IFSP – INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO

ANDRÉ MARCELO DIAS

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAIS

SÃO PAULO 2013

ANDRÉ MARCELO DIAS

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAIS

Dissertação apresentada ao Institut o Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Automação & Controle de Processos.

Orientador: Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto

SÃO PAULO 2013 AUTORIZO A REPRODUÇÃO E DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

FICHA CATALOGRÁFICA

D530 DIAS, André Marcelo.

Análise comparativa da eficiência energética entre sistemas de abastecimento de água prediais – 2013.

123 f.: il.; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Enio Carlos Segatto

Dissertação (Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo, IFSP, 2013.

- 1. Eficiência Energética 2. Motobombas 3. Bombas
- I. DIAS, André Marcelo II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo III Título

CDU 681.0



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SÃO PAULO CAMPUS SÃO PAULO

DIRETORIA GERAL DO CAMPUS SÃO PAULO Coordenadoria de Registros Escolares de Pós-Graduação

ATA DE EXAME DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Nome do Programa: Mestrado Profissional em Automação e Controle de Processos

Nome do(a) Aluno(a): André Marcelo Dias

Nome do Orientador: Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto

Nome do Co-orientador:

Título do Trabalho: "ÁNALISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE

SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAL"

Abaixo o resultado de cada participante da Banca Examinadora

Nome completo dos Participantes Titulares da Banca	Sigla da Instituição	Aprovado / Não Aprovado
Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto – Orientador	IFSP – SPO	APROVADO
Prof. Dr. Alexandre Simião Caporali	IFSP – SPO	Aprovado
Prof. Dr. Claudionor Francisco do Nascimento	UFABC	APROUADO
Nome completo do Participante Suplente da Banca	Sigla da Instituição	Aprovado / Não Aprovado
Prof. Dr. Alexandre Brincalepe Campo	IFSP – SPO	
Prof. Dr. Edmarcio Antonio Belati	UFABC	

Observações:

Considerando-o:	[X] APROVADO
	[] NÃO APROVADO

Assinaturas

São Paulo, 24 de abril de 2013

Presidente da Banca

Membro Interno

Membro Externo



Agradecimentos

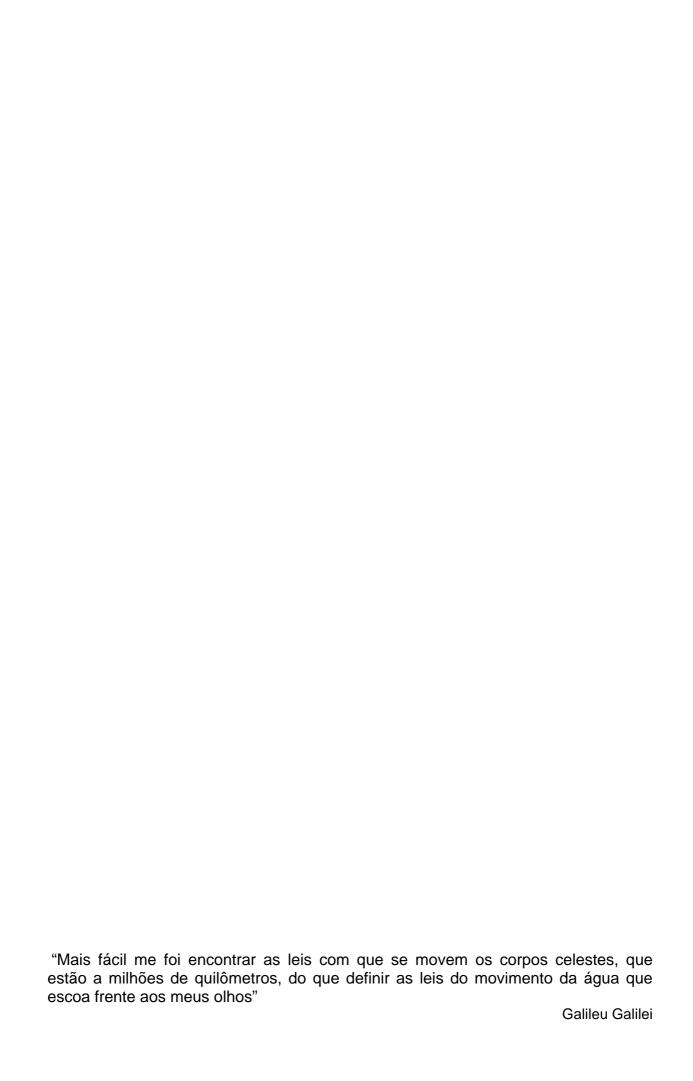
Ao meu orientador, Prof. Dr. Ênio Carlos Segatto, pela paciência e simplicidade na condução deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Alexandre Caporalli pelas valiosas dicas nas simulações computacionais necessárias.

Aos meus amigos e colegas da Wilo, juntos aos fornecedores e clientes dessa empresa, que sempre tiveram interesse e incentivaram a busca dos resultados finais da pesquisa.

À Cecília Andrade Dias, minha esposa, pelo incentivo, apoio e compreensão.

Sobretudo e, maiormente, a Deus por ter dado condições para realização deste trabalho.



Resumo

ANÁLISE COMPARATIVA DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA PREDIAIS

O objetivo principal deste trabalho foi analisar o consumo entre os sistemas de abastecimento de água predial aplicáveis no Brasil, definindo qual deles se apresenta como o mais eficiente. Assim, para realização da análise, foi delimitado um universo de 9 edifícios, dentre os mais comuns no Brasil, dotados de 8, 12 ou 16 pavimentos que, por sua vez, continham 4, 8 ou 12 unidades habitacionais em cada um. Cada edifício teve suas instalações hidráulicas dimensionadas de acordo com a norma NBR5626:1998 para posterior simulação através do software Matlab/Simulink, considerando as características de operação diária de cada edificação. Com os resultados obtidos na simulação, o consumo energético necessário para operação de cada sistema pôde ser definido. Assim, como resultado, o sistema de abastecimento predial dotado apenas de reservatório inferior e com a prumada de abastecimento dividida em zonas de pressão apresentou o menor consumo energético por metro cúbico de água elevado. Já o sistema dotado com reservatórios inferior e superior e o sistema com reservatório inferior, mas com única prumada de abastecimento, obtiveram resultados muito próximos entre si, porém, apresentaram-se menos eficiente que o primeiro. Os resultados do estudo remetem ao fato de que a divisão da prumada do abastecimento predial em segmentos faz com que o consumo de energia ocorra apenas para a elevação da água até o pavimento mais alto de cada zona de pressão abastecida. Em contrapartida, os sistemas com dois reservatórios ou com reservatório inferior e única prumada de abastecimento necessitam de mais energia porque devem elevar a água até o último pavimento da edificação. Essa característica comum justifica os resultados bastante próximos obtidos pelos dois sistemas durante as simulações realizadas.

Palavras-chave: Sistemas de abastecimento prediais. Eficiência energética. Bombas. Motobombas.

Abstract

COMPARATIVE ANALYSIS ABOUT ENERGETIC EFFICIENCY BETWEEN WATER SUPPLY SYSTEMS IN BUILDINGS

The main objective of this job is to analyze the energy consumption between water supply systems that can be applied in the Brazilian buildings to define what is the most efficient between them. To do the analysis, a group with 9 buildings was defined. These buildings have 8, 12 or 16 floors with 4, 8 or 12 apartments each one. The hydraulic installation of each building was dimensioned according the Brazilian standard NBR5626:1998 and it was simulated trough Matlab/Simulink software, considering the daily operation characteristics. With the simulation results and considering the characteristic of operation, the needed energy consumption can be defined. Then, the system endowed of only lower reservoir with pipe line divided in pressure zones presented as the most efficient relationship between energy consumption and amount of pumped water. The other systems analyzed presented near results between them but with efficiency lower than the first system. The results show that with the division of pipe line in segments, the energetic consumption is destined only to pump water up to top floor of each supplied pressure zone. By another way, systems that have only one pipe line should pump water up to highest floor of the building. This common characteristic justifies the close results obtained by both systems during the simulation.

Key words: Water supply systems. Energetic efficiency. Pumps. Motor pumps.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2-1 - Roda d'água chinesa21
Figura 2-2 - Roda d'água de Leupold22
Figura 2-3 - Rosca de Arquimedes22
Figura 2-4 - Partes do conjunto moto-bomba25
Figura 2-5 - Curva de desempenho de bomba25
Figura 2-6 - Curva de eficiência da bomba27
Figura 2-7 - Definição de perda de carga30
Figura 2-8 - Curva característica do sistema34
Figura 2-9 - Ponto de operação do sistema35
Figura 2-10 - Alteração do ponto de operação pela manobra da válvula36
Figura 2-11 - Esquema de instalação com by pass37
Figura 2-12 - Alteração do ponto de operação pela instalação de by pass37
Figura 2-13 - Ajuste do ponto de operação por redução do diâmetro do rotor39
Figura 2-14 - Variação no rendimento devido variação do rotor40
Figura 2-15 - Variação no rendimento devido à variação de velocidade42
Figura 3-1 - Sistema de abastecimento direto sem bombeamento46
Figura 3-2 - Sistema de abastecimento direto com bombeamento47
Figura 3-3 – Sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento49
Figura 3-4 - Sistema de abastecimento indireto com reservatório e bombeamento50
Figura 3-5 - Sistema de abastecimento indireto RI-RS,51
Figura 3-6 - Sistema RI52
Figura 3-7 - Sistemas diretos - síntese54
Figura 3-8 - Sistemas indiretos – síntese55
Figura 3-9 - Perfil de consumo residencial horário60
Figura 3-10 - Edificação com sistema RI dividido em zonas de pressão62
Figura 4-1 – Curva e equação da bomba MVI403 obtida através do Matlab74
Figura 4-2 - Ponto de operação corrigido para a edificação com 8 pavimentos e 4
apartamentos cada78
Figura 4-3 - Limites para a variação de velocidade80
Figura 4-4 – Esquema em blocos simplificado para simulação do sistema RI-RS88
Figura 4-5 - Esquema em blocos simplificado para simulação do sistema RI88
Figura 5-1 - Consumo energético no sistema RI-RS92

a96	a 5-2 - Consumo energético no sistema RI com zona única
em zonas de pressão	ra 5-3 - Consumo energético no sistema RI com divisão em
106	
sumo das edificações	a 6-1 - Resultado comparativo entre as médias de consur
107	

LISTA DE TABELAS

Tabela 2-1- Coeficientes "C" de Hazen-Williams32
Tabela 3-1 - Consumo per capita de água57
Tabela 3-2 - Definição da população do edifício57
Tabela 3-3 - Pesos relativos59
Tabela 4-1 - Pontos de consumo previstos para o modelo64
Tabela 4-2 - Consumo diário das edificações analisadas65
Tabela 4-3 - Altura manométrica necessária - sistema RI-RS69
Tabela 4-4 - Altura manométrica necessária - sistema RI70
Tabela 4-5 - Altura manométrica necessária - sistema RI com zonas de pressão70
Tabela 4-6 - Vazão da moto-bomba nas edificações com sistema RI-RS71
Tabela 4-7 - Pontos hidráulicos instalados no prédio com 8 pavimentos com 4
apartamentos cada71
Tabela 4-8 - Máxima vazão instantânea - Sistema RI sem zoneamento de pressão 72
Tabela 4-9 - Máxima vazão instantânea por zona de pressão no sistema RI72
Tabela 4-10 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI-RS74
Tabela 4-11 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI75
Tabela 4-12 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI com
zonas de pressão76
Tabela 4-13 - Pontos de operação corrigidos79
Tabela 4-14 - Divisão do abastecimento em faixas de operações81
Tabela 4-15 - Exemplo de operação diária da moto-bomba no sistema RI83
Tabela 4-16 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI-RS85
Tabela 4-17 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única86
Tabela 4-18 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única87
Tabela 5-1 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos dotados de
sistema RI-RS89
Tabela 5-2 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos dotados de
sistema RI-RS90
Tabela 5-3 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos dotados de
sistema RI-RS91
Tabela 5-4 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos e sistema RI
com zona única93

Tabela 5-5 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos e sistema
RI com zona única94
Tabela 5-6 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos e sistema
RI com zona única95
Tabela 5-7 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 4
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão97
Tabela 5-8 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 8
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão98
Tabela 5-9 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 12
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão99
Tabela 5-10 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 4
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão100
Tabela 5-11 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 8
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão101
Tabela 5-12 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 12
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão102
Tabela 5-13 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 4
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão103
Tabela 5-14 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 8
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão104
Tabela 5-15 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 12
apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão105

LISTA DE ABREVIAÇÕES

Ph Potência Hidráulica

Q Vazão

 ρ Densidade

H Altura manométrica ou de elevação

g Aceleração Gravitacional

ηp Rendimento da bomba

B.E.P. Best Efficiency Point (ponto de melhor eficiência)

N Rotação

F Frequência

P Potência

S Escorregamento

P1 Potência elétrica consumida

P2 Potência mecânica no eixo

ηm Rendimento do motor

D Diâmetro

 V_{max} Velocidade máxima do fluído

V Velocidade do fluído

hf Perdas de carga total

J Perdas de carga unitária

C Coeficiente adimensional para cálculo das perdas de carga

 H_{geo} Altura geométrica

Pm Potência motriz

 H_{cons} Pressão no ponto de consumo

K Constante

SUMÁRIO

Agr	adecime	entos	6
Res	umo		8
Abs	tract		9
1	Introdu	ıção	18
1.1	Obje	tivos	19
	1.1.1	Objetivo geral	19
	1.1.2	Objetivos específicos	19
1.2	Estru	tura e conteúdo do trabalho	19
2	Sistem	as de bombeamento	21
2.1	Princ	rípios dos sistemas de bombeamento	21
2.2	Bom	bas e sistemas de bombeamento	23
2.3	Moto	p-bombas Centrífugas	24
	2.3.1	Curva de desempenho das bombas	25
	2.3.2	Eficiência hidráulica de uma bomba	26
	2.3.3	Curva vazão x eficiência	27
	2.3.4	Motores para acionamento das bombas	28
2.4	Conj	unto tubulação e conexões	29
	2.4.1	Dimensionamento do diâmetro da tubulação	29
	2.4.2	Velocidade	29
	2.4.3	Perdas de carga	30
	2.4.4	O método empírico e a multiplicidade de fórmulas	31
	2.4.5	Fórmula de Hazen-Williams	32
	2.4.6	Fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao	33
	2.4.7	Perdas de carga localizadas	33
2.5	Curv	as características de sistemas de bombeamento	34
	2.5.1	Controle de desempenho das bombas	35

3	Sistemas prediais de abastecimento de água fria		
3.1	Defin	nição	44
3.2	Tipo	logias de sistemas de abastecimento prediais	45
	3.2.1	Sistema de abastecimento direto	45
	3.2.2	Sistema de abastecimento indireto	48
3.3	Esco	lha do sistema a ser utilizado	53
	3.3.1	Sistemas adequados para aplicações Brasileiras	53
3.4	Variá	áveis dos sistemas prediais de abastecimento	55
	3.4.1	Vazão de consumo	55
	3.4.2	Dimensionamento dos reservatórios	58
	3.4.3	Dimensionamento da vazão instantânea máxima provável.	58
	3.4.4	Distribuição horo-sazonal do consumo de água nas edificações	60
	3.4.5	Pressão dinâmica e estática nas instalações prediais	60
	3.4.6	Divisão da prumada em zonas de pressão	61
3.5	sinte	se das etapas de elaboração de projetos	62
4	Dimen	sionamento dos sistemas modelos	63
4.1	Perfi	l do modelo adotado para o estudo	63
4.2	Rese	rva mínima e consumo diário	64
4.3	Altur	ra manométrica para o sistema de bombeamento	65
	4.3.1	Pressão na sucção da bomba	65
	4.3.2	Pressões nos pontos de consumo	65
	4.3.3	Perdas de carga	66
	4.3.4	Divisão da edificação em zonas de pressão	66
	4.3.5	Dimensionando a altura manométrica	67
4.4	Vazã	o de abastecimento	70
4.5	Divis	são do consumo diário em horas	72
4.6	Seleç	ão das moto-bombas	73

4.7	7 Particularidades do sistema RI-RS		
4.8	Partio	cularidades do sistema RI	79
	4.8.1	Frequência mínima de operação	79
	4.8.2	Operação da bomba (divisão sazonal)	80
4.9	Dime	ensionamentos dos tubos hidráulicos	84
4.10) Sir	nulações	88
5	Resulta	dos das simulações	89
5.1	Siste	ma RI-RS	89
	5.1.1	Edificios com 8 pavimentos	89
	5.1.2	Edificios com 12 pavimentos	90
	5.1.3	Edificios com 16 pavimentos	91
	5.1.4	Síntese dos resultados - sistema RI-RS	92
5.2	Siste	na RI com zona de pressão única	93
	5.2.1	Edificios com 8 pavimentos	93
	5.2.2	Edificios com 12 pavimentos	94
	5.2.3	Edificios com 16 pavimentos	95
	5.2.4	Síntese dos resultados – sistema RI sem divisão em zonas de pressão	95
5.3	Sister	ma RI dividido em zonas de pressão	96
	5.3.1	Edificações com 8 pavimentos.	96
	5.3.2	Edificações com 12 pavimentos.	100
	5.3.3	Edificações com 16 pavimentos.	103
	5.3.4	Síntese dos resultados – sistema RI com divisão em zonas de pressão	106
6	Análise	e conclusiva e comentários	107
6.1	Reco	mendações para estudos futuros	108
7	Referê	ncias bibliográficas	109
Ane	exo I		112
Ane	exo II		114
Ane	exo III		116

1 INTRODUÇÃO

A água potável é um nutriente essencial que não possui substituto. No entanto, para que as pessoas possam fazer um bom uso dela, é necessário que chegue aos pontos de consumo em quantidade suficiente e dentro de valores pré-determinados de pressão.

Isso implica que os projetos de instalações prediais de água devem garantir que, mesmo nos pontos hidráulicos mais desfavoráveis, existam condições plenas de consumo. Essa necessidade, aliada à tendência de verticalização das edificações, tem feito dos sistemas de bombeamento um item cada vez mais comum nos edifícios de todos os níveis sociais.

Esses sistemas podem ser concebidos de maneiras diferentes, entretanto, todas elas passam pela necessidade da aplicação das moto-bombas. Assim, segundo Almeida (2007), é justamente nesse ponto onde se encontram os maiores problemas: estima-se que 2/3 das moto-bombas instaladas estão consumindo até 60% mais energia do que o necessário.

De acordo com Chaguri Junior (2009), discussões em torno de usos finais de energia são válidas e devem ser ampliadas, porém, elas devem ser feitas incorporando análises sobre os projetos de construção da infraestrutura que vão determinar as características do uso final da edificação ao longo se sua vida útil.

Os erros conceituais no projeto, o desconhecimento dos critérios eficientes para seleção dos dispositivos, a não aplicação das tecnologias adequadas para cada perfil de edificação ou até mesmo as especificações que visam exclusivamente os custos iniciais de instalação do sistema causam os problemas operacionais que, por sua vez, trazem o desperdício de energia.

Gomes (2005) comenta que deve ser procurado o uso eficiente de energia elétrica nos sistemas elevatórios de água, enfatizando que as perdas de energia ocorrem, principalmente, por conta da baixa eficiência dos equipamentos eletromecânicos, por procedimentos operacionais inadequados e/ou por falhas na concepção de projetos.

De acordo com Haestad (2003), os problemas operacionais mais comumente encontrados nos sistemas de bombeamento, são:

- a. moto-bombas operando em pontos hidráulicos diferentes daqueles previstos no projeto;
- b. operação contínua de moto-bombas ao invés de funcionamento intermitente com ciclos de tempo planejados; e

c. sistemas com moto-bombas de velocidade variável operando em pontos de baixa eficiência energética.

O usuário, por sua vez, por desconhecimento do projeto, processo e dos conceitos agregados aos sistemas, não possui embasamento técnico para discutir e buscar soluções, ficando refém do sistema instalado e arcando com os custos de operação e manutenção.

Portanto, considerando que os sistemas de bombeamento contribuem para uma parcela significativa do consumo energético dos edificios, a aplicação da tecnologia correta para cada perfil predial aliada ao dimensionamento correto do conjunto moto-bomba são requisitos indispensáveis para sistemas eficientes de bombeamento de água em edificios com finalidades residenciais, comerciais ou industriais.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste trabalho de pesquisa é contribuir para a racionalização energética auxiliando na análise do custo do abastecimento de água nas edificações através da comparação do consumo energético dos sistemas de abastecimento de água aplicáveis nos edifícios brasileiros. Para isso, leva-se em consideração a energia mecânica necessária na movimentação das bombas aplicadas em cada um desses sistemas.

1.1.2 Objetivos específicos

Determinar qual sistema de abastecimento predial, dentre os aplicáveis no Brasil é o mais eficiente.

Sugerir modificações nos projetos e procedimentos de operação dos sistemas hidráulicos prediais com vistas para a melhoria da eficiência energética.

1.2 ESTRUTURA E CONTEÚDO DO TRABALHO

Há muitas variações na concepção, dimensionamento, aplicação ou operação dos sistemas de abastecimento prediais. Entretanto, as análises realizadas sempre vão considerar as configurações mais elementares desses sistemas, sem deixar de atender, integralmente, as normas técnicas brasileiras que regem o setor.

Essa dissertação é organizada em 6 capítulos. Após o capítulo introdutório, o Capítulo 2 mostra os sistemas de bombeamento e suas partes, compreendendo as bombas com suas características funcionais e representações gráficas; também apresenta o conjunto de

tubulação e seus acessórios, com os cálculos das perdas de carga geral e localizada e, finalmente, os meios para determinação da curva teórica e controle do desempenho dos sistemas.

O Capítulo 3 é focado nas tecnologias disponíveis para os sistemas prediais com suas características e aplicabilidade à realidade brasileira, mas também apresenta os pontos principais para dimensionamento de uma instalação de acordo com a norma NBR5626:1998 - Instalação Predial de Água Fria.

As premissas adotadas para a simulação dos sistemas, bem com o dimensionamento dos modelos utilizados são apresentados no Capítulo 4.

No Capítulo 5 estão presentes os resultados obtidos nas simulações realizadas através do *software Matlab* e *Simulink*, divididos de acordo com as características das edificações estudadas.

Finalmente, uma análise conclusiva é apresentada no capítulo 6, juntamente com algumas sugestões de oportunidades de otimização da operação do sistema e algumas recomendações para estudos futuros.

2 SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Segundo Wilo (2005), ao pensar em bombas e sua história, observa-se que, desde os tempos mais remotos, o homem tem procurado meios técnicos de bombeamento de fluidos, particularmente a água, para um nível superior. Isso foi usado tanto para irrigar campos como para preencher os fossos que cercavam as cidades e os castelos.

Com o passar dos tempos, os costumes e a atividade humana em geral mudaram e, com isso, a necessidade da elevação ou da movimentação dos fluídos aumentou. Entretanto, segundo Girdhar (2005), os princípios fundamentais da operação das bombas resistiram à evolução dos tempos.

