

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA  
ESPECIALIZAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**ANDRÉ SZCZEPANSKI SILVESTRIN**

**PROPOSTA DE MELHORIA OPERACIONAL NO SISTEMA  
INTEGRADO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA REDUÇÃO DOS  
CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2012**

ANDRÉ SZCZEPANSKI SILVESTRIN

**PROPOSTA DE MELHORIA OPERACIONAL NO SISTEMA  
INTEGRADO DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA PARA REDUÇÃO DOS  
CUSTOS COM ENERGIA ELÉTRICA**

Monografia de conclusão do curso de Especialização em Automação Industrial do Departamento Acadêmico de Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira

CURITIBA

2012

## DEDICATÓRIA

A Jesus Cristo, meu Senhor e Salvador.

À Andressa, amor da minha vida, pelo exemplo de dedicação e por acreditar, razão de eu permanecer firme e não desistir.

Aos meus pais e irmãos, pela enorme compreensão nas minhas ausências.

Aos meus familiares e amigos, que mesmo sem concordar, entenderam meus esforços.

Ao professor Valmir, pela atenção dispensada e agilidade nas orientações.

## RESUMO

SILVESTRIN, Andre S. **Proposta de melhoria operacional no sistema integrado de distribuição de água para redução dos custos com energia elétrica.** 2012. 86f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Automação Industrial, UTFPR, Curitiba.

Esta pesquisa apresenta a questão do consumo energético em sistemas de distribuição de água tratada. Avaliando o consumo de energia elétrica nas estações elevatórias de transferência entre reservatórios, propõe-se a utilização de um sistema de controle que auxilie no desligamento dos conjuntos motobombas (CMBs) nos horários de ponta. A análise baseia-se em um segmento de um sistema integrado de distribuição de água. As condições do sistema foram determinadas com a coleta de dados dos instrumentos de campo, via sistemas de supervisão e controle e em banco de dados históricos. A coleta dos dados forneceu condições para que se desenvolvesse um sistema de controle, de modo a permitir a operação do sistema mantendo níveis seguros nos reservatórios para os desligamentos em horários de ponta, em que os custos com energia elétrica são mais elevados.

**Palavras-Chaves:** Distribuição de água. Abastecimento de água. Energia elétrica. Sistema supervisorio. Bombeamento de água.

## ABSTRACT

SILVESTRIN, Andre S. **Proposta de melhoria operacional no sistema integrado de distribuição de água para redução dos custos com energia elétrica.** 2012. 86f. Monografia (Especialização em Automação Industrial) - Programa de Pós-Graduação em Automação Industrial, UTFPR, Curitiba.

This research presents the issue of energy consumption in distribution systems of treated water. Evaluating the energy consumption in pumping stations transfer between reservoirs, proposing the use of a control system to help to the shutdown of motor pumps sets (CMBS) in peak hours. The analysis is based on a segment of an integrated water distribution system. The system conditions were determined by collecting data from field instruments, via supervisory control systems and in historical database. Data collection provided conditions to develop a control system in order to allow the operation of the system maintained safe levels in the reservoirs for shutdowns in peak hours, when electricity costs are higher.

**Key Words:** Water distribution. Water supply. Electricity. Supervisory system. Pumping water.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Ciclo da água. ....	21
Figura 2.2- Pressão atmosférica, absoluta e relativa.....	23
Figura 2.3- Representação gráfica da Equação de Bernoulli. ....	26
Figura 2.4 - Bernoulli: dois pontos do escoamento.....	26
Figura 2.5 - Perda de carga na tubulação. ....	28
Figura 2.6 - Principais tipos de bombas.....	29
Figura 2.7 - Bomba centrífuga horizontal, estágio único, de sucção simples. ....	32
Figura 2.8 - Bomba centrífuga horizontal, estágio único, de dupla sucção.....	32
Figura 2.9 - Bomba centrífuga horizontal de dupla sucção, aberta. ....	33
Figura 2.10 - Rotor fechado de dupla sucção.....	33
Figura 2.11 - Tipos de rotores. ....	34
Figura 2.12 - Bombas submersíveis. ....	34
Figura 2.13 - Bombas submersas e detalhe do bombeador com estágios múltiplos. ....	35
Figura 2.14 - Máquinas elétricas.....	36
Figura 2.15 - O universo tecnológico de motores elétricos.....	37
Figura 2.16 - Motor de indução assíncrono. ....	38
Figura 2.17 - Instalação típica de bombeamento.....	40
Figura 2.18 - Sistema de abastecimento de água. ....	41
Figura 2.19 - Posições dos reservatórios em relação ao terreno. (a) reservatório enterrado; (b) reservatório semi-enterrado; (c) reservatório apoiado; e (d) reservatório elevado.....	44
Figura 2.20 - Níveis operacionais de reservatórios. ....	45
Figura 2.21 - Níveis de automação.....	46
Figura 2.22 – Sensor tipo radar. ....	49
Figura 2.23 – Sensor ultrassônico .....	49

