de adução e distribuição de água – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2005.

ATLASCAESB. **Estações de tratamento de água**. Disponível em: <<http://atlascaesb.maps.arcgis.com/apps/MapJournal/index.html?appid=4d06131962ca482a9d51502c630e195f>>. Acesso em: 17/08/2018.

CARVALHO, D.F. **Instalações elevatórias: bombas**. 2 ed. Departamento de engenharia civil, editora IPUC, Belo Horizonte, 1977.

CATÁLOGO SAINT-GOBAIN. **Canalização**. S/d. Disponível em: <https://www.academia.edu/14487675/Catalogo_saintgobain_canalizacao>. Acesso em: 12/06/2019

CNI – Confederação Nacional da Indústria. **A evolução do setor elétrico brasileiro rumo à sustentabilidade**. Confederação Nacional da Indústria, Fórum de Meio Ambiente do Setor Elétrico – Brasília: CNI, 2017.

CONHEÇA A RA. **Brazlândia.df.gov**. 2019. Disponível em: <<http://www.brazlandia.df.gov.br/category/sobre-a-ra/conheca-a-ra/>>. Acesso em: 15/05/2019.

DEMO, P. **Metodologia do conhecimento científico**. São Paulo: Atlas, 2000.

DUTRA, J. B. A. **Eficiência energética no controle da vazão em sistemas de bombeamento – Uso de válvula e controle de velocidade**. Engenharia Elétrica: Consultoria & Treinamento. Paraíba do Sul, 2005.

ELETROBRÁS – **Portal da Eletrobrás > Áreas de Atuação > Programas de Governo**. Brasília, 2018. Disponível em: <<http://eletrobras.com/pt/Paginas/Programas-de-Governo.aspx>>.

ELETROBRÁS/PROCEL. **Bombas: guia básico**. Brasília: IEL/NC, 2009.

ELETRÓBRÁS/PROCEL. CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS, FUPAI/EFFICIENTIA – **Eficiência Energética em Sistemas de Bombeamento**. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2016**. Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro: EPE, 2017.

EPE – EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balço energético nacional 2019**. Ministério de Minas e Energia – MME. Rio de Janeiro: EPE, 2019. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-377/topico-470/Relat%C3%B3rio%20S%C3%ADntese%20BEN%202019-ab%202018.pdf>>. Acesso em: 09/07/2019.

FILHO, A. V. **O Brasil no Contexto Energético Mundial**. NAIPE – Núcleo de análise interdisciplinar de políticas e estratégias da universidade de São Paulo. Vol. 6, USP, 2009.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

GOLDENBERG, José; PRADO, Luiz Tadeu Siqueira. **Reforma e crise do setor elétrico no período FHC**. Tempo soc., São Paulo, v. 15, n. 2, p. 219-235, Nov. 2003 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-20702003000200009&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 09/05/2019.

GOMES, H. P. **Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes elevatórias**. Ed. 2. Editora universitária, UFPB, 2004.

JAMES, K.; CAMPBELL, S. L.; GODLOVE, C. E. **Água e Energia: Aproveitando as oportunidades de eficiência de água e energia não exploradas nos sistemas municipais**. Washington D.C.: Alliance to Save Energy, 2002.

KSB Bombas e Válvulas. **MANUAL DE CURVAS SUPLEMENTARES MEGANORM – A2742 0P_8**. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=manual_curvas_linha_mega_a2740_42_44_1p_e_s_7.pdf&tipo=curvas>. Acesso em: 13/06/2019.

KSB Bombas e Válvulas. **MS_MEGAFLOW_A2370_8P_1**. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=ms_megaflow_a2370_8p_1.pdf&tipo=servicos>. Acesso em: 13/06/2019.

KSB Bombas e Válvulas. **MT MEGANORM – A2742 0P_8**. Disponível em: <http://www.ksb.com.br/php/produtos/download.php?arquivo=mt_meganorm_a2742_0p_8.pdf&tipo=tecnicos>. Acesso em: 13/06/2019.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e Instalações de Bombeamento**. 2 ed. Ver. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MAPA HIDROGRÁFICO DO DISTRITO FEDERAL. **Sema.df.gov**. 2016. Disponível em: <<http://www.sema.df.gov.br/wp-conteudo/uploads/2017/09/Frente-do-Mapa-Hidrografico.pdf>> Acesso em: 15/05/2019.

MELLO, C. R., YANAGI, Jr. T. **Escolha de bombas centrífugas**. Apostila. Universidade Federal de Lavras – UFLA. S/d.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2 ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RA IV – BRAZLÂNDIA. **Codeplan.df.gov**. 2018. Disponível em: <<http://www.codeplan.df.gov.br/wp-content/uploads/2018/02/Estudo-Urbano-Ambiental-Brazil.pdf>>. Acesso em: 15/05/2019.

SOUZA, P. H. A. I. **Apresentação dos cálculos para seleção de bomba para sistema de reaproveitamento de água de poços artesianos**. Projeto de graduação – UFRJ, Rio de Janeiro, 2014.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WHITE, F. M. **Mecânica dos fluidos**. 6ª ed., Amgh editora Ltda., 2011.