2.1 PRINCÍPIOS DOS SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

De acordo com Chesterton (2000) e Wilo (2005), nossos ancestrais pré-históricos criaram uma roda d'água com vasos de barro fixos na sua periferia. Pessoas ou animais aplicavam energia para movimentar o conjunto e, então, elevava-se água. Esses sistemas foram usados no Egito e na China por volta de 1000 a.C., partes deles foram encontradas em escavações arqueológicas realizadas no século passado.

A figura 2-1 apresenta uma representação simplificada do funcionamento de uma roda chinesa com vasos de barro.

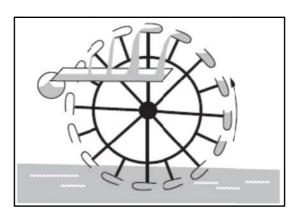


Figura 2-1 - Roda d'água chinesa Fonte: Wilo (2005)

Wilo (2005) afirma que a melhoria mais considerável realizada neste conceito foi concebida em 1724 por Jacob Leupold (1674-1727), que construiu tubos curvos fixos à roda d'água que, quando girava, transportava a água para a metade superior dela própria, assim, a

energia cinética do fluxo de água de um rio, por exemplo, servia como agente movimentador do conjunto. A figura 2-2 representa esse modelo:

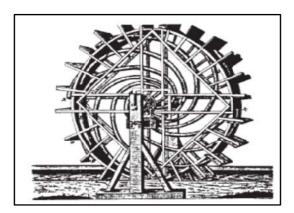


Figura 2-2 - Roda d'água de Leupold Fonte: Wilo (2005)

Uma característica particular e notável deste projeto é a forma dos tubos dobrados. Ela é bastante parecida à forma dos impulsores das bombas centrífugas atuais.

Segundo Wilo (2005), Arquimedes (287-212 a.C.), projetou a rosca que mais tarde levaria o seu nome, em 250 a.C., ele transportou água girando uma rosca sem fim dentro de um tubo.

Essas roscas transportadoras foram operadas com ângulo de inclinação entre 37° e 45° e podiam transportar água a uma altura entre 2 e 6 metros com vazões máximas de cerca de 10m³/h.

Como resultado, uma relação foi observada: quanto maior a inclinação do parafuso, maior a elevação, porém, menor a quantidade de água transportada. Na figura 2-3, pode-se verificar uma representação simplificada do sistema criado por Arquimedes.

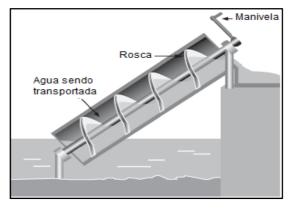


Figura 2-3 - Rosca de Arquimedes Fonte: Wilo (2005)

De acordo com Girdhar (2005), o comportamento operacional da rosca de Arquimedes também é notavelmente semelhante às bombas centrífugas de hoje: a curva da bomba que, naturalmente, era um conceito desconhecido na época, mostra a mesma relação à altura máxima a bombear e a quantidade de água transportada.

As bombas centrífugas foram idealizadas muito antes de poderem ser realizadas, pois faltava aos cientistas e construtores uma fonte de energia com alta velocidade de rotação. Conforme Girdhar (2005), os modelos de moto-bombas centrífugas que conhecemos hoje tiveram a origem durante os séculos XVII e XVIII.

Naquela época, segundo Girdhar (2005), o engenheiro britânico Thomas Savery, o físico francês Denis Papin, e o ferreiro e inventor britânico Thomas Newcomen foram os principais responsáveis pelo desenvolvimento de uma bomba d'água que usava vapor para movimentar pistões, que por sua vez, girava os rotores para impulsionar a água.

Estava inaugurada, portanto, a era das bombas centrífugas cujos princípios construtivos prevalecem até nossos dias.

2.2 BOMBAS E SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

As normas e especificações do *Hydraulic Institute of U.S.A.* estabelecem quatro classes de bombas: centrífugas, rotativas, de êmbolo e de poço profundo, no entanto, Netto (1998) afirma que as instalações de água e esgotos são geralmente equipadas com bombas centrífugas.

Segundo Wilo (2005), as bombas possuem duas funções principais:

- a. Transferir o líquido de um lugar para outro (por exemplo, a partir de um reservatório para outro reservatório mais elevado);
- b. Circular líquido em um sistema fechado (por exemplo, nos sistemas de aquecimento solar).

Em toda e qualquer aplicação, a bomba encontra-se inserida em um contexto que possui outros componentes cuja maioria influencia a eficiência energética do sistema como um todo. Conforme descrito por Netto (1998), em síntese, pode-se dividir um sistema de abastecimento predial em quatro partes básicas: estação de bombeamento, reservatórios, tubulação e válvulas.

Já segundo Tsutiya (2006) um sistema de bombeamento elevatório é o conjunto de tubulações, acessórios, bombas e motores necessários para transportar certa vazão de um reservatório inferior para um reservatório superior, sendo composto por três partes:

- a. Tubulação de sucção: canalização que liga o reservatório inferior á bomba;
- b. Conjunto elevatório: constituído por uma ou mais bombas e respectivos motores;
- c. Tubulação de recalque: canalização que liga a bomba ao reservatório superior.

2.3 MOTO-BOMBAS CENTRÍFUGAS

Conforme descrito por Girdhar (2005), uma bomba centrífuga trabalha transferindo energia cinética para o fluído e transformando-a em energia potencial no bocal de descarga da bomba. Esta ação é realizada empregando os conceitos do Princípio de Bernoulli.

O fluído presente no bocal de sucção entra em uma cavidade de diâmetro menor no centro do rotor que, movimentado pelo eixo rotativo, lança o fluído em alta velocidade em direção à periferia através dos canais formados entre as palhetas do rotor.

Ao encontrar-se com as partes estáticas, a parcela de energia cinética é convertida em energia potencial, gerando-se, então, uma pressão diferencial entre os bocais de sucção e recalque da bomba.

Quando acoplados, motor e bomba formam o chamado conjunto moto-bomba. O motor elétrico assíncrono nas versões monofásico e trifásico é o dispositivo mais aplicado na movimentação das bombas, entretanto, em algumas aplicações especiais, podem-se encontrar motores a combustão.

Ainda de acordo com Girdhar (2005) e demonstradas na figura 2-4, o conjunto motobomba centrífugo é composto por quatro partes principais:

- a. Máquina motriz: responsável pelo fornecimento de energia mecânica ao conjunto;
- b. Acoplamento: com a função de conectar a máquina motriz ao conjunto hidráulico, transmitindo a energia mecânica do primeiro ao segundo;
- c. Componentes hidráulicos, ou a bomba centrífuga propriamente dita;
- d. Placa base sendo o ponto de fixação dos componentes acima, além de proporcionar a fixação do conjunto na fundação.

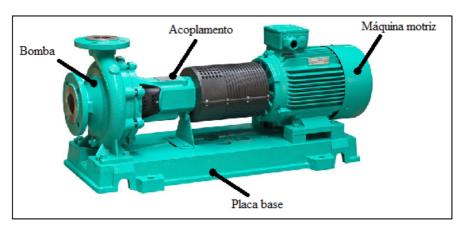


Figura 2-4 - Partes do conjunto moto-bomba

2.3.1 Curva de desempenho das bombas

Conforme Chesterton (2000) e Girdhar (2005), a curva de desempenho da bomba identifica seu modo de operação, ou seja, indica a relação entre a altura manométrica diferencial entre as conexões da bomba conforme a demanda por vazão.

Chamada simplesmente de "curva da bomba" essa representação gráfica é obtida através de ensaios laboratoriais estabelecidos por normas internacionais, sendo a mais usual, a ISO9906.

Os fabricantes usualmente informam em seus catálogos as curvas referentes às bombas de cada conjunto comercializado, conforme mostra a figura 2-5.

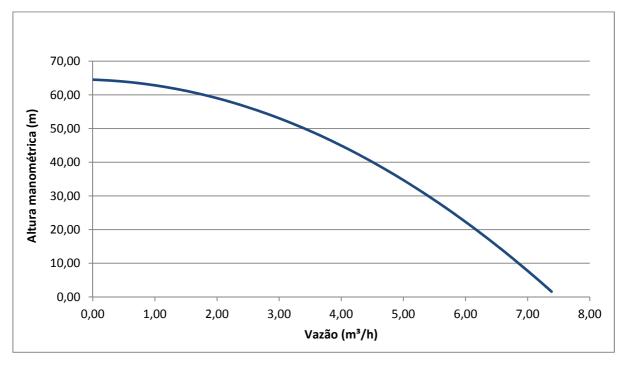


Figura 2-5 - Curva de desempenho de bomba

2.3.2 Eficiência hidráulica de uma bomba

A bomba não converte totalmente a energia cinética em energia potencial em forma de pressão, e, consequentemente, não adiciona ao fluído toda a energia mecânica recebida por intermédio do movimento rotativo do motor elétrico.

Segundo Alé (2010), nas partes internas da bomba existem três grandes grupos de perdas onde essa energia não convertida em trabalho é dissipada:

- a. Perdas hidráulicas: inclui as perdas pelo atrito do liquido com os rotores (que é função da geometria e velocidade dos impulsores) além das perdas pelas rápidas mudanças de direção do fluído sobre os rotores e a voluta.
- Perdas por recirculação nos anéis de desgaste, buchas entre estágios, entre outras;
- c. Perdas mecânicas por atrito no selo mecânico, gaxetas, rolamentos e outros dispositivos mecânicos.

É possível determinar a eficiência hidráulica de uma bomba através de testes laboratoriais com o cálculo da razão entre a potência teórica adicionada ao fluído e a potência mecânica motriz presente na transmissão entre o motor e a bomba.

Segundo Alé (2010), a potência teórica adicionada por uma bomba ao fluído pode ser determinada matematicamente através da equação 1.

$$Ph = Q x \rho x g x H \tag{1}$$

onde:

Ph = Potência hidráulica teórica [W];

Q = Vazão do sistema [m³/s];

 ρ = Densidade do liquido na temperatura de bombeamento [kg/m³];

H = Altura manométrica diferencial [m];

g = Aceleração gravitacional (adota-se 9.8) [m/s²].

Portanto, para determinar-se a potência motriz necessária para a realização do trabalho hidráulico desejado, divide-se a potência hidráulica pela eficiência da bomba, conforme representado na equação 2:

$$P2 = \frac{Ph}{\eta p} \tag{2}$$

onde:

P2 = Potência motriz necessária [KW];

Ph = Potência hidráulica teórica [KW];

 ηp = Rendimento da bomba.

2.3.3 Curva vazão x eficiência

A curva vazão versus eficiência, ou simplesmente "curva da eficiência" de uma bomba tem a forma de uma parábola e, através dela, é possível encontrar a região para operação ideal, sempre localizada no topo da curva.

O melhor ponto para operação da bomba é conhecido, em inglês, por *Best Efficiency Point* ou, simplesmente, BEP. Ele indica que a saída (vazão x altura manométrica) da bomba está em sua melhor condição em relação à entrada de potência mecânica da bomba.

De acordo com Chesterton (2000), embora todas as bombas sejam projetadas para operar sobre uma faixa de vazão e altura manométrica, deve-se sempre procurar selecionar a bomba para operação mais próxima do ponto de melhor rendimento, pois nesse ponto as forças hidráulicas internas da bomba estão balanceadas.



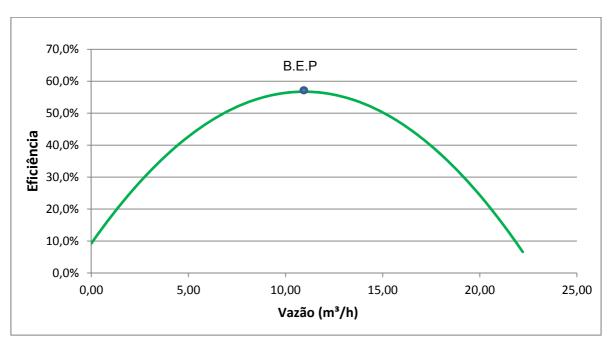


Figura 2-6 - Curva de eficiência da bomba

Conforme Chesterton (2000) a operação em pontos afastados do BEP gera o desbalanceamento das forças internas, podendo causar avarias mecânicas à bomba, como, por exemplo, a deflexão do eixo, impactando diretamente na confiabilidade do conjunto.

2.3.4 Motores para acionamento das bombas

Os motores para acionamento de bombas centrífugas, na sua grande maioria são os motores assíncronos a indução com rotor tipo gaiola de esquilo.

Conforme Gurgel (2006), o motor de indução trifásico é composto fundamentalmente de duas partes: estator e rotor, ficando caracterizado pela alimentação elétrica somente no estator. O rotor não é alimentado, somente as correntes induzidas eletromagneticamente circulam por ele, razão pela qual é chamado de motor de indução.

Segundo a Weg (2009), a relação entre a rotação, a frequência de alimentação o numero de polos e o escorregamento de um motor de indução, obedece a relação representada na equação 3:

$$N = \frac{120 \text{ F}}{P} \cdot (1 - S) \tag{3}$$

onde:

N = Velocidade de rotação mecânica [RPM];

F = Frequência fundamental da alimentação [Hz];

P = Número de polos;

S = Escorregamento %.

Ainda conforme a Weg (2009) e analogamente às bombas, os motores também possuem duas potências, sendo a relação entre elas determinado pelo rendimento elétrico do motor, conforme demonstrado na equação 4:

$$P1 = \frac{P2}{\eta m} \tag{4}$$

onde:

P1 = Potência absorvida da rede elétrica [W];

P2 = Potência mecânica fornecida pelo motor no eixo [W];

 η = Rendimento do motor.

2.4 CONJUNTO TUBULAÇÃO E CONEXÕES

No projeto de uma tubulação, a questão é determinar a quantidade de energia necessária para "empurrar" a quantidade de água desejada entre um ponto e outro dessa tubulação. (NETTO, 1998)

O correto dimensionamento das tubulações e conexões é importante para garantir ao sistema de bombeamento a operação eficiente e segura, buscando diminuir as perdas de cargas geradas pelo deslocamento do fluído dentro das tubulações.

Assim, as subseções a seguir descrevem os parâmetros que necessitam ser considerados no projeto de sistemas de bombeamento, com vistas para a eficiência energética.

2.4.1 Dimensionamento do diâmetro da tubulação

Segundo Ilha (1994), para o dimensionamento do diâmetro da tubulação, pode ser aplicada a equação da continuidade representada na equação 5:

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi V_{max}}} \tag{5}$$

onde:

D = Diâmetro mínimo da tubulação [m]

 $Q = Vazão [m^3/s]$

 V_{max} = Velocidade máxima do fluído na tubulação [m/s]

Ainda de acordo com Ilha (1994), a equação da continuidade é um prédimensionamento e, como tal, deve-se observar quando na finalização do projeto, se as perdas de carga estão dentro de valores aceitáveis.

2.4.2 Velocidade

Quando o fluído desloca por dentro das tubulações são geradas vibrações nas suas paredes. Caso a velocidade de deslocamento seja muito alta, essas vibrações produzirão ruídos.

Assim, de acordo com a norma NBR5626:1998 as tubulações devem ser dimensionadas de modo que a velocidade da água em qualquer trecho da tubulação não atinja valores superiores a 3m/s.

A equação 6 representa o meio matemático para determinação da velocidade do fluído na tubulação prevista pela NBR5626:1998.

$$V = 4.10^3 \cdot Q \cdot \pi^{-1} \cdot D^{-2} \tag{6}$$

onde:

V = Velocidade do fluído na tubulação (m/s);

Q = Vazão (1/s);

D = Diâmetro interno da tubulação (mm);

2.4.3 Perdas de carga

Conforme Basso (2006) quando, por exemplo, um líquido flui de (1) para (2) na canalização indicada na figura 2-7, parte da energia inicial se dissipa sob a forma de calor.

Pelo teorema de Bernoulli, a soma das três cargas em (2) não se equivale à carga total em (1). A diferença *hf*, que se denomina perda de carga, é de grande importância nos problemas de engenharia e, por isso, tem sido objeto de muitas investigações.

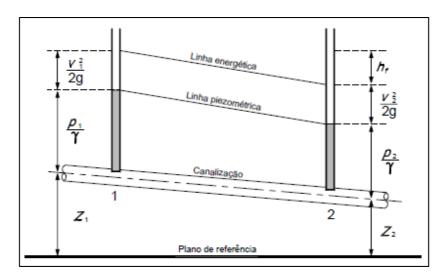


Figura 2-7 - Definição de perda de carga Fonte: Basso(2006)

Ainda de acordo com Basso (2006), na prática as canalizações não são constituídas exclusivamente por tubos retilíneos e de mesmo diâmetro. Usualmente, outras peças e conexões fazem parte do conjunto e, pelas suas formas e disposições, elevam a turbulência do fluído, provocando maior atrito e causando o choque de partículas, fatos que aumentam as perdas de carga.

Além disso, outras singularidades apresentam-se nas canalizações, tais como válvulas, registros e medidores que também são responsáveis por perdas da mesma natureza.

É relevante, portanto, considerar as perdas apresentadas a seguir:

- a. Perdas ao longo dos condutos, por resistência, ocasionadas pelo movimento da água na própria tubulação. Admite-se que essa perda seja uniforme em qualquer trecho de uma canalização de dimensões constantes, independente da posição da canalização. Por isso também podem ser chamadas de perdas contínuas;
- b. Perdas locais, localizadas ou acidentais, provocadas pelas peças especiais e demais singularidades de uma instalação. Essas perdas são relativamente importantes no caso de canalizações curtas com peças especiais. Nas canalizações longas, o seu valor normalmente é desprezível, comparado aos das perdas pela resistência ao longo dos condutos.

Em um projeto hidráulico eficiente, é imprescindível observar componentes e/ou outros fatores que influenciam nos valores das perdas de carga, pois, perdas de carga significam dissipação energética nos condutos e conexões.

2.4.4 O método empírico e a multiplicidade de fórmulas

Segundo Netto (1998), diversos pesquisadores buscaram meios para encontrar uma fórmula prática que permitisse a solução dos cálculos em relação à máxima perda de carga admissível.

Assim, a fórmula de Hazen-Williams é adotada pela maioria dos engenheiros e pesquisadores pela tradição de bons resultados e simplicidade de uso, embora alguns autores, como Ilha (1994), não sugerem a aplicação de fórmulas empíricas para determinação da perda de carga nas tubulações.

Outros autores como Karassik (1986) também sugerem que a fórmula de Hazen-Williams é a mais utilizada, sendo teoricamente correta e aplicada satisfatoriamente para qualquer tipo de conduto e de material dentro dos limites de aplicação da fórmula, aplicandose para tubos com diâmetros internos entre 50 e 300mm.

De acordo Netto (1998), para tubos menores outra fórmula empírica, desenvolvida pelos pesquisadores Fair-Whipple-Hsiao, tem se mostrado igualmente eficiente, sendo adotado por muitos projetistas.

2.4.5 Fórmula de Hazen-Williams

Assim, de acordo com Netto (1998), a fórmula empírica de Hazen-Williams pode ser representada através da equação 7:

$$J = 10,643 \cdot Q^{1,85} \cdot C^{-1,85} \cdot D^{-4,87}$$
 (7)

onde:

J = Perda de carga unitária [m/m]

 $Q = \text{Vazão } [\text{m}^3/\text{s}];$

D = Diâmetro [m];

C = Coeficiente adimensional que depende da natureza (material e estado) das paredes dos tubos conforme tabela 2-1.

Tabela 2-1- Coeficientes "C" de Hazen-Williams Fonte: Netto (1998) p.150

/ /1			
PERDA	S DE O	CARGA	
VALORES COEFICIEN	NTE C I	DE HAZEN-WILLIAMS	
MATERIAL	С	MATERIAL	С
Aço corrugado (chapa ondulada)	60	Concreto, acabamento comum	120
Aço com junta lock-bar, novos	130	Ferro fundido, novo	130
Aço com junta lock-bar, em serviço	90	Ferro fundido, em uso	90
Aço galvanizado (novos e em uso)	125	Ferro fundido, revestido com cimento	130
Aço rebitado, novo	110	Ferro fundido (FoFo) após 15-20 anos	100
Aço rebitado, em uso	85	Grés cerâmico vitrificado (manilhas)	130
Aço soldado, novo	120	Latão	120
Aço soldado, em uso	90	Tijolos, condutos bem executados	100
Aço soldado com revestimento especial	130	Vidro	140
Chumbo	130	Plásticos	140
Cimento-amianto	140		
Cobre	130		
Concreto com bom acabamento	130		

2.4.6 Fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao

De acordo com Netto (1998) a fórmula de Hazen-Williams é mais comumente aplicável para tubulações de 50 mm de diâmetro ou maiores.

Para tubos de diâmetros pequenos (1/2 a 2 polegadas), os pesquisadores Fair, Whipple e Hsiao propuseram, em 1930, fórmulas especiais que têm sido aceitas e recomendadas como as mais satisfatórias.

Sendo assim, a norma NBR5626:1998 recomenda a aplicação das fórmulas de Fair-Whipple-Hsiao para determinação das perdas de carga nas seguintes condições, conforme representado nas equações 8 e 9:

a. Para tubos hidraulicamente rugosos (tubos de aço carbono):

$$J = 19.8 \cdot 10^6 \cdot Q^{1.88} \cdot D^{-4.88} \tag{8}$$

b. Para tubos hidraulicamente lisos (plástico, cobre ou ligas de cobre)

$$J = 8,63.10^6 \cdot Q^{1,75} \cdot D^{-4,75} \tag{9}$$

Em ambas as equações, têm-se:

J = Perda de carga unitária [Kpa/m]

Q = Vazão [1/s]

D = Diâmetro [m]

2.4.7 Perdas de carga localizadas

Segundo Ilha (1994), para se determinar a perda de carga total de um sistema de tubulação deve-se encontrar, primeiramente, o comprimento equivalente das conexões.

A somatória dos comprimentos equivalentes das conexões com os comprimentos reais dos trechos lineares da tubulação gera o valor de comprimento total com o qual se determina a perda de carga do sistema, aplicando-se as fórmulas de Hazen-Williams ou Fair-Whipple-Hsiao.

Os valores dos comprimentos equivalentes máximos das conexões são determinados por norma, entretanto, cada fabricante define seus próprios valores, de acordo com suas características próprias.

O Anexo I deste trabalho mostra um exemplo de tabela para determinar o comprimento equivalente de acessórios para a rede de tubulações de sistemas prediais.

2.5 CURVAS CARACTERÍSTICAS DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Segundo Alé (2010), podem-se representar as características de um sistema de bombeamento através de uma curva característica que é formada pela contribuição da altura estática de elevação (H_{geo}), determinada pela contribuição da altura estática da sucção da bomba mais a altura estática de recalque. Pode-se ainda considerar juntamente nesse fator, quando for o caso, pressão necessária nos pontos de consumo (H_{con}).

Já a componente dinâmica da curva é função da perda de carga da tubulação que, por sua vez, é proporcional ao quadrado da velocidade e, consequentemente, proporcional ao quadrado da vazão (Q^2) .