Figura 2.24 – Sensor de pressão diferencial. ....	50
Figura 2.25 – Sensor de pressão hidrostática. ....	50
Figura 2.26 – Sensor de pressão manométrica. ....	51
Figura 2.27 – Representação esquemática de um medidor de vazão eletromagnético. ....	53
Figura 2.28 – Medidores de vazão eletromagnéticos. ....	54
Figura 2.29 - Os principais componentes de um CLP típico. ....	55
Figura 2.30 - Diagrama de blocos funcional de um sistema de controle em malha fechada. ....	55
Figura 2.31 - Diagrama geral de um sistema SCADA. ....	56
Figura 2.32 - Exemplo de sistema SCADA de um sistema de abastecimento de água. ....	57
Figura 2.33 - Estrutura típica de um sistema baseado em rede Profibus. ....	59
Figura 2.34 - Arquitetura do <i>software</i> historiador ( <i>Proficy Historian</i> - GE). ....	60
Figura 3.1 - Variações de consumo no ano e diário. ....	62
Figura 3.2 - Sistema de distribuição de água (Sistema 07 – esquemático). ....	63
Figura 3.3 - Controle de nível de um reservatório. ....	64
Figura 3.4 - Sistema de controle de nível. ....	64
Figura 3.5 - Aplicação Excel <i>Add-in</i> - Localização de <i>Tags</i> . ....	68
Figura 3.6 - Ferramenta para localizar as <i>Tags</i> no aplicativo Excel <i>Add-in</i> . ....	69
Figura 3.7 - Aplicação Excel <i>Add-in</i> - Consulta de dados históricos. ....	70
Figura 3.8 - Ferramenta para importar valores históricos de <i>Tags</i> no aplicativo Excel <i>Add-in</i> . ....	71
Figura 3.9 - Valores dos totalizadores de vazão direta dos medidores de distribuição. ....	72
Figura 3.10 - Planilha de cálculos para determinar a curva de demanda diária. ....	73
Figura 3.11 - Vazão horária e média de consumo diária. ....	73
Figura 3.12 - Curvas de consumo diário dos reservatórios do sistema de distribuição. ....	74
Figura 3.13 - Diagrama de blocos conceitual de um sistema de controle em malha fechada. ....	75
Figura 3.14 - Planilha de dados. ....	77

Figura 3.15 - Aplicação Excel <i>Add-in</i> - Consulta de valores atuais. ....	77
Figura 3.16 - Ferramenta para importar valores atuais de <i>Tags</i> no aplicativo Excel <i>Add-in</i> . ....	78
Figura 3.17 - Representação da tela de controle do sistema distribuidor. ....	79



## LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 - Quadro comparativo de tarifas aplicadas para consumidores do grupo A4 pela COPEL em 2012, com impostos (ICMS e PIS/COFINS) .....	16
Quadro 3.1 - Medidores de Nível e Vazão das unidades operacionais. ....	66
Quadro 3.2 - Características construtivas e operacionais dos reservatórios. ....	66
Quadro 3.3 - Medidores de vazão de distribuição dos reservatórios. ....	68

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CCO	Centro de Controle Operacional
CLP	Controlador Lógico Programável
CMB	Conjunto Motobomba
COPEL	Companhia Paranaense de Energia
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
ETA	Estação de Tratamento de Água
FT	Transmissor de Vazão
ISA	<i>The Instrumentation, Systems and Automation Society</i>
LT	Transmissor de Nível
PT	Transmissor de Pressão
RES	Reservatório
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
SCADA	Sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados (do original <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> )