Graficamente, pode-se representar a curva do sistema e suas componentes, conforme figura 2-8:



Figura 2-8 - Curva característica do sistema

Desta forma, conforme Alé (2010), a curva característica do sistema pode ser representada matematicamente através da equação 10

$$H = (H_{geo} + H_{con}) + kQ^2 \tag{10}$$

onde:

H = Altura manométrica necessária para elevar o liquido [m];

H_{geo} = Altura geométrica estática [m];

H_{con} = Pressão no ponto de consumo [m]

k = Constante da instalação referente à perda de carga; e

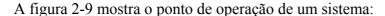
Q = Vazão do sistema [m³/h]

2.5.1 Controle de desempenho das bombas

O ponto de operação de um sistema é dado pela intersecção da curva da bomba com a curva do sistema. De acordo com Alé (2010), pode-se ajustar o ponto de operação, modificando-se a curva da bomba ou a curva do sistema.

A curva do sistema pode ser modificada através da alteração da resistência do escoamento, por exemplo, alterando a posição de uma válvula (abrindo ou fechando o registro), instalando um sistema de recirculação da vazão (*by pass*), modificando ou trocando o diâmetro da tubulação ou até mesmo, naturalmente, pelo próprio envelhecimento da tubulação.

Já a curva da bomba pode ser modificada pela alteração do diâmetro do rotor, ativando ou desativando uma bomba em um conjunto de bombas em série ou em paralelo. Também pode ser modificada a curva da bomba pela alteração da rotação do motor, procedimento no qual a vazão, altura manométrica e potência também são alteradas.



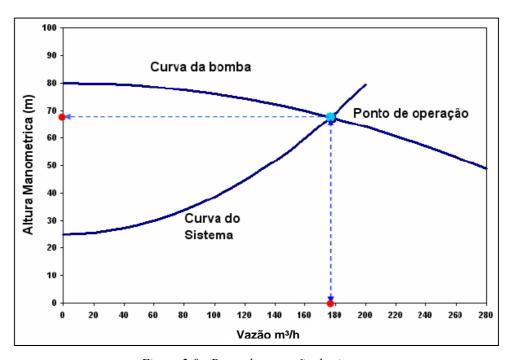


Figura 2-9 - Ponto de operação do sistema Fonte: Alé (2010)

2.5.1.1 Controle do sistema por regulação da válvula

De acordo com Alé (2010) o controle da vazão pode ser realizado por regulação de uma válvula de registro a fim de ajustar a vazão para uma nova condição de operação.

Portanto, quando uma bomba opera em um determinado ponto e há a necessidade de diminuir a vazão, basta fechar gradativamente a válvula do registro para que a vazão requerida seja atingida.

Essa obstrução do escoamento produz um aumento da perda de carga que modifica a curva do sistema original deslocando o ponto de operação até a intersecção da curva da bomba com a curva do sistema modificada.

Alé (2010) afirma que essa saída não é eficiente, uma vez que o aumento da perda de carga se traduz em energia dissipada em forma de calor, ocorrendo o aumento do consumo de potência para compensar a dissipação. Neste caso a curva da bomba se mantém a mesma, somente o ponto de operação "moveu-se" para outro local, não obtendo qualquer alteração de na bomba ou no seu funcionamento, conforme é demonstrado na figura 2-10.

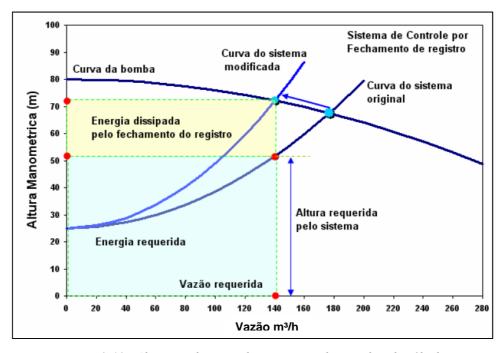


Figura 2-10 - Alteração do ponto de operação pela manobra da válvula Fonte: Alé (2010)

2.5.1.2 Controle do sistema de utilização de uma linha de recirculação (*by pass*)

Conforme esquematizado por Alé (2010), pode-se controlar a vazão abrindo um registro que permite por uma linha de recirculação do fluído. Entretanto, esse consumo adicional, é devolvido ao tanque de sucção da moto-bomba.

Desta forma, aumenta-se a vazão da moto-bomba, deslocando o ponto de operação para a direita, diminuindo assim, a altura manométrica fornecida pela bomba.

Em alguns casos essa solução pode ser aplicada com razoável eficiência, especialmente quando é possível levar a bomba a operar na área de melhor rendimento.

A figura 2-11 representa essa instalação:

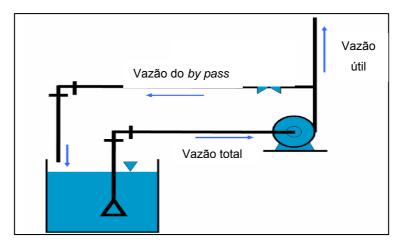


Figura 2-11 - Esquema de instalação com by pass Fonte: Alé (2010)

A figura 2-12 representa o efeito da instalação de *by pass* no ponto operacional do sistema.

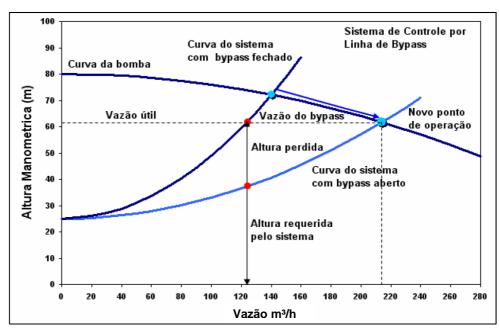


Figura 2-12 - Alteração do ponto de operação pela instalação de by pass Fonte: Alé (2010)

Nas edificações, entretanto, a instalação de sistemas com *by pass* não é muito aplicada em virtude de possibilitarem soluções mais eficientes.

2.5.1.3 Controle do sistema por mudança no diâmetro do rotor

De acordo com Alé (2010) e Girdhar (2005) a curva da bomba pode ser modificada trocando ou reduzindo o diâmetro do rotor original, ambos os procedimentos permitem adequar o desempenho da bomba para um determinado ponto de operação.

Esta solução é aplicável em alguns tipos de bombas, por exemplo, para as normalizadas, bipartidas e outros modelos cujos rotores são fundidos ou injetados.

Para alguns tipos de bombas cujos rotores são estampados, não é possível realizar a usinagem do rotor, não também sendo possível esse tipo de ajuste no sistema.

De acordo com Bachus (2003), quando o diâmetro é reduzido, a vazão reduz proporcionalmente, sendo que a pressão reduz com a mesma variação elevada ao quadrado e o consumo energético é reduzido com a variação elevada ao cubo.

As equações 11,12 e 13 representam matematicamente essa variação:

$$\frac{Q1}{Q2} = \frac{D1}{D2} \tag{11}$$

onde:

Ql = Vazão nominal com o rotor original [m³/h];

Q2= Vazão nominal com o rotor reduzido [m³/h];

D1= Diâmetro do rotor original [mm];

D2= Diâmetro do rotor reduzido [mm].

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{D1}{D2}\right)^2 \tag{12}$$

onde:

H1= Altura manométrica nominal com o rotor original [m];

H2= Altura manométrica com o rotor reduzido [m];

D1= Diâmetro do rotor original [mm];

D2= Diâmetro do rotor reduzido [mm].

$$\frac{Pm1}{Pm2} = \left(\frac{D1}{D2}\right)^3 \tag{13}$$

onde:

Pm1= Potencia motriz necessária com o rotor original [W];

Pm2= Potência motriz necessária com o rotor reduzido [W];

D1= Diâmetro do rotor original [mm];

D2= Diâmetro do rotor reduzido[mm].

O gráfico da figura 2-13 demonstra o deslocamento do ponto de operação do sistema quando na usinagem do rotor:

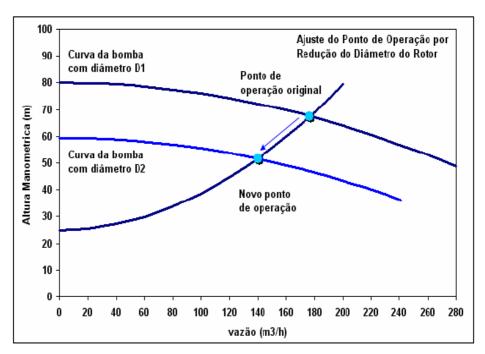


Figura 2-13 - Ajuste do ponto de operação por redução do diâmetro do rotor Fonte: Alé (2010)

Alé (2010) afirma que a redução do diâmetro do rotor provoca uma redução no rendimento da bomba. Esse fenômeno fica ainda mais acentuado quando a curva do sistema é mais plana.

A figura 2-14 a seguir demonstra os efeitos da redução do diâmetro do rotor na eficiência da bomba.

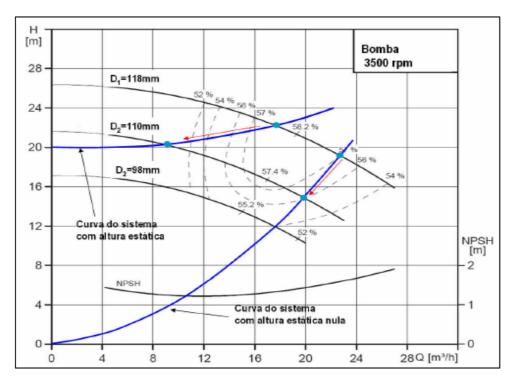


Figura 2-14 - Variação no rendimento devido variação do rotor Fonte: Alé (2010)

2.5.1.4 Controle do sistema por ajuste de rotação

Esse controle é o mais flexível de todos os apresentados, pois, com a aplicação dos conversores de frequência, é simples e rápida a alteração dos valores da rotação do motor, e por consequência, da bomba.

De acordo com a Wilo (2008), através das leis da similaridade, é possível verificar que uma determinada bomba pode apresentar diferentes curvas quando sua rotação é modificada.

Desta forma, conhecendo as condições de operação para uma determinada rotação (N1), pode-se determinar as novas condições para uma nova rotação (N2) sendo que a variação da vazão é diretamente proporcional à variação da rotação.

Por sua vez, a altura manométrica varia proporcionalmente ao quadrado da variação da rotação e a potência varia proporcionalmente ao cubo da variação da rotação.

Conforme Alé (2010), por exemplo, para uma redução de 50% da rotação a bomba fornece metade da vazão, uma altura manométrica de 25% do valor original e absorve 12,5% da potência.

As equações 14,15 e 16 representam matematicamente essa variação:

$$\frac{Q1}{O2} = \frac{N1}{N2} \tag{14}$$

onde:

Q1= Vazão nominal com o rotor original [m³/h];

Q2= Vazão nominal com o rotor reduzido [m³/h];

N1= Rotação original [R.P.M.];

N2= Rotação alterada [R.P.M.].

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^2 \tag{15}$$

onde:

H1= Altura manométrica nominal com o rotor original [m];

H2= Altura manométrica com o rotor reduzido [m];

N1= Rotação original [R.P.M.];

N2= Rotação alterada [R.P.M.];

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{P1}{P2}\right)^3 \tag{16}$$

onde:

P1= Potencia motriz necessária com o rotor original [W];

P2= Potência motriz necessária com o rotor reduzido [W];

N1= Rotação original [R.P.M.];

N2= Rotação alterada [R.P.M.].

Segundo Alé (2010) de maneira similar ao comportamento quando nos casos de usinagem do rotor, quanto maiores os valores da altura estática, maior a variação no rendimento hidráulico.

Esse fenômeno ocorre pelo fato das perdas de cargas se tornarem menos relevantes na determinação matemática da altura manométrica total, levando a curva de sistemas ser mais plana nos pontos de variação de velocidade, conforme se vê no gráfico da figura 2-15.

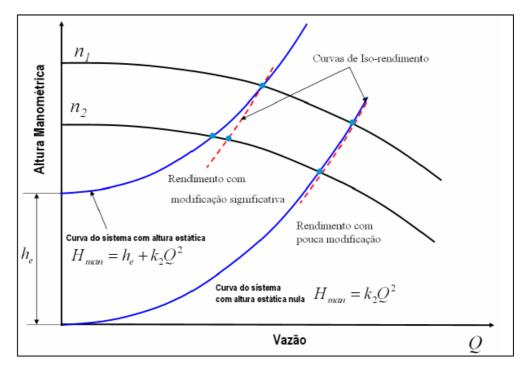


Figura 2-15 - Variação no rendimento devido à variação de velocidade Fonte: Alé (2010)

2.5.1.5 Aplicação dos conversores de frequência nos sistemas hidráulicos

Como apresentado, existem diferentes maneiras de alterar o ponto de operação de um sistema, através da alteração das características do sistema: pelo estrangulamento da válvula ou pela aplicação do *by pass*. Nestes casos, a rotação da bomba fica inalterada e a potência consumida aumenta para suprir o aumento de carga (DUTRA, 2005)

As outras maneiras já apresentadas para alteração do ponto de operação é através da alteração do diâmetro do rotor ou variando a rotação da bomba. Alterar o diâmetro do rotor envolve a usinagem do mesmo, sendo uma solução adotada quando ainda em fase de projeto, não apresentando, portanto, qualquer flexibilidade na operação do dia a dia.

Os sistemas de bombeamento prediais operam valores de vazões diferentes ao longo do dia, dependente do consumo predial, levando a operação em diferentes pontos na curva de sistema.

Essa situação remete ao fato da necessidade de obter acionamentos que se adaptem dinamicamente às características dos sistemas. Assim, a variação de velocidade do conjunto moto-bomba, ajustando o ponto de operação através das leis da similaridade torna-se o meio a ser aplicado para os sistemas prediais.

Conforme Tsutiya (2006) o conversor de frequência é um equipamento elétrico capaz de produzir uma variação nos valores de frequência elétrica que alimenta o motor promovendo uma variação de sua rotação.

Coura (2007) afirma que há outras vantagens associadas ao uso do variador de frequência como a manutenção do fator de potência próximo de um, eliminando a necessidade de correção de fator de potência por meio de capacitores e a limitação da corrente de partida do motor.

Assim, a aplicação dos conversores de frequência nos sistemas de bombeamento é bastante comum, especialmente nos casos quando há a necessidade de abastecimento diretamente aos pontos de consumo da edificação.

3 SISTEMAS PREDIAIS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA FRIA

3.1 DEFINIÇÃO

De acordo com Netto (1998), define-se por sistema de abastecimento de água o conjunto de obras, equipamentos e serviços destinados ao abastecimento de água potável a uma comunidade para fins de consumo doméstico, serviços públicos, consumo industrial e outros usos. Essa água fornecida pelo sistema deverá ser em quantidade suficiente e da melhor qualidade, do ponto de vista físico, químico e bacteriológico.

Sob a questão legal, a norma NBR 5626:1998 "Instalação Predial de água fria" estabelece que:

- 5.1.2.1 As instalações prediais de água fria devem ser projetadas de modo que, durante a vida útil do edificio que as contém, atendam aos seguintes requisitos:
- a) preservar a potabilidade da água;
- b) garantir o fornecimento de água de forma contínua, em quantidade adequada e com pressões e velocidades compatíveis com o perfeito funcionamento dos aparelhos sanitários, peças de utilização e demais componentes;
- c) promover economia de água e de energia;

(...)

f) proporcionar conforto aos usuários, prevendo peças de utilização adequadamente localizadas, de fácil operação, com vazões satisfatórias e atendendo as demais exigências do usuário.

Portanto, é imprescindível sistemas de abastecimento prediais que garantam a potabilidade da água, o conforto do usuário final e que ainda promovam a economia de água e de energia.

Regras e procedimentos são estabelecidos por normas técnicas para que tais aspectos sejam respeitados, sendo que o projetista deve ter vistas para os equipamentos que serão instalados, o perfil do empreendimento, bem como a altura da edificação a ser abastecida.

Este capítulo expõe pontos importantes para o correto dimensionamento dos sistemas prediais de abastecimento de água fria.

3.2 TIPOLOGIAS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO PREDIAIS

Os sistemas de abastecimentos de água prediais podem ser configurados como diretos ou indiretos de acordo com a interligação das redes de abastecimento predial e pública.

Não existe uma obrigatoriedade de adoção, por parte das normas técnicas ou autarquias de forma a obrigar os projetistas de sistemas a adotarem um ou outro sistema de abastecimento, entretanto, algumas dessas configurações não se adaptam às realidades do sistema de abastecimento público no Brasil e, portanto, suas aplicações não são recomendadas ou, em casos mais específicos, até proibidas.

Baseando-se nas características da edificação, quer sejam sociais, físicas, de localização e/ou técnicas, os projetistas definem em conjunto com o empreendedor, qual tipologia de sistema de abastecimento deverá ser aplicado.

3.2.1 Sistema de abastecimento direto

No sistema de abastecimento direto, as peças de utilização do edificio estão ligadas diretamente aos elementos que constituem o abastecimento, ou seja, a instalação é a própria rede de distribuição (ILHA, 1994).

Conforme as condições de pressão e vazão da rede pública e com vistas às solicitações da edificação, o sistema de abastecimento direto pode conter um sistema de bombeamento para garantir as pressões necessárias nos pontos de consumo mais desfavoráveis.

Segundo a norma alemã DIN1988, os sistemas de abastecimento direto são os mais adequados para a garantia da potabilidade da água, não devendo, portanto, existir qualquer tipo de reserva de água potável na edificação, uma vez que a mesma é propícia a para contaminação do líquido.

3.2.1.1 Sistema de abastecimento direto sem bombeamento

No sistema de abastecimento direto sem bombeamento, a rede de distribuição do edifício é conectada diretamente à rede publica, devendo esta última oferecer as condições de pressão e vazão esperadas para o desempenho da instalação.

Esse tipo de abastecimento é comumente utilizado em prédios baixos como residências e pequenos estabelecimentos comerciais. Para prédios com vários pavimentos, a variação da pressão de abastecimento da rede pública em determinados horários do dia ocasiona prejuízo em relação ao conforto dos usuários.

Válvulas de retenção devem ser instaladas na edificação com o objetivo de impedir que a água retorne para a rede pública quando a pressão estiver baixa ou quando ocorrer desabastecimento. Desta forma, elimina-se o risco de contaminação da rede pública por conta de algum problema interno na rede da edificação.

A figura 3-1 representa o sistema de abastecimento direto sem bombeamento:

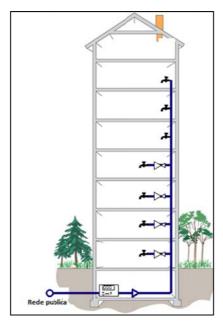


Figura 3-1 - Sistema de abastecimento direto sem bombeamento

3.2.1.2 Sistema de abastecimento direto com bombeamento

Nesse tipo de instalação, a rede do edifício também é conectada diretamente à rede pública de abastecimento.

Entretanto, devido a rede pública não oferecer condições de abastecimento com pressões suficientes, um sistema de bombeamento é instalado, a fim de aumentar a pressão e obter condições satisfatórias nos pontos mais elevados do edifício

A maior parte das autarquias responsáveis pelo abastecimento dos municípios brasileiros não permite a conexão de sistemas de bombeamento diretamente á rede pública por considerar que esses dispositivos podem causar variações de pressão na mesma. Desta forma, a aplicação do sistema de abastecimento direto com bombeamento raramente é aplicada em nosso país.

A figura 3-2 representa o sistema de abastecimento direto com bombeamento:

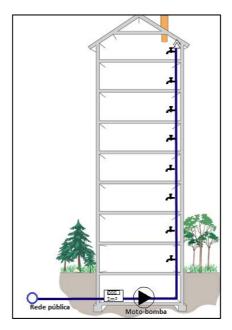


Figura 3-2 - Sistema de abastecimento direto com bombeamento

Segundo Ilha (1994), os sistemas diretos apresentam as seguintes vantagens:

- a. Dispensam reservatórios;
- Reduzem os custos estruturais da edificação em função da diminuição das cargas pela não existência de reservatórios;
- c. Permitem o aproveitamento dos espaços que seriam utilizados pelos reservatórios;
- d. Garantem uma melhor qualidade da água pelo fato de não existir armazenamento.

Por outro lado, apresentam também algumas desvantagens:

- a. Ficam inoperantes quando ocorre falha no abastecimento público;
- Necessitam de dispositivos de retenção para evitar a contaminação da rede pública;
- c. Exigem as vazões necessárias para o abastecimento predial diretamente da rede pública; podendo provocar variações de pressão na mesma, especialmente quando ocorre a partida e a parada das moto-bombas.

- d. Ocasionam o aumento dos reservatórios públicos, uma vez que os mesmos devem garantir o abastecimento nos momentos de consumo de pico da edificação;
- e. Em caso de falha do equipamento de retenção ou quando na realização de manutenção, há possibilidade de contaminação da rede pública.
- f. Devido à necessidade de operação contínua, a instalação de geradores de eletricidade para suprimento nos casos de falta de energia elétrica é necessária.

3.2.2 Sistema de abastecimento indireto

O sistema de abastecimento indireto é aquele onde, através de um conjunto de suprimento e reserva, alimenta-se a rede de distribuição (ILHA, 1994). Logo, sempre haverá ao menos um ponto para reserva de água na edificação.

De acordo com a localização dos reservatórios na edificação, os pontos de consumo podem ser pressurizados pela gravidade (reservatório sobre o edificio) ou por sistema de bombeamento (a partir de reservatórios inferiores).

Assim, o sistema de abastecimento indireto pode ser configurado de quatro maneiras diferentes:

- a. Sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento;
- b. Sistema indireto com reservatório superior com bombeamento;
- c. Sistema com reservatórios inferior e superior, simplesmente chamado por "sistema RI-RS";
- d. Sistema indireto sem reservatório superior, simplesmente chamado por "sistema RI".

Os tópicos a seguir apresentam as principais características físicas de cada uma das configurações:

3.2.2.1 Sistema de abastecimento indireto com reservatório superior sem bombeamento

De acordo com Ilha (1994), o sistema de abastecimento indireto com reservatório superior e sem bombeamento é composto por um alimentador predial com válvula e bóia, um reservatório superior e uma rede de distribuição.

Quando há consumo no prédio, ocorrea diminuição do nível da água no reservatório superior que tem a bóia aberta parcial ou totalmente, provocando o reabastecimento

diretamente através da rede pública. A pressurização para os pontos de consumo é feita pela própria gravidade.

Para que esse sistema garanta o abastecimento da edificação, o abastecimento público deve ser feito com pressão e vazão suficientes e estáveis, de forma garantir o abastecimento do reservatório superior.

Esse tipo de abastecimento é usualmente aplicado nas residências unifamiliares, mas não é comum no abastecimento predial devido à instabilidade das redes públicas brasileiras.

A figura 3-3 representa o sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento:

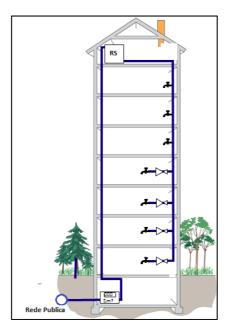


Figura 3-3 – Sistema indireto com reservatório superior sem bombeamento

3.2.2.2 Sistema de abastecimento indireto com reservatório e bombeamento

Quando o sistema público de abastecimento não possui pressão suficiente para a elevação da água até o reservatório superior, origina-se a necessidade da instalação de um sistema de bombeamento.

Nesta configuração o sistema fica constituído por um sistema de bombeamento, alimentador predial com válvula-boia, reservatório superior e pela rede de distribuição. A pressurização para os pontos de consumo também é feita pela própria gravidade.

Um limitante para esse tipo de aplicação é a perturbação na pressão da rede pública que a partida e operação do sistema de bombeamento pode causar, portanto, a maioria das autarquias não permite a aplicação desse sistema.

O sistema de bombeamento deve ser provido de um sistema para operação da motobomba considerando o nível de água no reservatório superior e também um dispositivo para proteção contra operação por falta d'água.

A figura 3-4 representa o sistema indireto RS com bombeamento.

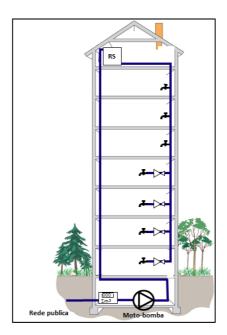


Figura 3-4 - Sistema de abastecimento indireto com reservatório e bombeamento

3.2.2.3 Sistema de abastecimento indireto com reservatórios superior e inferior

O sistema de abastecimento com reservatórios inferior e superior (RI-RS) é composto pelos próprios reservatórios juntamente com o sistema de bombeamento, alimentador predial com válvula-boia e rede de distribuição.

Para o bom funcionamento desse sistema, deve existir uma chave-boia elétrica no reservatório superior. Quando o volume de água atinge o nível mínimo ajustado, o comando para ligar o sistema de bombeamento é acionado.

Durante o funcionamento do sistema de bombeamento o nível do reservatório inferior vai diminuindo, provocando a abertura da válvula-boia do reservatório inferior para abastecimento pela rede pública. Como nos casos anteriores, a pressurização para os pontos de consumo é feita pela própria gravidade.

Quando o reservatório superior tem sua capacidade máxima atingida, a válvula-boia superior fecha e um comando para desligamento do sistema de bombeamento é emitido pela chave-boia elétrica.

O reservatório inferior também deve ser dotado de uma chave-boia elétrica que impede a operação do sistema de bombeamento sem que exista um nível mínimo de água destinado para o recalque.

A figura 3-5 representa o sistema de abastecimento indireto RI-RS:

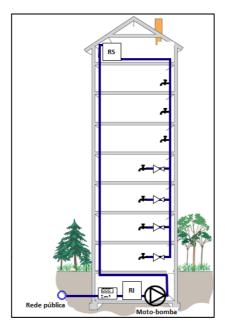


Figura 3-5 - Sistema de abastecimento indireto RI-RS,

3.2.2.4 Sistema de abastecimento indireto sem reservatório superior

Análogo ao sistema direto com bombeamento, o sistema de abastecimento indireto sem reservatório superior, ou sistema RI, é composto por um sistema de bombeamento com recursos para controle de pressão (usualmente realizados através de transmissor de pressão e conversores de frequência), reservatório inferior e rede de distribuição.

Para operação do mesmo, deve-se realizar o ajuste da pressão de saída do sistema de bombeamento que, através do controle da velocidade da moto-bomba, busca manter o valor ajustado independentemente da vazão que está sendo bombeada.

O sistema de bombeamento deve ser especificado para atendimento à vazão máxima de projeto, considerando os picos de demanda, uma vez que não há reservatórios para suprimento nos momentos mais críticos do consumo.

Do ponto de vista da pressão, deve-se dimensionar de forma que possa garantir o abastecimento confortável ao pavimento mais elevado da edificação, mas, concomitantemente, não ultrapassar o limite máximo de pressão nos pavimentos inferiores.

O reservatório inferior deve ser dotado de uma chave-boia elétrica que impede a operação do sistema de bombeamento sem se tenha um nível mínimo de água destinado para o recalque.

A figura 3-6 a seguir representa esquematicamente o sistema indireto RI sem reservatório superior.

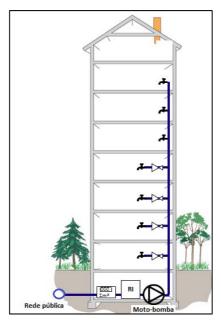


Figura 3-6 - Sistema RI

3.2.2.5 Vantagens dos sistemas indiretos

Segundo Ilha (1994), os sistemas indiretos apresentam as seguintes vantagens:

a. Rede predial menos exposta às falhas da rede pública, uma vez que possuem reservatórios que garantem por algum tempo o abastecimento;

Em contrapartida possuem as seguintes desvantagens:

- a. Possibilidade de contaminação da água pelo armazenamento nos reservatórios;
- Nos casos onde existam os reservatórios superiores, a estruturação deve ser prevista a fim de suportar a massa dos reservatórios cheios d'água;
- c. Perca de espaço útil no empreendimento devido ao volume ocupado pelos reservatórios;

- d. No caso do sistema RI, a aplicação de geradores de eletricidade é imprescindível para manutenção do sistema de bombeamento em funcionamento quando na falta de energia elétrica.
- e. No sistema RI, há sistemas eletrônicos de controle do funcionamento das motobombas, fazendo-se necessário a utilização de pessoal qualificado para os serviços de manutenção no conjunto, sempre difícil de encontrar no ramo da construção civil.

3.3 ESCOLHA DO SISTEMA A SER UTILIZADO

Para a implantação de um sistema de pressurização de água, faz-se necessária a elaboração de estudos e projetos com vistas à definição das edificações a serem atendidas, devendo-se determinar sua capacidade para as necessidades atuais e considerar as alterações futuras.

Com essa visão, a norma NBR12211:1992 estabelece os elementos e atividades necessárias para os Estudos para concepção de sistemas públicos de abastecimento de água:

- a. Definição do objetivo;
- b. Definição do grau de detalhamento e de precisão geral das partes do sistema;
- c. Aspectos e condições econômicas e financeiras condicionantes;
- d. Definição das condições e parâmetros locais.

3.3.1 Sistemas adequados para aplicações Brasileiras

De acordo com a NBR5626:1998 todas as edificações devem possuir reserva de água suficiente para atendimento mínimo da edificação durante 24h ininterruptas, considerando o consumo normal da edificação e descontando-se o necessário para combate a incêndio.

Onde houver dados disponíveis, deve-se levar em conta ainda, interrupções ou falta de abastecimento por baixa pressão do abastecimento público por períodos maiores, aumentando a reserva de água de tal maneira a garantir um período maior de autonomia por ocasião da falta de água, estabelecendo valores acima do recomendado pela norma NBR5626:1998.

Devido à incapacidade de um fornecimento estável e ininterrupto e segundo a norma NBR5626:1998 os abastecimentos por sistema direto estão exclusos das aplicações em território nacional. Ressalta-se, no entanto, que as aplicações diretas são fortemente recomendadas em todo o mundo, chegando a ser mandatória em alguns países como Alemanha, Holanda, Suíça, Bélgica e Coréia do Sul.

Considera-se ainda que é proibido pela maioria das agências regulatórias ou autarquias de todo o Brasil a conexão de bombas ou sistemas de bombeamento diretamente na rede pública, como por exemplo, proíbe a Deliberação n°106 emitida em 13/11/2009 pela ARSESP (Agência Reguladora de Saneamento e Energia do Estado de São Paulo) no artigo 43 :

Art. 43. É vedado o emprego de bombas de sucção ligadas diretamente nas instalações prediais de água, sob pena de sanções previstas nesta Deliberação.

Assim, em síntese, os esquemas das figuras 3.7 e 3.8, a seguir mostram os sistemas de abastecimento predial, suas principais características e viabilidade de instalação no Brasil.

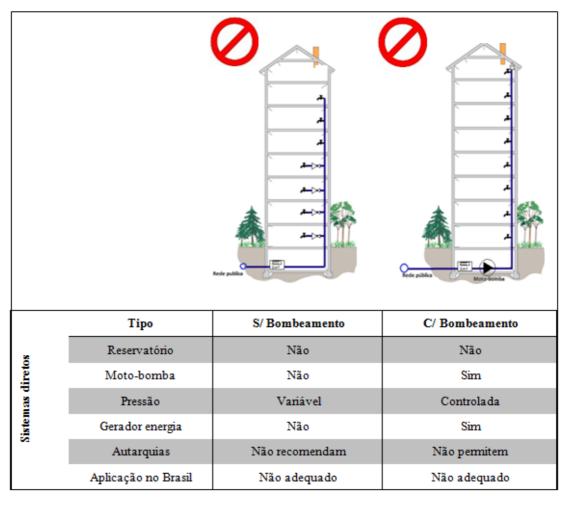


Figura 3-7 - Sistemas diretos - síntese

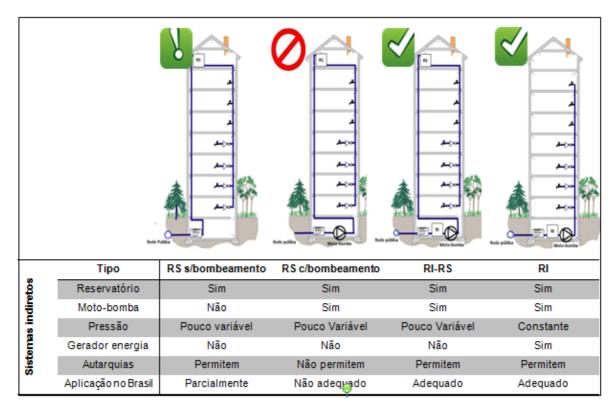


Figura 3-8 - Sistemas indiretos – síntese

Portanto, conforme apresentado em síntese e devido aos fatos da obrigatoriedade de armazenamento de água e da proibição da conexão da bomba diretamente à rede pública, os sistemas de abastecimento RI-RS e RI são os adequados para as instalações prediais brasileiras.

3.4 VARIÁVEIS DOS SISTEMAS PREDIAIS DE ABASTECIMENTO

3.4.1 Vazão de consumo

Segundo Netto (1998), o consumo de água nas edificações é diretamente influenciado por todos os fatores característicos da edificação. Os principais fatores que influenciam o consumo de água numa localidade podem ser assim resumidos:

- a. Clima;
- b. Padrão de vida da população;
- c. Hábitos da população;
- d. Sistema de fornecimento e cobrança (medido ou não);
- e. Qualidade da água fornecida;
- f. Custo da água (tarifa);

- g. Pressão disponível;
- h. Natureza do consumo (comercial residencial, industrial);
- i. Existência da rede de esgotos;
- j. Perdas no sistema.

Por outro lado, como já apresentado, um dos principais requisitos para o bom desempenho dos sistemas prediais de água fria é a existência de água na quantidade adequada em todos os pontos de utilização, sempre que necessário.

Segundo Ilha (1994), durante a fase de projeto do sistema predial, pode-se definir a vazão considerando duas maneiras diferentes:

- a. Funcionamento simultâneo de todos os pontos de consumo, ou
- b. Adoção de métodos empíricos ou probabilísticos para determinação de uma vazão de abastecimento, considerando a demanda por água de acordo com a natureza da instalação, o número de pessoas envolvidas e a ocorrência do uso simultâneo de diferentes pontos do sistema.

Verifica-se, portanto, que a primeira hipótese pode trazer custos desnecessários para a instalação inicial, entretanto, em alguns casos, como por exemplo, escolas e estádios de futebol, ela se consolida como a mais adequada.

Portanto, dentre possibilidades apresentadas por Ilha (1994) o consumo de água pode ser estimado através da equação 17:

$$C_d = C \cdot P \tag{17}$$

onde:

Cd = Consumo diário da edificação [L];

C = Consumo diário per capita [L];

P = População do edifício [número de pessoas].

Ainda de acordo com Ilha (1994), o consumo per capita de água pode ser adotado como sendo o demonstrado na tabela 3-1 a seguir:

Tabela 3-1 - Consumo per capita de água

Fonte: Ilha (1994) p.33

CONSUMO (L/DIA)		
80 "per capita"		
200 "per capita"		
150 "per capita"		
2 por lugar		
50 "per capita"		
50 "per capita"		
150 "per capita"		
100 "per capita"		
50 por automóvel		
250 por leito		
120 por hóspede		
1,5 por m² de área		
30 por kg de roupa seca		
5 por m² de área		
150 "per capita"		
120 "per capita"		
150 "per capita"		
25 por refeição		

A população P é definida a partir do projeto arquitetônico, sendo usualmente aplicados os valores apresentados na tabela 3-2:

Tabela 3-2 - Definição da população do edifício

Fonte: Ilha (1994) p.33

EDIFÍCIO	POPULAÇÃO
Escritório	1 pessoa / 9m²
Loja	1 pessoa / 3m ²
Hotel	1 pessoa / 15m ²
Hospital	1 pessoa / 15m ²
Apartamento / Residência	2NDS + NDE (**) ou 5 pessoas/unidade

^(**) NDS = Número de dormitórios sociais / NDE = Número de dormitórios de serviço

3.4.2 Dimensionamento dos reservatórios

Como apresentado anteriormente, nos sistemas indiretos a norma NBR5626:1998 recomenda que cada edificação possua uma reserva de água para abastecimento durante um dia de consumo.

De acordo com Netto (1998), nos sistemas RI-RS o reservatório inferior é o de maior capacidade e usualmente armazena 1/5 a 2/5 do consumo diário, sendo que a relação de consumo mais usual é a de 60% para o reservatório inferior e 40% para o superior.

O sistema RI, conforme descrito anteriormente, somente possui reserva de água na parte inferior da edificação.

3.4.3 Dimensionamento da vazão instantânea máxima provável.

Para dimensionamento da tubulação da prumada de abastecimento principal da edificação e para determinar a vazão para abastecimento do sistema RI, é necessário conhecer vazão instantânea máxima provável da edificação.

Embora que como visto na subseção 3.4.1, o consumo de água e, consequentemente a vazão dos sistemas de abastecimento predial são influenciados por diferentes fatores, a norma NBR5626:1998 estabelece a mínima vazão por dispositivo sanitário bem como o método dos pesos para a determinação das vazões na tubulação.

No método dos pesos, a quantidade de cada dispositivo é multiplicada pelos correspondentes pesos relativos. A partir da somatória dos pesos relativos, pode-se encontrar, portanto, a vazão instantânea máxima provável da tubulação, conforme demonstrado na equação 18, a seguir:

$$Qp = 0.3\sqrt{\sum P} \tag{18}$$

onde:

Qp = Vazão máxima instantânea provável [L]

P = Peso relativo dos dispositivos sanitários

A tabela abaixo, reproduzida a partir da norma NBR5626:1998 apresenta os valores dos pesos relativos para cada dispositivo sanitário.

Tabela 3-3 - Pesos relativos Fonte: NBR5626:1998 tabela A1 - p.28

		I		1
APARELHO SANITÁRIO		PEÇA DE UTILIZAÇÃO	VAZÃO DE PROJETO (l/s)	PESO RELATIVO
		Caixa de descarga	0,15	0,3
Bacia S	Sanitária	Válvula de descarga	1,70	32
Ban	heira	Misturador (água fria)	0,30	1,0
Bebe	edouro	Registro de pressão	0,10	0,1
Bi	idê	Misturador (água fria)	0,10	0,1
Chuveiro	ou ducha	Misturador (água fria)	0,20	0,4
Chuveir	o elétrico	Registro de pressão	0,10	0,1
	de pratos	Registro de pressão	0,30	1,0
	Com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50	2,8
Mictório cerâmico	Sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15	0,3
Mictório	tipo calha	Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha	0,3
F	Pia	Torneira ou misturador (água fria)	0,25	0,7
		Torneira elétrica	0,10	0,1
Tar	nque	Torneira	0,25	0,7
	e jardim ou em geral	Torneira	0,20	0,4

3.4.4 Distribuição horo-sazonal do consumo de água nas edificações

Para a realização de algumas análises nos sistemas prediais e nos sistemas públicos de abastecimento, é necessária a adoção de um perfil de consumo diário para as edificações.

Barreto(2008) realizou um estudo na cidade de São Paulo, monitorando sete residências distribuídos em três bairros. Os endereços monitorados foram estabelecidos por meio de critério estatístico de amostragem, considerando o conjunto de variáveis envolvidas.

Desta maneira, Barreto (2008), concluiu um perfil de consumo dentre as residências estudadas, sendo os resultados apresentados graficamente na figura 3-9:

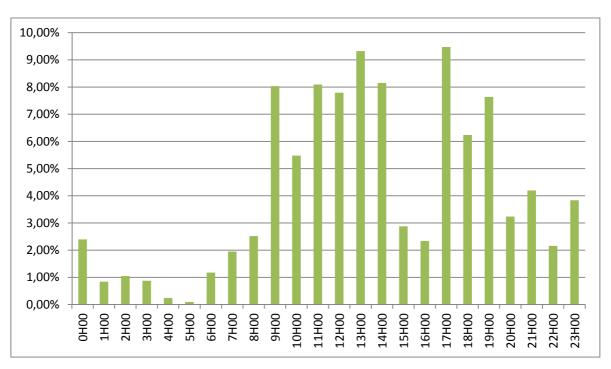


Figura 3-9 - Perfil de consumo residencial horário Fonte: Barreto (2008)

3.4.5 Pressão dinâmica e estática nas instalações prediais

Com o objetivo de garantir a segurança das instalações, mas também o conforto do usuário final, valores mínimos e máximos de pressão dinâmica são estabelecidos pela NBR5626:1998 conforme segue:

"5.3.5.1 Em condições dinâmicas (com escoamento), a pressão da água nos pontos de utilização deve ser estabelecida de modo a garantir a vazão de projeto indicada na tabela 1 e o bom funcionamento da peça de utilização e de aparelho sanitário. Em qualquer caso, a pressão não deve ser inferior a 10 kPa, com exceção

do ponto da caixa de descarga onde a pressão pode ser menor do que este valor, até um mínimo de 5 kPa, e do ponto da válvula de descarga para bacia sanitária onde a pressão não deve ser inferior a 15 kPa.

5.3.5.2 Em qualquer ponto da rede predial de distribuição, a pressão da água em condições dinâmicas (com escoamento) não deve ser inferior a 5 kPa.

5.3.5.3 Em condições estáticas (sem escoamento), a pressão da água em qualquer ponto de utilização da rede predial de distribuição não deve ser superior a 400 kPa."

3.4.6 Divisão da prumada em zonas de pressão

Os pavimentos mais baixos da edificação sempre possuem maior pressão de água, independentemente do sistema de bombeamento aplicado na edificação. Para que essa pressão não se torne excessiva, é comum a instalação de válvulas para redução de pressão nesses pavimentos.

Entretanto, quando o sistema RI é aplicado em uma edificação, prumadas diferentes podem ser projetadas e construídas, cada uma delas abrangendo certo número de pavimentos, com o objetivo principal de reduzir a aplicação ou definitivamente eliminar as válvulas redutoras de pressão.

Como cada prumada deve possuir sua própria unidade de bombeamento, há um aumento no número de moto-bombas em operação.

No entanto, essas moto-bombas possuem tamanhos reduzidos, tornando o controle da pressão mais preciso e, consequentemente, levando mais conforto ao usuário final.

Outra característica importante do sistema RI dividido em zonas de pressão é operação sem a necessidade de ter-se altas pressões nas conexões principais dos ramais dos pavimentos mais baixos.

O critério de divisão dos pavimentos que farão parte de uma zona de pressão é prerrogativa do projetista que poderá ter vistas à eliminação total ou parcial das válvulas de redução de pressão ou ainda ao número de sistemas de bombeamento a serem instalados na edificação.

A figura 3-10 ilustra uma edificação com 8 pavimentos com a prumada de abastecimento dividida em duas zonas de pressão:

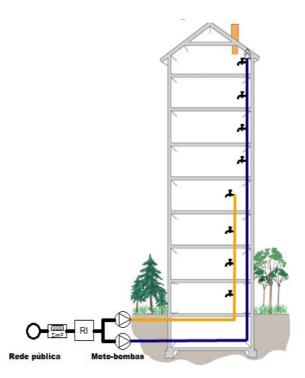


Figura 3-10 - Edificação com sistema RI dividido em zonas de pressão

3.5 SINTESE DAS ETAPAS DE ELABORAÇÃO DE PROJETOS

Conforme apresentado neste capítulo, as fases para as definições técnicas, análise e/ou desenvolvimento de um projeto de sistema predial de abastecimento de água compreendem:

- a. Definição da tipologia do sistema a ser adotada, considerando as características da edificação (localização, concessionária de abastecimento de água, perfil social, entre outros)
- b. Cálculo do consumo diário da edificação;
- c. Definição do tamanho dos reservatórios;
- d. Definição e dimensionamento do sistema de bombeamento, junto aos seus acessórios de comando, controle e proteções elétricas e hidráulicas;
- e. Cálculo da vazão máxima instantânea para dimensionamento das tubulações;
- f. Cálculo das pressões dinâmicas e estáticas presentes na instalação, respeitando os limites estabelecidos pela norma, e
- g. Divisão das prumadas em zonas de pressão, se for o caso.

4 DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS MODELOS

O tamanho e a disposição interna das unidades residenciais são variáveis no mundo todo, de tal maneira que se pode encontrar desde aquelas destinadas para moradia de uma única pessoa até os apartamentos de luxo com centenas de metros quadrados de área privativa.

Até mesmo em uma mesma edificação se encontram tamanhos e disposições diferentes com vistas ao atendimento de perfis diferentes de pessoas e famílias, fomentando, desta maneira, as vendas daquele empreendimento.

O tamanho das unidades prediais bem como a quantidade de habitantes previstas para cada uma delas são fatores que influenciam diretamente no dimensionamento do abastecimento de água, sendo assim, pode-se dizer que a análise do abastecimento de água em todas as variações prediais seria trabalho para alguns anos.

Na impossibilidade de fazê-la, alguns perfis de edificações foram destacados de forma empírica para análise neste trabalho; buscando abranger as características comuns encontradas no mercado imobiliário brasileiro.

A partir do estudo do comportamento dos sistemas de abastecimentos para estes modelos elegidos, será possível projetar como será o consumo energético nas edificações mais altas ou baixas e/ou com unidades maiores ou menores.

4.1 PERFIL DO MODELO ADOTADO PARA O ESTUDO

Para comparar o consumo energético entre os diferentes sistemas de abastecimento predial, um modelo único de apartamento foi definido como padrão de análise. Este apartamento padrão é composto por 3 dormitórios, 3 sanitários, sala, cozinha e área de serviço tendo sua área útil privativa estimada em cerca de 100m².

Considerou-se que a altura do pé direito de cada pavimento é de 3 metros e que o sistema de bombeamento, sempre estará instalado no pavimento térreo, junto ao reservatório inferior.

O reservatório superior, onde aplicado, sempre estará localizado sobre o último pavimento, com sua conexão hidráulica de entrada em uma cota de 3 metros em relação ao piso onde está instalado.