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>13</b>
1.1	TEMA.....	13
1.2	DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	15
1.3	PROBLEMAS E PREMISSAS.....	15
1.4	OBJETIVO.....	17
1.4.1	Objetivo geral.....	17
1.4.2	Objetivos específicos.....	17
1.5	JUSTIFICATIVA.....	18
1.6	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	18
1.7	EMBASAMENTO TEÓRICO.....	19
1.8	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>21</b>
2.1	CONCEITOS GERAIS DE HIDRÁULICA.....	21
2.1.1	Pressão.....	22
2.1.2	Vazão.....	23
2.1.3	Equação de Bernoulli.....	24
2.1.4	Altura manométrica total.....	27
2.1.5	Perdas de carga.....	27
2.2	CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO.....	28
2.2.1	Bombas.....	29
2.2.2	Bombas centrífugas.....	30
2.2.3	Motores elétricos.....	36
2.2.4	Motor elétrico assíncrono de indução trifásico.....	38
2.2.5	Estações elevatórias.....	39
2.3	CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	40
2.3.1	Captação de água e sistema produtor.....	41
2.3.2	Adutoras.....	42
2.3.3	Reservatórios e sistema distribuidor.....	42
2.4	AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	45
2.4.1	Conceitos gerais de Automação.....	46

2.4.2	Conceitos gerais de Instrumentação .....	47
2.4.3	Medição de nível.....	48
2.4.4	Medição de vazão.....	52
2.4.5	Conceitos gerais de Controle.....	54
2.4.6	Sistema Supervisório .....	56
2.4.7	<i>Software</i> Historiador .....	59
<b>3</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....</b>	<b>61</b>
3.1	DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS .....	65
3.2	DETERMINAÇÃO DA CURVA DE CONSUMO DIÁRIO.....	67
3.3	DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES PARA AS ELEVATÓRIAS DE TRANSFERÊNCIA .....	75
<b>4</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>80</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>83</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Este capítulo é constituído por uma estrutura formada por 8 (oito) partes. Na primeira é apresentado o tema da monografia, seguido da delimitação da pesquisa, dos problemas e premissas, dos objetivos, da justificativa, dos procedimentos metodológicos, do embasamento teórico e da estrutura do trabalho.

## 1.1 TEMA

Em uma esfera social onde ações que promovem o crescimento sustentável e o uso consciente e eficiente dos recursos naturais passam por todos os segmentos da sociedade, esta pesquisa é iniciada posicionando o setor de saneamento e suas peculiaridades no ambiente industrial e econômico, em especial no que se refere ao consumo energético. Traçando o perfil das principais causas de desperdício, buscam-se alternativas inteligentes para o uso racional de energia baseado em dados concretos, como os custos das tarifas.

Em uma época em que o poder público e a coletividade têm o dever de proteger e preservar o meio ambiente, todas as medidas que confluem para o atendimento desses objetivos afiguram-se relevantes e se expressam desde a economia dos recursos naturais, pelas pessoas no âmbito doméstico, até a seara global, onde, por meio de convenções internacionais, além de se discutir acerca das questões ambientais em seus diferentes aspectos, estabelecem-se metas a serem alcançadas pelos países signatários (GARCIA e THOMÉ, 2010).

Sabe-se que para a geração de energia elétrica é utilizada de pelo menos uma forma de exploração do meio ambiente. Traduzindo a preocupação com a economia desse recurso é que o Brasil, seguindo modelo já adotado em outros países, implantou o horário de verão, período de quatro meses em que os relógios são adiantados em uma hora a fim de reduzir a demanda de energia no horário de ponta, com o mais prolongado uso da luz natural, resultando em uma redução

medida do consumo entre 4 a 5%, conforme informações divulgadas pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (AGÊNCIA..., 2012).

Conforme observado por Gomes (2005), em muitas companhias de saneamento os custos com energia elétrica representam o segundo item das despesas de exploração, quais sejam, as relacionados à operação e à manutenção das instalações, ficando atrás apenas dos gastos com os seus funcionários.

De acordo com os dados divulgados no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2009, do Ministério das Cidades, mais de 7,8 bilhões de kWh/ano foram consumidos pelas empresas de saneamento para o tratamento de água e esgotos (SISTEMA..., 2009). Isso equivale a 2% do consumo total de energia elétrica do Brasil naquele ano, que foi de 384.306 GWh, conforme dados históricos contidos no relatório do consumo nacional de energia elétrica por classe – 1995-2011, divulgado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) do Ministério de Minas e Energia (EMPRESA..., 2012). Ainda, segundo referido autor, equipamentos de suma importância para o setor, como os conjuntos motobomba, são responsáveis por 90% de todo o consumo de energia elétrica dos prestadores de serviço de água e esgotamento sanitário.