Adotou-se também que a análise será realizada sob um universo de edificações com 8, 12 ou 16 pavimentos, simulando a existência de 4, 8 ou 12 apartamentos padrão em cada um desses pavimentos

Da mesma maneira, estima-se que 5 pessoas habitem cada um destes apartamentos, fazendo uso dos dispositivos hidráulicos instalados nos sanitários, cozinha e área de serviço dispostos em quantidade tipicamente encontrada em apartamentos com este perfil, conforme demonstrado na tabela 4-1 a seguir:

	Torneira pia	Maquina de lavar Iouças	Ponto para filtro	Torneira tanque	Máquina de lavar	Lavatório	Caixa acoplada	Ducha Higiênica	Chuveiro	Ducha
Sanitário 1						1	1	1	1	
Sanitário 2						1	1	1	1	
Sanitário 3						1	1	1		1
Cozinha	1	1	1							
A. Serviço				2	1					

Tabela 4-1 - Pontos de consumo previstos para o modelo

4.2 RESERVA MÍNIMA E CONSUMO DIÁRIO

Conforme já apresentado no item 3.4.2, a norma brasileira NBR5626:1998 determina que o volume de água reservado deva ser, no mínimo, o necessário para 24h de consumo normal do edifício, sem considerar o volume de água para combate a incêndio.

Considerando ainda o consumo padrão estabelecido por Ilha (1994) representado na tabela 3-1 e fazendo-se uso da equação 17, o *Cd* - consumo diário da edificação e, consequentemente a reserva mínima podem ser determinado para o prédio com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um:

$$C_d = C . P$$
 $C_d = 200 . (5.8.4)$
 $C_d = 32000 [l]$

Aplicando-se o mesmo procedimento para as demais edificações da análise, encontram-se os resultados apresentados na tabela 4-2, a seguir:

Pavimentos	8			12			16			
Aptos. / pavimento	4	8	12	4	8	12	4	8	12	
Habitantes / Apto.		5								
População total	160	320	480	240	480	720	320	640	960	
Consumo / hab. [L]		200								
Consumo diário [L]	32000	64000	96000	48000	96000	144000	64000	128000	192000	

Tabela 4-2 - Consumo diário das edificações analisadas

4.3 ALTURA MANOMÉTRICA PARA O SISTEMA DE BOMBEAMENTO

Vários fatores influenciam no dimensionamento da altura manométrica que a motobomba deve incrementar ao sistema de pressurização.

Desta maneira, se fez necessário o estabelecimento de valores que equalizassem a análise entre os sistemas de bombeamento, respeitando, no entanto os parâmetros mínimos estabelecidos pela norma NBR5626:1998.

Assim, as subseções 4.3.1 a 4.3.4 demonstram os critérios levados em consideração para a determinação desses valores.

4.3.1 Pressão na sucção da bomba

O nível do reservatório inferior influencia diretamente o valor da pressão presente no flange de sucção da bomba que, por sua vez, altera a necessidade do valor da altura manométrica que a bomba incrementa ao sistema de pressurização.

Para não existir essa influência no resultado da análise deste trabalho, definiu-se que a pressão no bocal de sucção da bomba é nula para todas as análises.

4.3.2 Pressões nos pontos de consumo

Considerando os valores mínimos previstos na NBR5626:1998 e os valores empiricamente aplicados pelos projetistas de sistemas hidráulicos prediais, para se determinar a altura manométrica necessária na moto-bomba, adotou-se os seguintes critérios:

- a. No caso do sistema RI-RS, a pressão mínima na válvula boia instalada na conexão de entrada do reservatório superior deve ser, no mínimo, 3 metros de coluna d'água; e
- b. Para o abastecimento através do sistema RI, a pressão mínima na conexão da prumada do último pavimento seja, no mínimo, 10 metros de coluna d'água.

4.3.3 Perdas de carga

Através das vazões de cada instalação juntamente com os diâmetros das tubulações definidos, as perdas de carga poderiam ser determinadas para cada uma das instalações. Para isso, bastaria definir um trajeto padrão para a tubulação nas edificações e então calcular as perdas localizadas e o comprimento total equivalente da tubulação através das fórmulas de Fair-Wipple-Hsiao ou Hazen-Williams, conforme já apresentado no Capítulo 2.

Contudo, ainda que os trajetos sejam similares, a diferença na velocidade do fluído dentro da tubulação traria valores de perdas de carga diferentes para cada edificação que, por sua vez, influenciaria diretamente na análise do consumo energético.

Assim, para suprir as perdas de carga na tubulação, considera-se reservar 10% sobre a altura manométrica projetada em todos os casos analisados neste trabalho.

4.3.4 Divisão da edificação em zonas de pressão

A análise do sistema de abastecimento dividido em zonas de pressão também está incluída neste trabalho.

O principal critério para essa divisão foi a eliminação de todas as válvulas redutoras de pressão instalados nos pavimentos com a manutenção da pressão de abastecimento entre os valores máximo, estabelecidos pela NBR5626:1998, e mínimo, conforme assumido na subseção 4.3.2.

Assim, considerando que a altura do pé direito de cada pavimento é sempre 3 metros, empiricamente, adotou-se que cada zona de pressão será composta por 4 pavimentos. A divisão feita desta maneira faz com que o desnível geométrico entre o pavimento mais alto e o mais baixo de cada zona de pressão seja sempre 12 m.

Como a pressão mínima na conexão da prumada do pavimento mais alto de cada zona de pressão deve ser 10 metros de coluna d'água, logo, a pressão no pavimento mais baixo será de 22 m, desconsiderando-se as influências das perdas de pressão.

4.3.5 Dimensionando a altura manométrica

Diante do exposto nos tópicos anteriores, para se determinar a altura manométrica necessária no conjunto moto-bomba, pode-se aplicar a seguinte equação:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$$
 [m] (19)

onde:

H = é a altura manométrica total a ser fornecida pela bomba [m];

 H_{geo} = é o desnível geométrico entre o eixo do flange de recalque da bomba e o ponto mais alto de abastecimento [m];

 H_{cons} = é a pressão necessária nos pontos de consumo, no sistema RI ou na válvula boia, no sistema RI-RS [m];

1,1 = é o coeficiente adotado para suprir as perdas de carga na tubulação.

No sistema RI-RS, para determinar o desnível geométrico H_{geo} , aplicou-se a seguinte equação:

$$H_{geo} = \left[\left(N_{pav} \cdot H_{pav} \right) + H_{boia} \right] [m] \tag{20}$$

onde:

 H_{geo} = é o desnível geométrico entre o eixo do flange de recalque da bomba e o ponto mais alto de abastecimento [m];

 N_{pav} = é o número de pavimentos que a prumada deve percorrer;

 H_{pav} = é a altura do pé direito individual dos pavimentos [m];

H _{boia} = é a cota de instalação da válvula boia em relação ao piso onde o RS está instalado [m].

1,1 = é o coeficiente adotado para suprir as perdas de carga na tubulação.

Como o sistema RI não possui reservatório superior tampouco boia, o H_{geo} foi determinado simplesmente por:

$$H_{geo} = \left[\left(N_{pav} \cdot H_{pav} \right) \right] [m] \tag{21}$$

onde:

 H_{geo} = é o desnível geométrico entre o eixo do flange de recalque da bomba e o ponto mais alto de abastecimento [m];

 N_{pav} = número de pavimentos que a prumada deve percorrer;

 H_{pav} = é a altura do pé direito individual dos pavimentos [m].

Aplicando-se, então, as equações 19, 20 e 21 para a edificação com 8 pavimentos com 4 apartamentos cada um, tem-se:

a) Sistema RI-RS:

Determinando H_{geo}:

$$H_{geo} = [(N_{pav} . H_{pav}) + H_{boia}]. 1,1 [m]$$

 $H_{geo} = [(9.3) + 3] = 30 m$

Para calcular-se H, tem-se:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}). 1,1$$

$$H = (30 + 3).1,1$$

$$H = 36,30 \ m. \ c. \ a.$$

b) Sistema RI com 1 zona de pressão:

Determinando H_{geo}:

$$H_{geo} = \left[\left(N_{pav} \cdot H_{pav} \right) \right]$$

$$H_{geo} = [(8.3)]$$

$$H_{geo} = 24 m$$

Para calcular-se H, tem-se:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$$

$$H = (24 + 10).1,1$$

$$H = 37.4 \text{ m. c. a.}$$

c) Sistema RI com 2 zonas de pressão – zona mais baixa
 Determinando H_{geo}:

$$H_{geo} = [(N_{pav} \cdot H_{pav})]$$

$$H_{geo} = [(4 \cdot 3)]$$

$$H_{geo} = 12 m$$

Para calcular-se H, tem-se:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$$
 $H = (12 + 10).1,1$
 $H = 24,2 \ m. \ c. \ a.$

d) Sistema RI com 2 zonas de pressão – zona 2 (mais alta)

Determinando H_{geo}:

$$\begin{split} H_{geo} &= \left[\left(N_{pav} \; . \; H_{pav} \right) \right] \\ H_{geo} &= \left[\left(8 \; . \; 3 \right) \right] \\ H_{geo} &= 12 \; m \end{split}$$

Para calcular-se H, tem-se:

$$H = (H_{geo} + H_{cons}).1,1$$

 $H = (24 + 10).1,1$
 $H = 37,4 \ m.c.a.$

Repetindo-se o mesmo para as demais edificações com sistema RI-RS, obtêm-se os resultados apresentados na tabela 4-3 a seguir:

Tabela 4-3 - Altura manométrica necessária - sistema RI-RS

N _{pav}	8	12	16
H _{geo} [m]	30,00	42,00	54,00
H _{cons} [m]	3,00	3,00	3,00
H [m.c.a]	36,30	49,50	62,70

Analogamente, a tabela 4-4 mostra os resultados para as edificações com sistema RI em zona única

N_{pav}	8	12	16
H _{geo} [m]	24,00	36,00	48,00
H _{cons} [m]	10,00	10,00	10,00
H [m.c.a]	37,40	50,60	63,80

Tabela 4-4 - Altura manométrica necessária - sistema RI

Finalmente, a tabela 4-5 representa a altura manométrica para as edificações com sistema RI divido em zonas de pressão, sendo a zona 1 sempre a mais baixa da edificação:

N _{pav}	8	3	12				1	6	
Zona de pressão	1	2	1	2	3	1	2	3	4
H _{geo} [m]	2	24	12	24	36	12	24	36	48
H _{cons} [m]	10	10	10	10	10	10	10	10	10
H [m.c.a]	24,2	37,4	24,2	37,4	50,6	24,2	37,4	50,6	63,8

Tabela 4-5 - Altura manométrica necessária - sistema RI com zonas de pressão

4.4 VAZÃO DE ABASTECIMENTO

Conforme apresentado nas subseções 3.4.3 e 3.4.4, o dimensionamento da vazão da moto-bomba é feito baseado em princípios diferentes para os sistemas RI-RS e RI.

Assim, aplicando-se a premissa do abastecimento de grandes reservatórios em até 6 horas diárias, conforme previsto na norma NBR5626:1998, a tabela 4-3 abaixo mostra a vazão calculada para as moto-bombas quando as edificações estudadas são dotadas de sistemas RI-RS:

Pavimentos	8			12			16				
Aptos. / pavimento	4	8	12	4	8	12	4	8	12		
Reserva [L]	32000	64000	96000	48000	96000	144000	64000	128000	192000		
Tempo de abastecimento [H]		6									
Vazão da moto- bomba [m³/h]	5,33	10,67	16,00	8,00	16,00	24,00	10,67	21,33	32,00		

Tabela 4-6 - Vazão da moto-bomba nas edificações com sistema RI-RS

Para a determinação das vazões máximas previstas no abastecimento das edificações modelos dotadas com sistema RI, fez-se, primeiramente, o levantamento dos pontos hidráulicos instalados em cada uma delas para posterior aplicação do método dos pesos, conforme estabelecido pela NBR5626:1998.

Considerando o modelo com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles a tabela 4-7 demonstra, abaixo, a quantidade e localização desses pontos de consumo, com os respectivos valores dos pesos relativos:

Tabela 4-7 - Pontos hidráulicos instalados no prédio com 8 pavimentos com 4 apartamentos cada

	Torneira pia	Maquina de lavar louças	Ponto para filtro	Torneira tanque	Máquina de lavar	Lavatório	Caixa acoplada	Ducha Higiênica	Chuveiro	Ducha
Vazão [l/s]	0,25	0,3	0,1	0,25	0,3	0,15	0,15	0,1	0,1	0,2
Peso relativo	0,7	1	0,1	0,7	1	0,3	0,3	0,1	0,1	0,4
W.C 1						32	32	32	32	
W.C 2						32	32	32	32	
W.C.3						32	32	32		32
Cozinha	32	32	32							
A. Serviço				64	32					
TOTAL	32	32	32	64	32	96	96	96	64	32
Pesos	22,4	32	3,2	44,8	32	28,8	28,8	9,6	6,4	12,8
	•	•					Total do	s pesos		220,8

Assim, para determinação da vazão máxima da mesma edificação, aplica-se a equação 18 já apresentada anteriormente:

$$Q_{max} = 0.3\sqrt{\sum P}$$

$$Q_{max} = 0.3\sqrt{220.8}$$

4,45

 Q_{max} [l/S]

6,30

7,72

$$Q_{max} = 4,45 \ l/S$$

Aplicando-se os mesmos procedimentos para as demais edificações sem a divisão por zonas de pressão, podem-se encontrar os resultados conforme demonstrados na tabela 4-8 a seguir:

Pavimentos 8 12 16 Ap / pavimento 4 8 12 4 8 12 4 8 12 441,6 \sum pesos 220,8 441,6 662,4 331,2 662,4 993,6 883,2 1324,8

5,46

7,62

9,456

6,304

8,916

10,919

Tabela 4-8 - Máxima vazão instantânea - Sistema RI sem zoneamento de pressão

Como as zonas de pressão abrangem sempre 4 pavimentos, observa-se que a somatória dos pesos é resultante apenas do número de apartamentos por pavimento.

Assim, a tabela 4-9 a seguir demonstra os valores da máxima vazão instantânea por zona de pressão.

Tabela 4-9 - Máxima vazão instantânea por zona de pressão no sistema RI

Ap / pavimento	4	8	12
∑ pesos	110,4	220,8	331,2
Q_{max} [1/S]	3,152	4,458	5,46

4.5 DIVISÃO DO CONSUMO DIÁRIO EM HORAS

Apesar de já se conhecer os valores máximos instantâneos para dimensionamento da moto-bomba e tubulações, para análise do consumo energético se faz necessário saber como o consumo divide-se ao longo de um dia.

Desta maneira, adotou-se a divisão sazonal diária proposta por Barreto (2008) conforme já apresentado na figura 3-9.

4.6 SELEÇÃO DAS MOTO-BOMBAS

Uma vez que a vazão e a altura manométrica necessária para cada sistema são conhecidas, é possível realizar a seleção das moto-bombas que irão operar em cada um deles.

Os fabricantes de moto-bombas usualmente oferecem diversos meios para seleção dos seus equipamentos, tais como: catálogos, planilhas e *softwares*.

A seleção de moto-bombas provenientes de um ou outro fabricante não apresentaria alterações significativas no resultado final deste trabalho, considerando que, ainda que existam particularidades entre equipamentos de diferentes fabricantes, a análise realizada nesse trabalho é comparativa entre os sistemas e não entre equipamentos.

Para este trabalho, portanto, adotou-se selecionar os equipamentos da linha MVI do fabricante Wilo, pela disponibilidade de dados e aplicabilidade dos produtos nas edificações estudadas.

A partir da seleção realizada no *software*, buscou-se levantar os dados técnicos obtidos em testes reais realizados nos produtos para posterior declaração compulsória ao Instituto Nacional de metrologia – INMETRO.

Para coleta dos dados operacionais de cada equipamento aplicado nesse trabalho, as Planilhas de Especificações Técnicas – PETs, declaradas pelo fabricante aos órgãos públicos de fiscalização técnica foram utilizadas como base de dados. Os dados obtidos foram, então, inseridos no *software Matlab* para geração da curva e equação polinomial resultante para posterior análise.

Assim, a figura 4-2, a seguir, mostra a representação gráfica obtida através do *Matlab* referente à curva da moto-bomba MVI403 com o ponto de operação teórico para abastecimento da edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles.

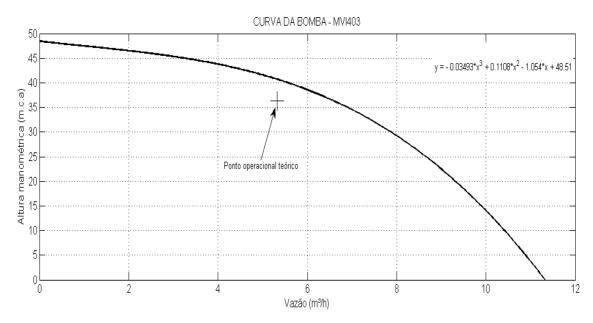


Figura 4-1 – Curva e equação da bomba MVI403 obtida através do Matlab

Aplicando-se o mesmo critério para as demais edificações com sistema RI-RS, podese obter o resultado demonstrado na tabela 4-10 a seguir:

Pavimentos	Ap/Pav	H(m.c.a)	Q (m³/h)	Modelo moto-bomba
	4	36,30	5,33	MVI403
8	8	36,30	10,67	MVI803
	12	36,30	16,00	MVI1603-6
	4	49,50	8,00	MVI406
12	8	49,50	16,00	MVI1604-6
	12	49,50	24,00	MVI1606-6
	4	62,70	10,67	MVI1605-6
16	8	62,70	21,33	MVI1604
	12	62,70	32,00	MVI3203

Tabela 4-10 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI-RS

De forma análoga, a tabela 4-11 a seguir mostra as moto-bombas selecionadas para as edificações com sistema RI sem divisão em zonas de pressão:

Tabela 4-11 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI

Pavimentos	Ap/Pav	H(m.c.a)	$Q(m^3/h)$	Modelo moto-bomba
	4	37,40	16,05	MVI1603-6
8	8	37,40	22,70	MVI1604-6
	12	37,40	27,80	MVI3202
	4	50,60	19,65	MVI1605-6
12	8	50,60	27,80	MVI5202
	12	50,60	34,04	MVI3203
	4	63,80	22,70	MVI1604
16	8	63,80	32,10	MVI3203
	12	63,80	39,31	MVI5203

Finalmente, a tabela 4-12 mostra as moto-bombas selecionadas para o sistema RI divididas em zonas de pressão:

Tabela 4-12 - Seleção das moto-bombas para edificações com sistema RI com zonas de pressão

Pavimentos	Ap/Pav	Zona	H(m.c.a)	Q (m³/h)	Modelo moto-bomba
	4	1	24,20	11,35	MVI1602-6
	4	2	37,20	11,55	MVI1603-6
8	8	1	24,20	16,05	MVI1602-6
0	O	2	37,20	10,03	MVI1603-6
	12	1	24,20	19,65	MVI1603-6
	12	2	37,20	17,03	MVI1604-6
		1	24,20		MVI1602-6
	4	2	37,20	11,35	MVI1603-6
		3	50,60		MVI1604-6
		1	24,20		MVI1602-6
12	8	2	37,20	16,05	MVI1603-6
		3	50,60		MVI1604-6
	12	1	24,20	19,65	MVI1603-6
		2	37,20		MVI1604-6
		3	50,60		MVI1605-6
		1	24,20		MVI1602-6
	4	2	37,20	11,35	MVI1603-6
	4	3	50,60	11,55	MVI1604-6
		4	63,80		MVI1605-6
		1	24,20		MVI1602-6
	0	2	37,20	16.05	MVI1603-6
16	8	3	50,60	16,05	MVI1604-6
		4	63,80		MVI1605-6
		1	24,20		MVI1603-6
		2	37,20		MVI1604-6
	12	3	50,60	19,65	MVI1605-6
		4	63,80	_	MVI1606-6

4.7 PARTICULARIDADES DO SISTEMA RI-RS

Como se verifica na figura 4-2, durante a seleção de moto-bombas para as edificações dotadas de sistemas RI-RS, os pontos de operação teóricos estabelecidos não coincidem com a curva da bomba.

Assim, o ponto de operação real do sistema, é, na verdade, a interseção da curva de sistema com a curva da bomba.

Para localizar esse ponto para a edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles, tem-se:

Aplicando-se os valores calculados na equação 10:

$$H = (H_{geo} + H_{con}) + kQ^{2}$$

$$36,3 = (30 + 3) + k.5,33^{2}$$

$$36,3 = 33,00 + k.28,40$$

$$k = 0,1162$$

Assim, pode-se definir a equação da curva do sistema:

$$H = 33,00 + 0,1162Q^2$$

Como o ponto de operação real do sistema é a intersecção da curva do sistema com a curva da bomba, pode-se definir através da igualdade entre as respectivas equações:

$$-0.03493Q^{3} + 0.1108Q^{2} - 1.054Q + 48.51 = 33.00 + 0.1162Q^{2}$$
$$-0.03493Q^{3} - 0.0054Q^{2} - 1.054Q + 15.51 = 0$$

As raízes dessa nova equação são, portanto:

Assumindo-se, portanto, que a vazão corrigida é 6,2851 m³/h e substituindo esse valor na equação de sistema, pode-se determinar também a altura manométrica corrigida:

$$H = 33,00 + 0,1162 \cdot 6,2851^2$$

 $H = 37,59 m.c.a$

A figura 4-2 mostra o ponto operação corrigido da edificação calculada:

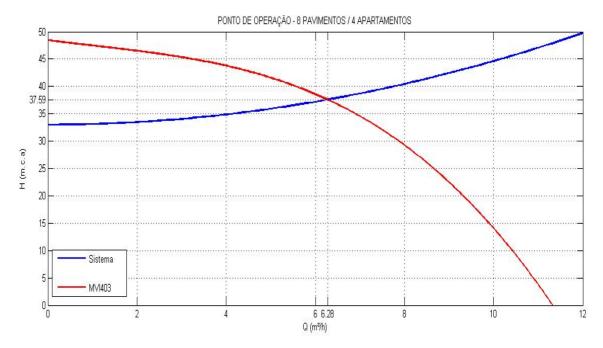


Figura 4-2 - Ponto de operação corrigido para a edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos cada

A correção do ponto operacional do sistema traz uma redução no tempo diário de operação da moto-bomba, podendo ser determinado pela razão entre o volume a ser abastecido diariamente e a vazão de operação real da moto-bomba.

Assim, a tabela 4-13 a seguir representa os pontos de operação teóricos corrigidos para cada edificação no sistema RI-RS, incluindo o novo cálculo do tempo de operação diária da moto-bomba.

Pav.	Ap/Pav	Teórico		Modelo	Corrigido		Tempo de operação
i av.	Αρ/1 αν	H(m.c.a)	Q (m ³ /h)	moto-bomba	H(m.c.a)	Q (m ³ /h)	diária (h)
	4	36,30	5,33	MVI403	37,59	6,280	5,091
8	8	36,30	10,67	MVI803	37,06	11,830	5,408
	12	36,30	16,00	MVI1603-6	38,17	20,020	4,794
	4	49,50	8,00	MVI406	50,27	8,6567	5,545
12	8	49,50	16,00	MVI1604-6	50,77	18,125	5,297
	12	49,50	24,00	MVI1606-6	50,01	25,328	5,685
	4	62,70	10,67	MVI1605-6	71,10	16,778	3,814
16	8	62,70	21,33	MVI1604	64,24	24,036	5,325
	12	62,70	32,00	MVI3203	63,32	33,707	5,696

Tabela 4-13 - Pontos de operação corrigidos

4.8 PARTICULARIDADES DO SISTEMA RI

4.8.1 Frequência mínima de operação

Se para o sistema RI-RS há a necessidade de ajustar o ponto de operação porque a moto-bomba não possui variação de velocidade; no sistema RI a moto-bomba varia continuamente a velocidade com o objetivo de manter a pressão constante.

Entretanto, para cada sistema há uma velocidade mínima para que a pressão ajustada seja garantida. Pode-se determinar o valor dessa velocidade através das leis da similaridade, como visto no capítulo 2, tomando como base o valor da altura manométrica quando tem-se vazão nula no sistema.

Como exemplo considera-se a edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um, sem divisão de pressão:

37,4 m

Altura manométrica no *shut-off* = 49,88 m

Velocidade no *shut-off* = 3500 RPM

Através das leis da similaridade, tem-se:

Altura manométrica para operação

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^{2}$$

$$\frac{H1}{H2} = \left(\frac{N1}{N2}\right)^{2}$$

$$\frac{49,88}{37,40} = \left(\frac{3500}{N2}\right)^{2}$$

$$\sqrt{1,33} = \frac{3500}{N2}$$

$$N2 = 3031 RPM$$

Desta forma, para que seja garantido o conforto dos usuários do prédio, a bomba jamais poderá operar com velocidade menor que 3031 RPM. A figura 4-3 ilustra a condição representada:

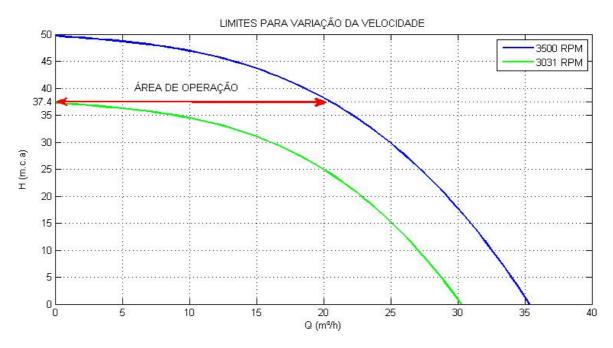


Figura 4-3 - Limites para a variação de velocidade

4.8.2 Operação da bomba (divisão sazonal)

O consumo hidráulico de uma edificação varia constantemente. O abrir ou fechar de simples torneiras para qualquer uso interfere no equilíbrio do sistema, que, por sua vez, tem

de aumentar ou diminuir a velocidade da moto-bomba a fim de corrigir a perturbação gerada, manter a pressão constante e garantir o conforto do usuário final.

Na impossibilidade de reproduzir teoricamente o comportamento exato do abastecimento dos edifícios, adotou-se que os sistemas irão operar em faixas compostas por 4 valores de vazão correspondentes a 25, 50, 75 e 100% da vazão máxima, assumidas de acordo com a razão entre o consumo horário do prédio e a capacidade de abastecimento da bomba.

Estas vazões possuem velocidades correspondentes consideradas apenas para análise, uma vez que, em situação real, a moto-bomba não opera apenas em 4 velocidades, mas em diferentes velocidades controladas pelo conversor de frequência ao longo de um dia de abastecimento.

De acordo com o modelo criado, então, a moto-bomba operará com vazões e velocidades maiores quanto mais água a edificação necessitar durante determinada hora do dia, simulando, através de valores médios, o comportamento real de um sistema de pressurização.

A tabela 4-14 a seguir mostra como o critério descrito será aplicado:

	% de utilização	Parcela do consumo abastecido com					
Faixa de	da capacidade	25% da	50% da	75% da	100% da		
operação	horária da	vazão	vazão	vazão	vazão		
operação	moto-bomba	máxima da	máxima da	máxima da	máxima da		
	moto-oomoa	bomba	bomba	bomba	bomba		
1	Até 15%	50%	50%	0%	0%		
2	Entre 15 e 30%	0%	50%	50%	0%		
3	Mais que 30%	0%	0%	50%	50%		

Tabela 4-14 - Divisão do abastecimento em faixas de operações

Como exemplo, adotando-se a mesma edificação do exemplo anterior, tem-se: Equação da curva da bomba, obtida através do *Matlab*:

$$H = 0,00097Q^3 - 0,00053 Q^2 - 0,1751 Q + 49,68$$

Aplicando-se na equação a altura manométrica do sistema:

$$37.4 = 0.00097Q^3 - 0.00053Q^2 - 0.1751Q + 49.68$$

Então, tem-se que:

$$0,00097Q^3 - 0,00053 Q^2 - 0,1751 Q + 12,28 = 0$$

Pelo Matlab, determinam-se as raízes da equação:

$$-10,5622 + 22,4422j$$

20,5780

Portanto, considerando que a vazão máxima é 20,57m³/h, as parcelas com 25, 50 e 75% da vazão total são, respectivamente, 5,14, 10,28 e 15,43 m³/h.

Baseado na divisão do consumo do tópico 4.5 e adotando-se os critérios estabelecidos na tabela 4-14, pode-se determinar o perfil de operação diária da moto-bomba do edifício conforme a tabela 4-15 a seguir:

Tabela 4-15 - Exemplo de operação diária da moto-bomba no sistema RI

HORA	Consumo		% utilização	25% da	ção com vazão da mba	50% da	ção com vazão da mba
	% diário	litros	da bomba	Litros	4m³/h) Tempo (h)	Litros	Rempo (h)
0:00	2,40%	767,34	3,73%	383,67	0,075	383,67	0,037
1:00	0,84%	268,57	1,31%	134,28	0,026	134,28	0,013
2:00	1,05%	335,71	1,63%	167,86	0,033	167,86	0,016
3:00	0,88%	280,08	1,36%	140,04	0,027	140,04	0,014
4:00	0,24%	76,73	0,37%	38,37	0,007	38,37	0,004
5:00	0,10%	30,69	0,15%	15,35	0,003	15,35	0,001
6:00	1,17%	376,00	1,83%	188,00	0,037	188,00	0,018
7:00	1,95%	623,46	3,03%	311,73	0,061	311,73	0,030
8:00	2,52%	805,71	3,92%	402,85	0,078	402,85	0,039
9:00	8,03%	2570,59	12,49%	1285,29	0,250	1285,29	0,125
10:00	5,48%	1753,37	8,52%	876,69	0,170	876,69	0,085
11:00	8,09%	2589,77	12,59%	1294,89	0,252	1294,89	0,126
12:00	7,79%	2493,86	12,12%	1246,93	0,242	1246,93	0,121
13:00	9,32%	2983,03	14,50%	1491,52	0,290	1491,52	0,145
14:00	8,15%	2608,96	12,68%	1304,48	0,254	1304,48	0,127
15:00	2,88%	920,81	4,47%	460,40	0,089	460,40	0,045
16:00	2,34%	748,16	3,64%	374,08	0,073	374,08	0,036
17:00	9,47%	3030,99	14,73%	1515,50	0,295	1515,50	0,147
18:00	6,23%	1995,08	9,70%	997,54	0,194	997,54	0,097
19:00	7,64%	2443,98	11,88%	1221,99	0,238	1221,99	0,119
20:00	3,24%	1035,91	5,03%	517,95	0,101	517,95	0,050
21:00	4,20%	1342,85	6,53%	671,42	0,131	671,42	0,065
22:00	2,16%	690,61	3,36%	345,30	0,067	345,30	0,034
23:00	3,84%	1227,74	5,97%	613,87	0,119	613,87	0,060
TOTAL		32000,00		16000,00		16000,00	

No exemplo apresentado, a moto-bomba não operou com vazões médias superiores a 50% da vazão total porque a utilização da capacidade horária da mesma não ultrapassou os 15%, conforme previsto na tabela 4-14.

4.9 DIMENSIONAMENTOS DOS TUBOS HIDRÁULICOS

Para dimensionamento dos tubos hidráulicos para abastecimento das edificações analisadas, adotou-se a equação da continuidade, conforme já apresentado no item 2.5.1 deste trabalho.

Embora se tenha adotado parcelas fixas para determinação das perdas de carga, é imprescindível verificar se a velocidade máxima do fluído, em qualquer que seja o sistema adotado, não ultrapasse os 3 m/s, caso contrário, poderia gerar um sistema turbulento e alterar os valores das simulações.

Assim, como exemplo, determina-se o diâmetro da tubulação principal para abastecimento do reservatório superior no sistema RI-RS da edificação com 8 pavimentos e cada um contendo 8 apartamentos, cuja vazão máxima prevista, conforme a tabela 4-3 é de 6,28 m³/h (0,001744 m³/s):

Aplicando-se os valores na equação da continuidade:

$$D = \sqrt{\frac{4.0,001744}{\pi.3}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_{max}}}$$

$$D = 0.02721 m = 27.21 mm$$

Consultando a tabela do catálogo do fabricante de tubos reproduzida no Anexo II deste trabalho, verifica-se que o tubo comercial com diâmetro imediatamente maior para essa instalação é o DN40, que possui diâmetro interno de 32,6 mm.

Aplicando-se o mesmo procedimento para dimensionamento das demais edificações, a tabela 4-16 mostra dimensionamento dos tubos para abastecimento das edificações com sistema RI-RS:

Pav.	Ap./Pav.	Ponto de operação		Diâmetro tubo teórico	Diâmetro comercial	
rav.	Ap./rav.	H (m.c.a)	Q (m ³ /h)	(mm)	mm	DN
	4	37,59	6,280	27,21	32,30	DN40
8	8	37,06	11,830	27,35	51,40	DN63
	12	38,17	20,020	48,58	51,40	DN63
	4	50,27	8,6567	31,95	40,80	DN50
12	8	50,77	18,125	46,23	51,40	DN63
	12	50,01	25,328	54,64	61,40	DN75
	4	71,10	16,778	44,47	51,40	DN63
16	8	64,24	24,036	52,23	61,40	DN75
	12	63,32	33,707	63,04	73,60	DN90

Tabela 4-16 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI-RS

Para o sistema RI, aplica-se o mesmo critério para o dimensionamento da prumada principal, assim, como exemplo, a equação abaixo determina o diâmetro da tubulação do edificio com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um cuja moto-bomba opera com vazão máxima simultânea de 20,58 m³/h (0,00571 m³/s):

$$D = \sqrt{\frac{4.0,00571}{\pi.3}} = 0,04924 \, m$$

$$D = 49,24 \, mm$$

Consultando a mesma tabela do Anexo II, verifica-se que o tubo comercial com diâmetro imediatamente superior é o DN63 com 50,8 mm.

A tabela 4-17 a seguir demonstra os diâmetros das prumadas dos demais edifícios com sistema RI com zona única, aplicando-se a mesma equação:

Tabela 4-17 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única

Pav.	Ap./Pav.	Ponto de operação máximo da bomba		Diâmetro tubo teórico	Diâmetro comercial	
1 44.	11p./1 uv.	H (m.c.a)	Q (m ³ /h)	(mm)	mm	DN
	4	37,4	20,58	49,30	50,80	DN63
8	8	37,4	26,43	55,80	61,48	DN75
	12	37,4	51,43	77,90	90,00	DN110
	4	50,6	25,27	54,60	61,48	DN75
12	8	50,6	28,24	57,70	61,48	DN75
	12	50,6	44,74	72,60	73,60	DN90
	4	63,8	25,29	54,60	61,4	DN75
16	8	63,8	33,51	62,90	73,60	DN90
	12	63,8	48,99	76,00	90,00	DN110

Aplicando-se ainda o mesmo procedimento para os sistemas RI divididos em zonas de pressão, podem-se obter os dados presentes na tabela 4-18 a seguir:

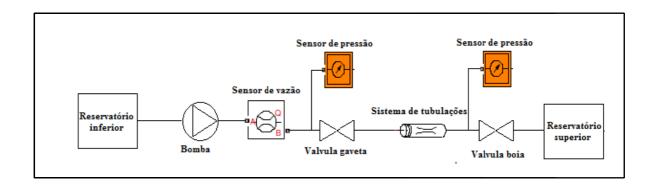
Tabela 4-18 - Dimensionamento dos tubos para edificações RI com zona única

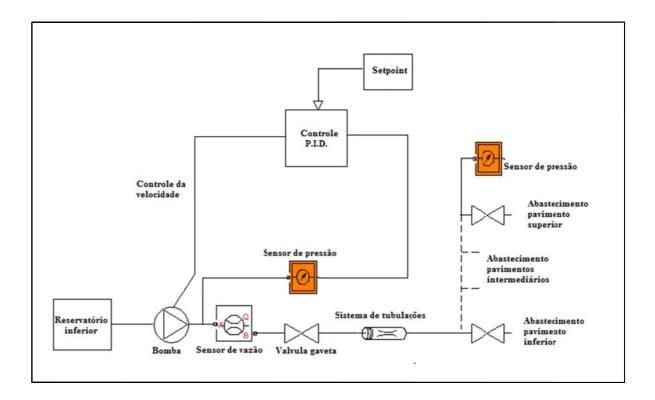
Pav.	An /Day	Zona de	Ponto de o máximo d		Diâmetro tubo teórico	Diâmetro	comercial
Pav.	Ap./Pav.	pressão	H (m.c.a)	Q (m ³ /h)	(mm)	mm	DN
	4	1	24,2	21,15	49,99	51,40	DN63
	4	2	37,4	20,57	49,20	51,40	DN63
8	8	1	24,2	21,15	49,99	51,40	DN63
0	8	2	37,4	20,57	49,20	51,40	DN63
	12	1	24,2	27,53	57,00	61,40	DN75
	12	2	37,4	26,42	55,80	61,40	DN75
		1	24,2	21,15	49,99	51,40	DN63
	4	2	37,4	20,57	49,20	51,40	DN63
		3	50,6	20,87	49,60	51,40	DN63
		1	24,2	21,15	49,99	51,40	DN63
12	8	2	37,4	20,57	49,20	51,40	DN63
		3	50,6	20,87	49,60	51,40	DN63
	12	1	24,2	27,53	57,00	61,40	DN75
		2	37,4	27,35	56,80	61,40	DN75
		3	50,6	25,27	54,60	61,40	DN75
		1	24,2	21,15	49,99	51,40	DN63
	4	2	37,4	20,57	49,20	51,40	DN63
	4	3	50,6	20,87	49,60	51,40	DN63
		4	63,8	20,57	49,20	51,40	DN63
		1	24,2	21,15	49,99	51,40	DN63
		2	37,4	20,57	49,20	51,40	DN63
16	8	3	50,6	20,87	49,60	51,40	DN63
		4	63,8	20,57	49,20	51,40	DN63
		1	24,2	27,53	57,00	61,40	DN75
	12	2	37,4	27,35	56,80	61,40	DN75
	12	3	50,6	25,27	54,60	61,40	DN75
		4	63,8	24,36	53,60	61,40	DN75

4.10 SIMULAÇÕES

Baseando-se nos parâmetros e especificações estabelecidas neste capítulo, utilizou-se o *software Matlab-Simulink* para simulação de cada uma das edificações dimensionadas.

As figuras 4-4 e 4-5 demonstram simplificadamente os circuitos aplicados para simulação do sistema RI-RS das edificações estudadas:





No Anexo III deste trabalho pode-se encontrar os modelos completos adotados para cada perfil de edificação, tendo os resultados apurados das simulações apresentados no próximo capítulo.

5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

Como já descrito, o objetivo final deste trabalho é a comparação do consumo energético nos sistemas de abastecimento de água aplicáveis no Brasil.

Após as especificações e premissas adotadas no Capítulo 4 e as simulações realizadas no *Simulink*, conforme os modelos apresentados no Anexo III, este capítulo apresenta os resultados encontrados.

5.1 SISTEMA RI-RS

Simulando o sistema RI-RS aplicado nos edifícios estudados, podem-se encontrar os resultados apresentados a seguir:

5.1.1 Edifícios com 8 pavimentos

A tabela 5-1 mostra os resultados encontrados para os edifícios com 8 pavimentos, de acordo com o número de apartamentos por pavimento:

0	Pavimentos		8	
Edifício	Apartamentos por pavimento	4	8	12
页	Consumo diário (l)	32000	64000	96000
	Modelo	MVI403	MVI803	MVI1603-6
nba	H (m)		36,30	
Bomba	Vazão projetada (m³/h)	5,33	10,67	16,00
	Vazão corrigida (m³/h)	6,28	11,00	17,00
	H simulado (m)	37,54	39,45	41,93
lação	Vazão simulada (m³/h)	6,24	11,00	17,12
Simulação	Hcons – chave bóia (m)	3,02	3,08	3,06
3 2	Consumo energético (KW)	1139	1970	3229
	Tempo por ciclo (H)	1,28	1,45	1,40
ou	Consumo por ciclo (KW)	1,46	2,87	4,53
Consumo	Consumo diário (KW)	5,84	11,46	18,11
် ၁	Consumo KW / m ³	0,183	0,179	0,189
	Média de consumo KW/m³		0,183	

Tabela 5-1 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos dotados de sistema RI-RS

Os resultados para os edifícios com 8 pavimentos demonstram valore bastante próximos entre si. Observou-se que o ponto de operação da edificação com 12 pavimentos por andar era o mais afastado do B.E.P. Desta maneira, pode-se concluir que conforme se aumenta a vazão de operação, há a tendência de operação em pontos de melhores rendimentos hidráulicos.

5.1.2 Edifícios com 12 pavimentos

Da mesma forma, a tabela 5-2 abaixo mostra os resultados encontrados durante a simulação para os edificios com 12 pavimentos, também divididos de acordo com o número de apartamentos por pavimento:

Tabela 5-2 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos dotados de sistema RI-RS

	Pavimentos		12	
Edificio	Apartamentos por pavimento	4	8	12
Щ	Consumo diário (l)	48000	48000	48000
	Modelo	MVI406	MVI1604-6	MVI1606-6
Bomba	H (m)		49,50	
Bor	Vazão projetada (m³/h)	8,00	16,00	24,00
	Vazão corrigida (m³/h)	8,27	16,70	24,40
	H simulado (m)	55,51	57,64	64,36
Simulação	Vazão simulada (m³/h)	8,27	16,70	24,40
Simu	Hcons – chave bóia (m)	3,01	3,07	3,06
	Consumo energético (KW)	2369	4318	6832
	Tempo por ciclo (H)	1,45	1,44	1,48
0	Consumo por ciclo (KW)	3,44	6,21	10,08
Consumo	Consumo diário (KW)	13,75	24,82	40,32
0	Consumo KW / m³	0,286	0,259	0,280
	Média de consumo KW/m³		0,275	

Novamente o aumento da vazão significa menor consumo energético a cada metro cúbico bombeado, nesse caso, novamente a edificação com 12 apartamentos por pavimento apresentou-se como sendo o ponto de operação mais distante do B.E.P., e, portanto, com maior consumo energético por metro cúbico de água elevada.

Assim como no caso anterior, as médias de consumo apresentaram-se bastante próximas entre si.

5.1.3 Edifícios com 16 pavimentos

Finalizando, a tabela 5-3 a seguir mostra os resultados encontrados para o edifício com 16 pavimentos:

Tabela 5-3 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos dotados de sistema RI-RS

	Pavimentos		16	
Edifício	Apartamentos por pavimento	4	8	12
Н	Consumo diário (l)	64000	128000	192000
	Modelo	MVI1605-6	MVI1604	MVI3203
Bomba	H (m)		62,70	
Bor	Vazão projetada (m³/h)	10,67	21,33	32,00
	Vazão corrigida (m³/h)	13,80	23,60	33,30
	H simulado (m)	75,09	65,78	63,57
Simulação	Vazão simulada (m³/h)	13,83	23,67	33,30
Simu	Hcons – chave bóia (m)	2,83	3,06	3,00
	Consumo energético (KW)	4896	6876	9100
	Tempo por ciclo (H)	1,16	1,35	1,44
0	Consumo por ciclo (KW)	5,66	9,30	13,12
Consumo	Consumo diário (KW)	22,66	37,18	52,47
O	Consumo KW / m ³	0,354	0,290	0,273
	Média de consumo KW/m³		0,306	

Embora que a edificação com 4 apartamentos por pavimento esteja com ponto de operação um pouco mais deslocado do B.E.P., observa-se nesse último caso, referente à edificação com 16 pavimentos a clara tendência no consumo energético quando aumenta-se a necessidade de vazão.

5.1.4 Síntese dos resultados - sistema RI-RS

A escolha da bomba é determinante para o bom desempenho do sistema de abastecimento predial RI-RS. Esse fato fica claro quando não se observa uma tendência definida para o consumo energético entre as edificações de mesma altura, porém, com consumos diferentes.

Quando o ponto operacional da instalação é estabelecido entre as faixas de vazão com melhor rendimento de uma linha e outra de produtos, a eficiência do sistema de bombeamento fica comprometida.

Esse fato ficou característico nas aplicações com 8 e 12 pavimentos com 12 apartamentos por pavimento e também na edificação com 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um, conforme destacado através das setas amarelas na figura 5-1:

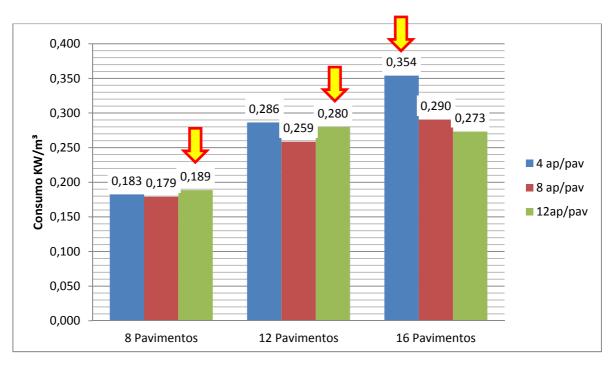


Figura 5-1 - Consumo energético no sistema RI-RS

Se as bombas referentes aos consumos destacados acima estivessem operando na faixa de melhor rendimento, a tendência do aumento da eficiência do de acordo com o aumento da demanda por água ficaria evidenciada.

5.2 SISTEMA RI COM ZONA DE PRESSÃO ÚNICA

Os resultados a seguir referem-se às simulações dos sistemas de abastecimento RI com zona única de pressão.

Conforme apresentado no Capítulo 4, o consumo energético foi baseado nos 4 valores de vazão adotados como padrão. Assim, todas as tabelas apresentam essas vazões juntamente com as respectivas velocidades pré-determinadas que, por sua vez, formarão as 3 faixas de operação conforme descrito na tabela 4-14.

Os comentários referentes aos resultados encontrados nas simulações estão feitos, de forma comparativa, na subseção 5.2.4.

5.2.1 Edifícios com 8 pavimentos

A tabela 5-4 apresenta os resultados encontrados para o edifício com 8 pavimentos, divididos de acordo com o número de apartamentos em cada um deles.

Tabela 5-4 - Resultados da simulação da edificação com 8 pavimentos e sistema RI com zona única

0	Pavimentos			8	3				
Edifício	Apartamentos/pavimento	4	4	8	3	1	2		
Щ	Consumo diário (1)	32000		640	000	96000			
	Modelo	MVI1	603-6	MVI1	604-6	MVI	3202		
	H (m)			37	7,4				
4	Características de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM		
Bomba	Vazão máxima	20,58	3500	26,43	3500	51,44	3500		
	75% da vazão máxima	15,43 3280		19,82	3106	38,58	3004		
	50% da vazão máxima	10,29	3147	13,21	2812	25,72	2682		
	25% da vazão máxima	5,14	3079	6,61	2672	12,86	2527		
	Consumo energético	K	W	KW		KW			
Simulação	Operação diária na faixa 1	7,	13	4,29		5,	16		
Simu	Operação diária na faixa 2	0,	00	6,	87	7,	77		
	Operação diária na faixa 3	0,	00	0,	00	3,	03		
10	Consumo diário (KW)	7,	13	11	,16	15	,98		
Consumo	Consumo KW / m³	0,2	223	0,1	0,174		0,166		
Ö	Média de consumo KW/m³			0,1	188				

5.2.2 Edifícios com 12 pavimentos

Da mesma maneira, os dados provenientes das simulações realizadas nos edifícios com 12 pavimentos são apresentados na tabela 5-5:

Tabela 5-5 - Resultados da simulação da edificação com 12 pavimentos e sistema RI com zona única

	Pavimentos			1	2				
Edificio	Apartamentos/pavimento	4	4	8	3	1	2		
	Consumo diário (l)	480	000	96000		144000			
	Modelo	MVI1	605-6	MVI	5202	MVI	MVI3203		
	H (m)			50),6				
_	Características de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM		
Bomba	Vazão máxima	25,27 3500		28,24	3500	44,74	3500		
Щ	75% da vazão máxima	18,95 3140		21,18	3406	33,56	3177		
	50% da vazão máxima	12,64 2894		14,12	3333	22,37	3004		
	25% da vazão máxima	6,32	2767	7,06	3288	11,19	2890		
	Consumo energético	K	W	K	W	K	W		
Simulação	Operação diária na faixa 1	4,	35	14	,18	8,47			
Simu	Operação diária na faixa 2	6,	93	15	,98	6,	30		
	Operação diária na faixa 3	0,	00	4,	75	17	,85		
OI	Consumo diário (KW)	11	,28	34	,91	32	,63		
Consumo	Consumo KW / m ³	0,2	235	0,364		0,227			
O	Média de consumo KW/m³			0,2	275				

5.2.3 Edifícios com 16 pavimentos

Os dados provenientes das simulações realizadas nos edificios com 16 pavimentos são apresentados na tabela 5-6:

Tabela 5-6 - Resultados da simulação da edificação com 16 pavimentos e sistema RI com zona única

	Pavimentos			1	6			
Edifício	Apartamentos/pavimento	4	4	8	8		2	
Щ	Consumo diário (1)	640	000	128	128000		000	
	Modelo	MVI	1604	MVI	3203	MVI5203		
	H (m)			63	3,8			
	Características de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM	
Bomba	Vazão máxima	25,29	3500	33,51	3500	48,99	3500	
	75% da vazão máxima	18,97 3241		25,13	3420	36,75	3351	
	50% da vazão máxima	12,64	3029	16,75	3330	24,50	3213	
	25% da vazão máxima	6,32	2933	8,38	3263	12,25	3084	
	Consumo energético	K	W	KW		KW		
Simulação	Operação diária na faixa 1	6,	74	12	,15	14,30		
Simu	Operação diária na faixa 2	13	,35	8,31		9,	49	
	Operação diária na faixa 3	0,	00	21	,40	32,	,46	
10	Consumo diário (KW)	20	,08	41,86		56,	26	
Consumo	Consumo KW / m ³	0,3	314	0,3	327	0,293		
	Média de consumo KW/m³			0,3	311			

5.2.4 Síntese dos resultados – sistema RI sem divisão em zonas de pressão

Assim como ocorreu no sistema RI-RS, a seleção de bombas para as edificações com 8 apartamentos por pavimento nos casos da edificação possuir 12 ou 16 pavimentos.

Esse fato trouxe, novamente, baixa eficiência, pontualmente no desempenho do abastecimento nessas edificações.

A figura 5-2 a seguir demonstra os resultados apurados, destacando, através das setas amarelas, as edificações cuja moto-bomba não pôde ser corretamente selecionada, pela

existência de faixas de baixa eficiência entre as linhas de produto de um determinado fabricante.

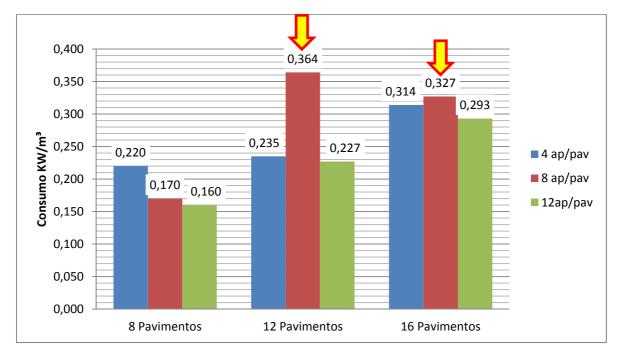


Figura 5-2 - Consumo energético no sistema RI com zona única

Exceção feita aos casos destacados acima, a tendência observada no sistema RI-RS também é válida para o sistema RI com zona única, ou seja, eficiência melhores para vazões maiores no mesmo sistema de abastecimento.

5.3 SISTEMA RI DIVIDIDO EM ZONAS DE PRESSÃO

As edificações dotadas de sistema RI com divisão em zonas de pressão foram simuladas considerando as mesmas premissas adotadas que o sistema RI com zona única.

Desta maneira, cada zona de pressão foi analisada levando-se em conta as faixas de operação.

Assim como na análise anterior, os comentários estão feitos ao final da apresentação dos resultados, na subseção 5.3.4.

5.3.1 Edificações com 8 pavimentos.

A tabela 5-7 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação com 8 pavimentos e 4 apartamentos em cada um deles.

Tabela 5-7 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão

	Pavimentos		8	3		
Edificio	Ap / pav		2	ŀ		
Edif	Cons. diário por zona (l)		160	000		
	Zona de pressão		1	2	2	
	Modelo	MVI1	602-6	MVI1	603-6	
	H necessária (m)	24	24,2		',4	
	Características de operação	m³/h RPM		m³/h	RPM	
Bomba	Vazão máxima	21,16	3500	20,57	3500	
	75% da vazão máxima	15,87	3248	15,43	3280	
	50% da vazão máxima	10,58	3103	10,29	3147	
	25% da vazão máxima	5,29 3030		5,14	3079	
	Consumo energético	K	W	K	W	
Simulação	Operação diária na faixa 1	2,	35	3,4	48	
Simu	Operação diária na faixa 2	0,	00	0,0	00	
	Operação diária na faixa 3	0,	00	0,0	00	
0	Consumo diário (KW)	2,	35	3,4	48	
Consumo	Consumo KW / m ³	0,1	147	0,218		
	Consumo total KW / m³		0,1	82		

Para a edificação de 8 pavimentos e 8 apartamentos em cada um deles, os resultados das simulações são apresentados na tabela 5-8:

Tabela 5-8 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema

RI dividido em 2 zonas de pressão

	Pavimentos			3		
Edifício	Ap / pav		8	}		
Edif	Cons. diário por zona (1)		320	000		
	Zona de pressão		1	2	2	
	Modelo	MVI1	602-6	MVI1	603-6	
	H necessária (m)	24,2		37	',4	
_	Características de operação	m³/h RPM		m³/h	RPM	
Bomba	Vazão máxima	21,16 3500		21,16	3500	
	75% da vazão máxima	15,87	3248	15,87	3248	
	50% da vazão máxima	10,58	3103	10,58	3103	
	25% da vazão máxima	5,29	3030	5,29	3030	
	Consumo energético	K	W	KW		
Simulação	Operação diária na faixa 1	1,	95	2,7	79	
Simu	Operação diária na faixa 2	2,	24	3,3	37	
	Operação diária na faixa 3	0,	00	0,0	00	
0	Consumo diário (KW)	4,	19	6,	16	
Consumo	Consumo KW / m³	0,1	31	0,192		
Ű	Consumo total KW / m³		0,1	62		

Finalmente, a tabela 5-9 mostra os resultados para a edificação de 8 pavimentos e 12 apartamentos em cada um deles:

Tabela 5-9 - Resultados da simulação da edificação de 8 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 2 zonas de pressão

	Pavimentos		:	8		
Edifício	Ap / pav		1	2		
Edif	Cons. diário (1) por zona		480	000		
	Zona de pressão		1	2	2	
	Modelo	MVI	1603-6	MVI1	604-6	
	H necessária (m)	24	24,2		7,4	
_	Características de operação	m³/h	m³/h RPM		RPM	
Bomba	Vazão máxima	27,53	27,53 3500		3500	
	75% da vazão máxima	20,65	3030	19,82	3106	
	50% da vazão máxima	13,77	2686	13,21	2812	
	25% da vazão máxima	6,88	6,88 2506		2672	
	Consumo energético	К	.W	KW		
Simulação	Operação diária na faixa 1	2.	,02	3,	00	
Simu	Operação diária na faixa 2	3,	.34	5,	15	
	Operação diária na faixa 3	0,	,00	0,	00	
O	Consumo diário (KW)	5,	.37	8,	15	
Consumo	Consumo KW / m³	0,	112	0,170		
Ö	Consumo total KW / m³		0,1	41		

5.3.2 Edificações com 12 pavimentos.

A tabela 5-10 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 4 apartamentos em cada um deles. As edificações com 12 pavimentos foram divididas em 3 zonas de pressão.

Tabela 5-10 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão

	Pavimentos			1	2			
Edificio	Ap / pav			4	4			
Edif	Cons. diário (1) por zona			160	000			
	Zona de pressão		1	2	2	3	3	
	Modelo	MVI1	602-6	MVI1	603-6	MVI1	604-6	
	H necessária (m)	24	24,2 37,4		50),6		
_	Características de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM	
Bomba	Vazão máxima	21,20	3500	20,57	3500	20,87	3500	
	75% da vazão máxima	15,90	3249	15,43	3281	15,65	3265	
	50% da vazão máxima	10,60	3103	10,29	3147	10,43	3134	
	25% da vazão máxima	5,30	3041	5,14	3079	5,22	3068	
	Consumo energético	K	KW KW			KW		
Simulação	Operação diária na faixa 1	2,	48	3,48		4,	70	
Simu	Operação diária na faixa 2	0,	00	0,	00	0,	00	
	Operação diária na faixa 3	0,	00	0,	00	0,	00	
01	Consumo diário (KW)	2,	48	3,	48	4,	70	
Consumo	Consumo KW / m ³	0,1	155	0,2	218	0,294		
	Cons total KW / m ³			0,222				

A tabela 5-11 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 8 apartamentos em cada um deles.

Tabela 5-11 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão

	Pavimentos			1	2			
Edifício	Ap / pav			;	8			
Edif	Cons. diário (1) por zona			32000				
	Zona de pressão		1	Ž	2	3	3	
	Modelo	MVI1	602-6	MVI1	603-6	MVI1	604-6	
	H necessária (m)	24,2		37	7,4	50),6	
	Características de operação	m³/h	RPM	m³/h	m³/h	RPM	m³/h	
Bomba	Vazão máxima	21,20	3500	20,57	21,20	3500	20,57	
I	75% da vazão máxima	15,90	3249	15,43	15,90	3249	15,43	
	50% da vazão máxima	10,60	3103	10,29	10,60	3103	10,29	
5	25% da vazão máxima	5,30	3041	5,14	5,30	3041	5,14	
	Consumo energético	K	W	K	W	K	W	
Simulação	Operação diária na faixa 1	2,	06	2,	2,79		76	
Simu	Operação diária na faixa 2	2,	24	3,	37	4,	55	
	Operação diária na faixa 3	0,	00	0,	00	0,	00	
O	Consumo diário (KW)	4,	30	6,16		8,	31	
Consumo	Consumo KW / m³	0,1	134	0,1	193	0,260		
O	Cons total KW / m³			0,196				

Finalmente, a tabela 5-12 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um deles.

Tabela 5-12 - Resultados da simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 3 zonas de pressão

	Pavimentos			1	2			
Edifício	Ap / pav			1	2			
Edif	Cons. diário (1) por zona			48000				
	Zona de pressão		1	,	2	3	3	
	Modelo	MVI1	603-6	MVII	604-6	MVI1	605-6	
	H necessária (m)	24	24,2 37,4		7,4	50,6		
	Características de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM	
Bomba	Vazão máxima	27,53	3500	27,35	3500	25,27	3500	
	75% da vazão máxima	20,65	3030	20,51	3143	18,95	3140	
	50% da vazão máxima	13,77	2687	13,68	2828	12,64	2894	
	25% da vazão máxima	6,88	2506	6,84	2675	6,32	2767	
	Consumo energético	K	W	K	W	KW		
Simulação	Operação diária na faixa 1	2,	02	2,97		3,	75	
Simu	Operação diária na faixa 2	3,	35	5,	14	6,	40	
	Operação diária na faixa 3	0,	00	0,	00	0,	00	
O	Consumo diário (KW)	5,	37	8,11		10	,15	
Consumo	Consumo KW / m³	0,1	112	0,1	169	0,211		
S	Consumo total			0,164				

5.3.3 Edificações com 16 pavimentos.

A tabela 5-13 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um deles. As edificações com 16 pavimentos foram divididas em 4 zonas de pressão.

Tabela 5-13 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 4 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão

	Pavimentos				1	6					
Edifício	Ap / pav				4	4					
Edif	Cons. diário				16000						
	Zona de pressão	-	1	2	2	3	3	4	4		
	Modelo	MVI1602-6		MVI1	603-6	MVI1	604-6	MVI1	605-6		
	H necessária (m)	24,2		37	7,4	50),6	63	3,8		
	Carac. de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM		
Bomba	Vazão máxima	21,2	3500	20,57	3500	20,87	3500	20,57	3500		
	75% da vazão max	15,9	3250	15,43	3280	15,65	3266	15,43	3332		
	50% da vazão max	10,6	3103	10,29	3147	10,43	3131	10,28	3199		
	25% da vazão max	5,3	3030	5,14	3078	5,22	3068	5,14	3133		
	Consumo energético	K	W	KW		KW		KW			
Simulação	Op. diária na faixa 1	2,	35	3,	47	4,67		5,	91		
Simu	Op. diária na faixa 2	0,	00	0,	00	0,00		0,00			
	Op. diária na faixa 3	0,	00	0,	00	0,00		0,	00		
01	Cons. diário (KW)	2,	35	3,	47	4,0	67	5,	91		
Consumo	Consumo KW / m ³	0,1	L 47	0,2	217	0,292		0,370			
O	Cons. total KW/m³				0,2	256					

A tabela 5-14 demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 16 pavimentos com 8 apartamentos em cada um deles.

Tabela 5-14 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 8 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão

	Pavimentos				1	6						
Edificio	Ap / pav		8									
Edif	Cons. diário (l)				320	000						
	Zona de pressão	-	1	2	2		3	4	4			
	Modelo	MVI1602-6		MVI1	603-6	MVI1	604-6	MVI1	605-6			
	H necessária (m)	24,2		37	7,4	50),6	63	3,8			
	Carac. de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM			
Bomba	Vazão máxima	21,2	3500	20,57	3500	21,2	3500	20,57	3500			
	75% da vazão max	15,9	3250	15,43	3280	15,9	3250	15,43	3280			
	50% da vazão max	10,6	3103	10,29	3147	10,6	3103	10,29	3147			
. B	25% da vazão max	5,3	3030	5,14	3078	5,3	3030	5,14	3078			
	Consumo energético	K	W	K	W	K	W	K	W			
Simulação	Op. diária na faixa 1	1,	95	2,	78	3,75		4,	73			
Simu	Op. diária na faixa 2	2,	24	3,	36	4,52		5,80				
	Op. diária na faixa 3	0,	00	0,	00	0,00		0,	00			
10	Cons. diário (KW)	4,	19	6,	14	8,	27	10	,53			
Consumo	Consumo KW / m ³	0,1	31	0,1	192	0,258		0,329				
O	Cons. total KW/m³				0,2	228						

Finalmente, a tabela 5-12, demonstra os resultados encontrados na simulação da edificação de 12 pavimentos com 12 apartamentos em cada um deles.

Tabela 5-15 - Resultados da simulação da edificação de 16 pavimentos com 12 apartamentos em cada um e sistema RI dividido em 4 zonas de pressão

	Pavimentos				1	6			
Edificio	Ap / pav				1	2			
Edif	Cons. diário (1)				480	000			
	Zona de pressão		1	2	2		3	4	4
	Modelo	MVI1	MVI1603-6		604-6	MVI1	605-6	MVI1	606-6
	H necessária (m)	24	1,2	37	7,4	50),6	63	3,8
	Carac. de operação	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM	m³/h	RPM
Bomba	Vazão máxima	27,11	3500	26,43	3500	25,27	3500	24,36	3500
	75% da vazão max	20,33	3012	19,82	3237	18,95	3140	18,27	3190
	50% da vazão max	13,56	2679	13,21	2812	12,64	2894	12,18	2973
	25% da vazão max	6,78	2504	6,61	2673	6,32	2767	6,09	1868
	Consumo energético	K	W	K	W	K	W	K	W
lação	Op. diária na faixa 1	4,	69	3,	01	3,88		5,	03
Simulação	Op. diária na faixa 2	0,	97	5,	05	6,62		8,33	
	Op. diária na faixa 3	0,	00	0,	00	0,00		0,	00
0	Cons. diário (KW)	5,	66	8,	06	10,	10,50		,37
Consumo	Consumo KW / m ³	0,1	18	0,1	168	0,219		0,279	
Ö	Cons. total KW/m³				0,1	196			

5.3.4 Síntese dos resultados – sistema RI com divisão em zonas de pressão

Por adotar moto-bombas da mesma família, o sistema RI com divisão em zonas de pressão caracterizou o aumento da eficiência conforme aumento da demanda.

A figura 5-3 a seguir demonstra os valores de consumo apurados durante as simulações:

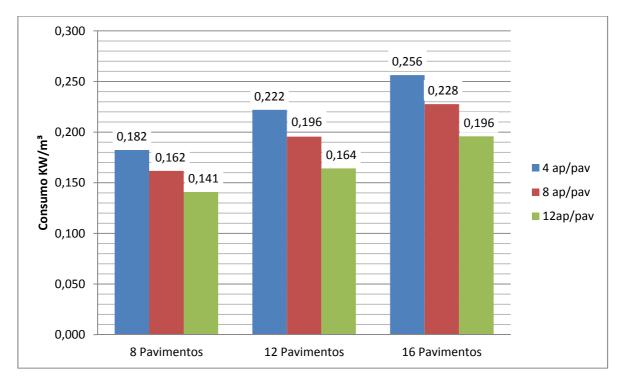


Figura 5-3 - Consumo energético no sistema RI com divisão em zonas de pressão Fonte: autor

Esse sistema foi o que apresentou resultados mais satisfatórios dentre os analisados, mostrando claramente a tendência da diminuição do consumo com o aumento da vazão da bomba.

Além disso, foi o que apresentou a menor relação KW/M³ elevado, mostrando-se, portanto, como sendo o mais eficiente entre os sistemas estudados.

6 ANÁLISE CONCLUSIVA E COMENTÁRIOS

Com os resultados obtidos nas simulações no *Simulink* foi possível conhecer as características de operação e do consumo energético dos principais sistemas de abastecimento prediais existentes no Brasil.

A figura 6-1 mostra o resultado comparativo final entre as médias de consumo energético agrupadas em edificações de mesmo número de pavimentos.

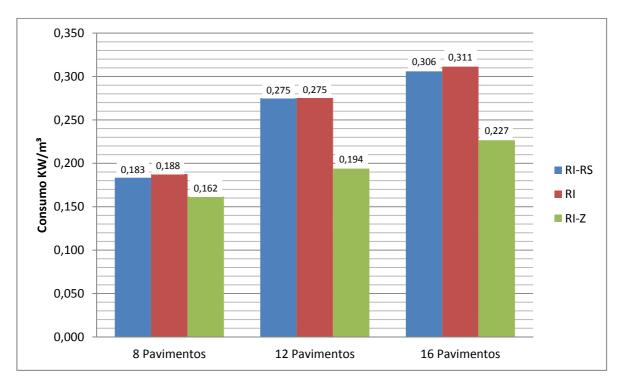


Figura 6-1 - Resultado comparativo entre as médias de consumo das edificações

O trabalho alcança seu objetivo principal na análise da ilustração acima, que leva à conclusão que, dentre os aplicáveis no Brasil, o sistema RI com divisão em zonas de pressão é o mais eficiente.

Os resultados das simulações remetem ao fato de que a principal razão disso é a divisão do abastecimento predial em segmentos que aplicam bombas menores que, por sua vez, consomem energia apenas para a realização do trabalho de elevar água até o pavimento mais alto da zona abastecida.

Em contrapartida, os sistemas RI-RS e RI com zona única consomem energia para elevar água até o último pavimento da edificação. Essa característica comum justifica os resultados bastante próximos obtidos pelos dois sistemas durante as simulações realizadas.

Nos sistemas RI-RS e RI com zona única, a energia adicional consumida para elevar a água a alturas maiores é, depois, dissipada nos dispositivos para redução da pressão que são instalados em cada pavimento para se obter a pressão de abastecimento dentro de valores seguros e confortáveis ao usuário final.

Um fato importante demonstrado nos resultados é o sobre dimensionamento obtido através do método dos pesos para as bombas que operam no sistema RI. Como necessitam atender os picos da demanda no abastecimento, essas bombas possuem capacidade disponível muito maior que a vazão efetivamente bombeada na maior parte do tempo.

Esse fato leva a bomba à operação com menor rendimento, daí a razão das edificações com menor número de apartamento por pavimento consumir mais energia por metro cúbico de água bombeada em relação às que possuem maior número de unidades atendidas.

Assim, com vistas à melhoria na eficiência do sistema RI, os projetistas de sistemas prediais devem sempre agrupar o maior número possível dos pontos de consumo que necessitam da mesma altura manométrica, e, portanto, que possam ser abastecidos pela mesma bomba.

Por exemplo, os projetos para os sistemas de abastecimento de conjuntos prediais, podem utilizar a mesma unidade de bombeamento para abastecer zonas de pressão correlatas de edificações diferentes.

Outra possibilidade é a divisão da vazão máxima instantânea em duas ou mais bombas operando em cascata. Desta maneira, a capacidade total de bombeamento continua a respeitar o estabelecido pela norma NBR5626:1998, no entanto, as bombas, sendo menores, operam utilizando uma parcela maior da sua capacidade.

RECOMENDAÇÕES PARA ESTUDOS FUTUROS 6.1

Recomenda-se para estudos futuros, a ampliação deste trabalho, incluindo o modelamento dos motores elétricos junto dos seus dispositivos de comando e/ou controle.

Da mesma maneira, sugere-se desenvolver sistemas de controle que promovam a operação das moto-bombas nas faixas de melhor rendimento, observando o comportamento sazonal do consumo de água nas edificações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.W.CHESTERTON. **Pump Principles Manual**. Massachusetts USA, 2000.

ALÉ, J. A. V. Sistemas Fluidomecânicos. Porto Alegre/RS Brasil, 2010. Apostila da disciplina de Máquinas de Fluxo - Faculdade de Engenharia de Controle e Automação - PUC-RS

ALMEIDA, A. T. Caracterização de consumos de energia - Relatório de Auditoria Energética. Coimbra, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR5626 Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro/RJ, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12211 Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água - Procedimento. Rio de Janeiro/RJ, 1992.

BACHUS, L. Know and Understanding Centrifugal Pumps. 2.ed. Elsevier, New York, 2003.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. In: Congresso Ambiente Construído, Anais, v.8, n.2, p.23-40, abr./jun Porto Alegre/RS, 2008.

BASSO, L. H. Escoamento em condutos forçados. Cascavel/PR Brasil, 2006. Apostila da disciplina de Instalações Hidráulicas Residencias e Prediais - Curso de Engenharia Civil -Faculdade Assis Gurgacz,

CHAGURI JR., J. J. Sistemas prediais de aquecimento de água a gás: Parâmetros de dimensionamento e gerenciamento. 2009. Dissertação (Mestrado) Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP

COURA S.P., Técnicas de operação em sistemas de bombeamento de água, a conta de energia elétrica no saneamento. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Brasilia/DF, 2007.

DUTRA J.B.A. Eficiência energética no controle de vazão em sistemas de bombeamento de água: uso da válvula e controle de velocidade. Paraíba do Sul, 2005

GIRDHAR, P. Practical Centrifugal Pumps - Design operation and maintenance 1.ed.. Elsevier, Burlington USA, 2005

GOMES, Heber Pimentel. Eficiência hidráulica e energética em saneamento - Análise econômica de projetos. 2^a. ed. Editora Universitária, João Pessoa/PB, 2005.

GURGEL, B. Proposição de uma metodologia para avaliação de inversores de frequencia em estações elevatórias de água. 2006. Dissertação (Mestrado), Escola Politecnica da Universidade de São Paulo, São Paulo/SP.

HAESTAD, M. Advanced Water Distribution Modeling and Management. 1.ed. Haestad Methods Inc., Waterbury USA, 2003.

HYDRAULIC INSTITUTE STANDARDS. For centrifugal rotary & reciprocating pumps. 14 ded., Cleveland, Ohio, 1983.

ILHA, M. S. D. O. Sistemas Prediais de água fria. 1994. Texto Técnico, Escola Politecnica da Universidade de São Paulo SP, São Paulo/SP.

KARASSIK, I. J. **The Pump Handbook**. McGraw-Hill, New York, 1986.

MESQUITA, A. L. A. Utilização de bombas centrífugas em velocidade variável para a redução do consumo de energia. In: VI SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. Anais. João Pessoa/PB.

NETTO, A. Manual de Hidráulica.8 ed. Blucher, 1998. São Paulo/SP

SIEMENS LTDA. Motores elétricos Siemens e a economia de energia. São Paulo/SP: Siemens Ltda., 2005.

TSUTIYA, M. T., Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água. ABES Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2006.

TSUTIYA, M. T. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da universidade de São Paulo. 3 ª Edição. São Paulo, 2006.

WEG S.A. Motores de Indução Alimentados por Inversores de Frequência PWM. Jaraguá do Sul / SC: Weg S.A., 2009.

WILO AG. Fundamental Principles of pump technology. Wilo AG, Dortmund, 2005.

WILO AG. Pressure Boosting Technology. Wilo AG, Dortmund, 2008

WILO AG. High Pressure Multistage Centrifugal Pumps. Catalogue A3. Wilo AG, Dortmund, 2008

-	- 4	_
- 1		′ 1
- 1		

ANEXO I: Tabela dos comprimentos equivalentes para cálculo de perdas de carga nas tubulações.



MANUAL TÉCNICO

	TABELA 7 - PERDA DE CARGA EM ACESSÓRIOS										
Tabela de perd	as de ca	rgas localiz	adas em			-	e os com	primento	s equival	entes em	metros
			D:4		canalizaç						
CONEXÃO)				minal X E	_					
		MATERIAL	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"	5"
Curva 90°	G	PVC	0,5	0,6	0,7	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,9
	=		0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,3	1,6	2,1
Curva 45°	1	PVC	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1
	⊟	Metal	0,2	0,2	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Joelho 90°		PVC	1,2	1,5	2,0	3,2	3,4	3,7	3,9	4,3	4,9
	ㅂ	Metal	0,7	8,0	1,1	1,3	1,7	2,0	2,5	3,4	4,2
Joelho 45°		PVC	0,5	0,7	1,0	1,3	1,5	1,7	1,8	1,9	2,5
	브	Metal	0,3	0,4	0,5	0,6	8,0	0,9	1,2	1,5	1,9
Tê de passagem	₫»	PVC	0,8	0,9	1,5	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	3,3
direta	₩,	Metal	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7
Tê de salda	-	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
lateral 4	华。	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
Tê de salda	Þ	PVC	2,4	3,1	4,6	7,3	7,6	7,8	8,0	8,3	10,0
bilateral	tto.	Metal	1,4	1,7	2,3	2,8	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4
União	₩	PVC	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,15	0,2	0,25
	m	Metal	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
Salda de	123	PVC	0,9	1,3	1,4	3,2	3,3	3,5	3,7	3,9	4,9
canalização	-	Metal	0,5	0,7	0,9	1,0	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0
Luva de	\Box	PVC	0,3	0,2	0,15	0,4	0,7	0,8	0,85	0,95	1,2
redução (*)	ш	Aço	0,29	0,16	0,12	0,38	0,64	0,71	0,78	0,9	1,07
Registro de gave	a Ā	PVC	0,2	0,3	0,4	0,7	8,0	0,9	0,9	1,0	1,1
ou esfera aberto	401	Metal	0,1	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9
Registro de globo aberto	Ā	Metal	6,7	8,2	11,3	13,4	17,4	21,0	26,0	34,0	43,0
Registro de ângulo aberto	T	Metal	3,6	4,6	5,6	6,7	8,5	10,0	13,0	17,0	21,0
Válvula de pé		PVC	9,5	13,3	15,3	18,3	23,7	25,0	26,8	28,8	37,4
com crivo	9.0	Metal	5,6	7,3	10,0	11,6	14,0	17,0	22,0	23,0	30,0
Walkula de Alegonia de Alegoni	at_t	Metal	1,6	2,1	2,7	3,2	4,2	5,2	6,3	6,4	10,4
Vertical	#	Metal	2,4	3,2	4,0	4,8	6,4	8,1	9,7	12,9	16,1

OBSERVAÇÕES:

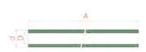
Ex.: 1.1/4" x 1" - 1.1/2" x 1.1/4"

Fonte: Manual Técnico – Schneider Bombas.

a - Os valores acima estão de acordo com a NBR 5626/82 e Tabela de Perda de Targa da Tigre para PVC rigido e cobre, e NBR 92/80 e Tabela de Perda de Carga Tupy para ferro fundido galvanizado, bronze ou latão.

b - (*) Os diâmetros indicados referem-se à menor bitola de reduções concéntricas, com fluxo da maior para a menor bitola, sendo a bitola maior uma medida acima da menor.

	Anexo II	_114
ANEXO II: Destaque de catálogo do fabricante de tubos hidráulicos de	PPR Ama	anco



DN	d	D	Α
32	32	26,2	3000
40	40	32,6	3000
50	50	40,8	3000
63	63	51,4	3000
75	75	61,4	3000
90	90	73,6	3000
110	110	90	3000

Tubo PPR PN 12 para Água Fria Tubo identificado

pela linha azul



Comprimento	Código	е	Bitola	Embal.
3 m	17711	2,9	32	10
3 m	17712	3,7	40	05
3 m	17714	4,6	50	05
3 m	17716	5,8	63	04
3 m	17718	6,8	75	03
3 m	17720	8,2	90	02
3 m	17722	10	110	01

e = Espessura de parede (mm)

Tubo PPR PN 20

Tubo identificado pela linha amarela



Comprimento	Código	e	Bitola	Embal.
3 m	17724	2,8	20	25
3 m	17725	3,5	25	25
3 m	17726	4,4	32	10
3 m	17727	5,5	40	05
3 m	17729	6,9	50	05
3 m	17731	8,6	63	04
3 m	17733	10,3	75	03
3 m	17735	12,3	90	02
3 m	17737	15,1	110	01

Bitola

32

40

50

63

75

110

Embal.

25

10

05

05

04

03 02

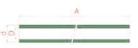
e = Espessura de parede (mm)



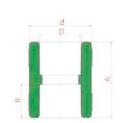
75



DN	d	D	Α
20	20	13,2	3000
25	25	16,6	3000
32	32	21,2	3000
40	40	26,6	3000
50	50	33,4	3000
63	63	42	3000
75	75	50	3000
90	90	60	3000
110	110	73,4	3000



DN	d	D	Α
20	20	13,2	3000
25	25	16,6	3000
32	32	21,2	3000
40	40	26,6	3000
50	50	33,4	3000
63	63	42	3000
75	75	50	3000
90	90	60	3000
110	110	73,4	3000



DN	d	D	Α	В
20	28	19	34	15
25	34	23,8	37	16,5
32	43	30,7	41	18,5
40	54,1	39	46	21
50	67,5	48,9	52	24
63	85,1	61,9	60	28
75	101,2	74,3	69	31,5
90	121,2	89,3	79	36
110	148	1094	92	42

Tubo PPR PN 25

Tubo identificado pela linha vermelha



e = Espessura de parede (mm)

Luva Simples F/F - PPR

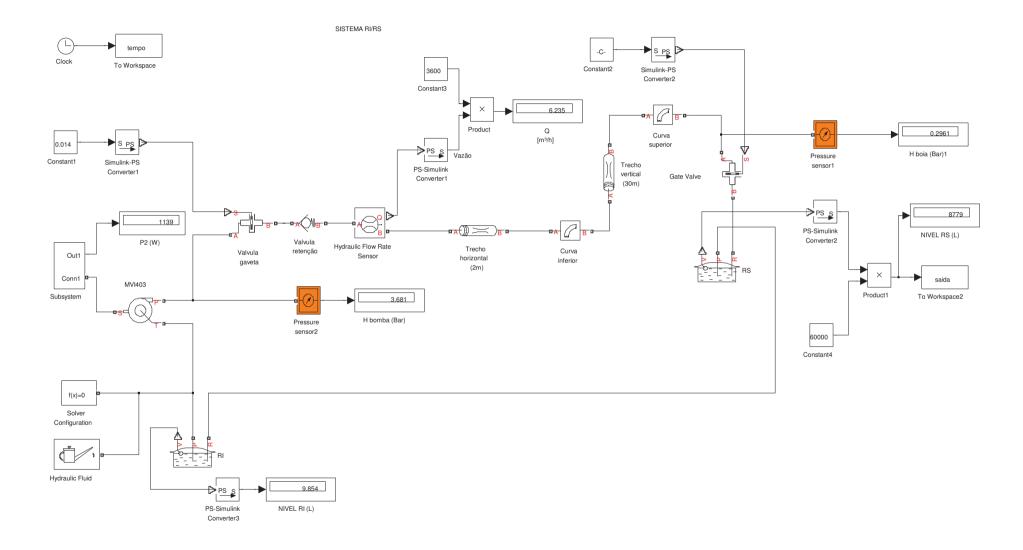


Cóc	ligo		
SCB	CCB	Bitola	Embal.
13324	14200	20	10
13325	14201	25	10
13326	14202	32	10
14577	14571	40	05
14578	14572	50	02
	14573	63	01
	14574	75	01
	14575	90	01
	14576	110	01

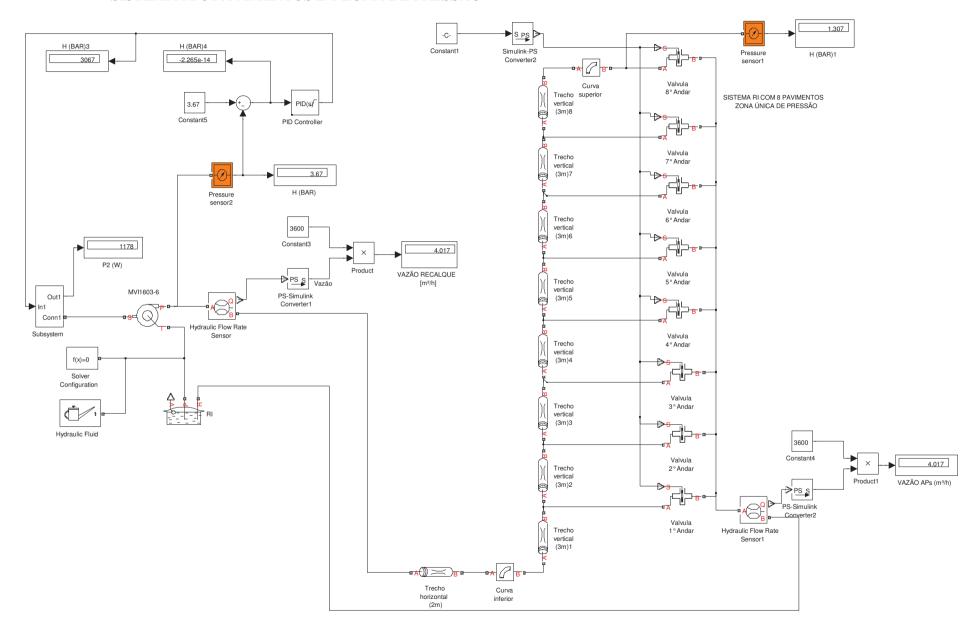


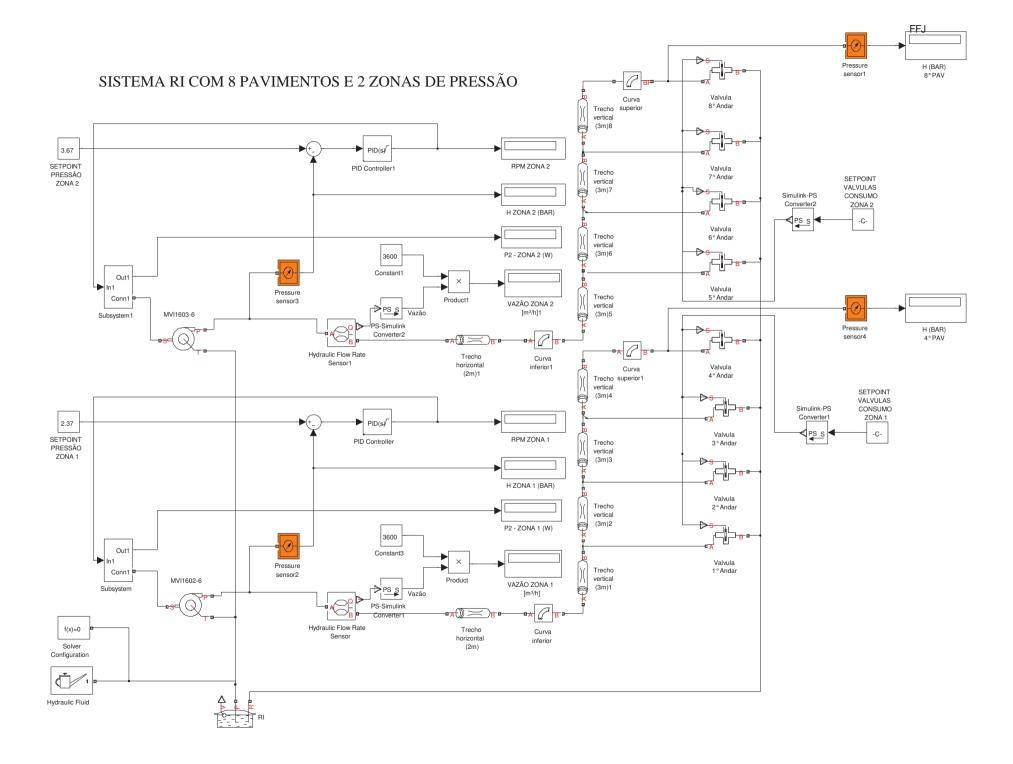
ANEXO III: Modelos simulados no Simulink

SISTEMA RI/RS

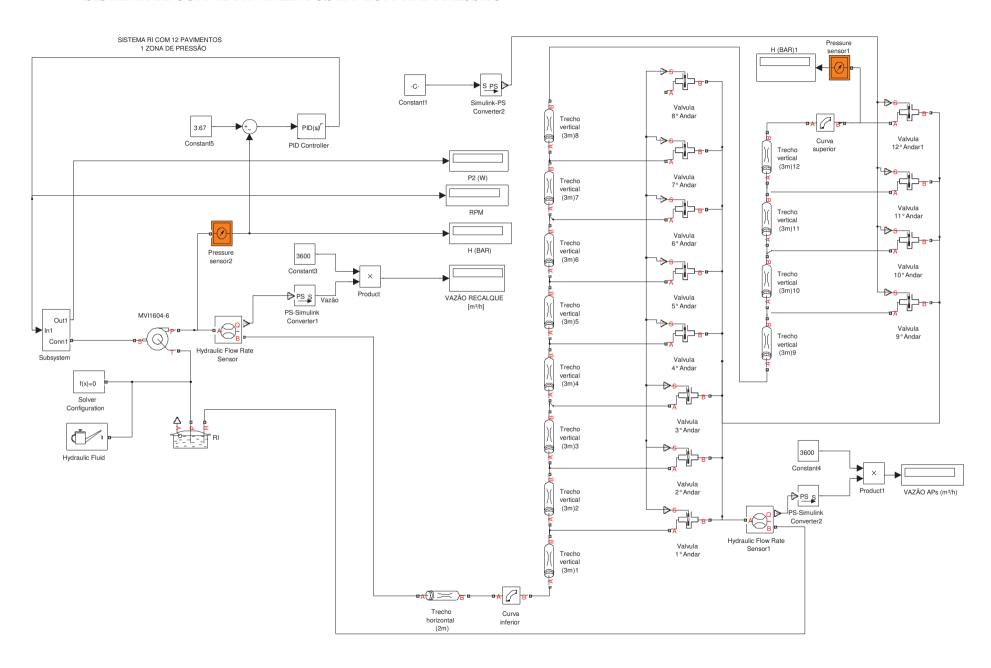


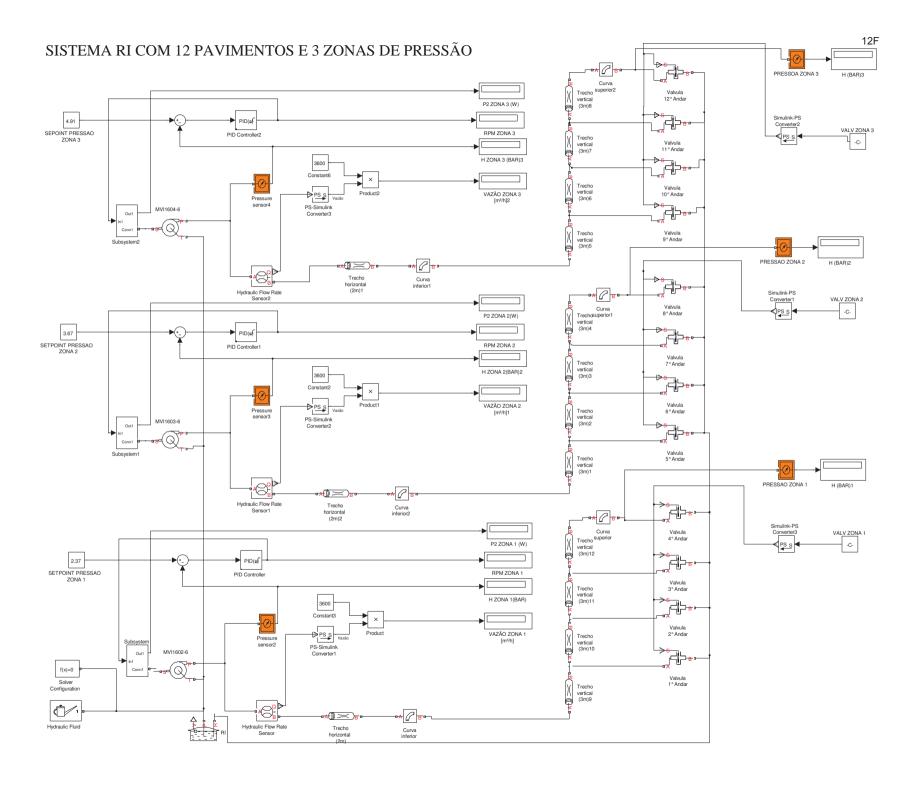
SISTEMA RI 8 PAVIMENTOS E 1 ZONA DE PRESSÃO



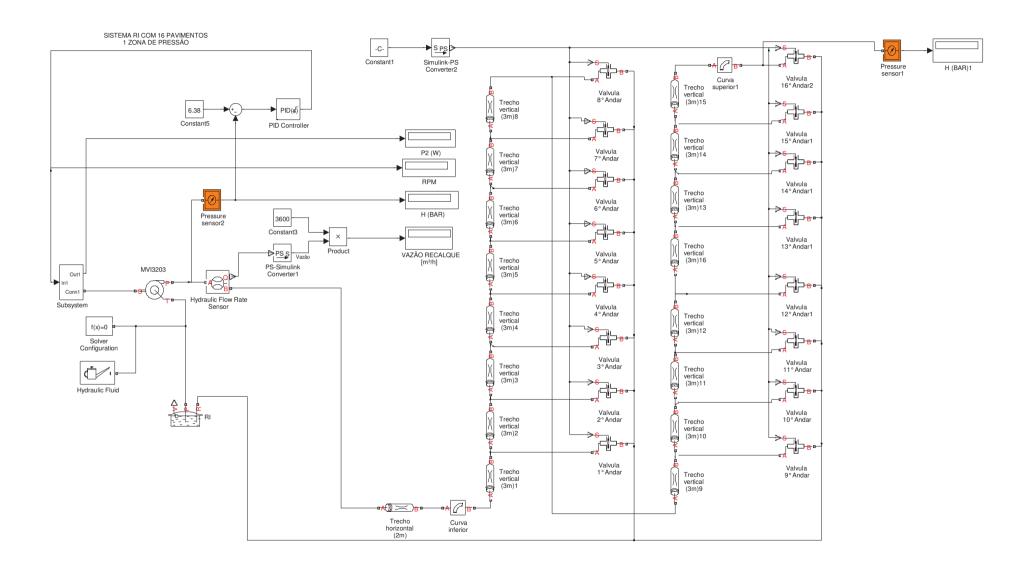


SISTEMA RI COM 12 PAVIMENTOS E 1 ZONA DE PRESSÃO





SISTEMA RI COM 16 PAVIMENTOS E 1 ZONA DE PRESSÃO



SISTEMA RI COM 16 PAVIMENTOS E 4 ZONAS DE PRESSÃO