O regime de funcionamento dos referidos conjuntos consiste basicamente em avaliar o período de operação em um específico intervalo de tempo, aliando-se aos dados de vazão demandada a ser disponibilizada ao sistema, bem assim às capacidades dos reservatórios, de modo que influenciam diretamente na utilização ou não das elevatórias em horário de ponta.

Justamente esse é o foco deste trabalho, no qual, partindo da abordagem da otimização do sistema de distribuição de água tratada para as elevatórias de transferências, buscar-se-á a redução do consumo de energia elétrica no horário de ponta, reduzindo-se as perdas, contribuindo para o meio ambiente, e melhorando a competitividade da prestadora do serviço no mercado.

## 1.2 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A proposta deste trabalho é apresentar uma ferramenta que seja baseada nos dados disponíveis no supervisório, de todas as variáveis de processo envolvidas, porém sem ação direta nos equipamentos. Permanecendo no âmbito da gestão da operação, como um apoio à tomada de decisão. Pois, uma vez que existe um sistema supervisório desenvolvido e operando, não será possível interferir diretamente no funcionamento das estações de bombeamento, isso demandaria diversas alterações nos programas desenvolvidos nos controladores lógicos programáveis (CLPs), além dos intertravamentos e das telas de comando dos sistemas SCADA<sup>1</sup>.

## 1.3 PROBLEMAS E PREMISAS

É inevitável que o controle do sistema de distribuição de água de uma região tenha que ser tratado como um grande e complexo conjunto de unidades autônomas, com suas particularidades e suas limitações físicas, que são ligados entre si para garantir o abastecimento da população.

Especificamente para este setor de saneamento, as perdas ocorrem no vazamento de água em tubulações e conexões, no desperdício de produtos químicos, nas falhas de projetos e/ou execução, nos problemas administrativos, nas vazões consumidas e não faturadas e nas questões operacionais, especialmente no uso despreocupado da energia elétrica. Esses problemas físicos nas instalações, as limitações no sistema produtor de água, a capacidade de transferência de cada estação elevatória de bombeamento e a capacidade de reserva são alguns dos fatores que dificultam o desligamento das bombas no horário de ponta.

---

<sup>1</sup> Sistema de Supervisão, Controle e Aquisição de Dados, proveniente do seu nome em inglês *Supervisory Control and Data Acquisition* – SCADA.

Em um sistema de distribuição de água ideal, as elevatórias de transferência entre reservatórios permaneceriam desligadas durante o horário de ponta, das 18 às 21 horas, nos dias de semana, na maioria dos estados brasileiros (GOMES, 2009 p. 322). O motivo é evidente, o custo da tarifa é efetivamente maior nesse intervalo. Para os consumidores residenciais e comerciais atendidos em baixa tensão não há distinção de tarifa entre os horários de fornecimento de energia. Porém, para as indústrias e demais atividades que são alimentados em média ou alta tensão, as tarifas são aplicadas conforme contratado, de modo que se pode levar em consideração além do horário, o período do ano, a demanda e o consumo.

Contextualizando a situação, o quadro 1.1 compara duas modalidades de tarifação, ambas do grupo A4 (nível de tensão de 2,3 a 25 kV). O primeiro tipo de tarifa escolhido é a Horossazonal Verde, onde o valor para a demanda contratada é única e apenas o consumo é diferenciado pelo horário de utilização. A segunda é a Horossazonal Azul, que diferencia o horário para a demanda e para o consumo.

	<b>Horossazonal VERDE</b>	<b>Horossazonal AZUL</b>
<b>Demanda (R\$/kW)</b>	...	...
Ponta	14,03	53,80
Fora de Ponta	14,03	14,03
Ultrapassagem Ponta	42,09	161,40
Ultrapassagem Fora de Ponta	42,09	42,09
<b>Consumo (R\$/kWh)</b>	...	...
Ponta Seca	1,60290	0,35355
Ponta Úmida	1,57050	0,32115
Fora de Ponta Seca	0,22598	0,22598
Fora de Ponta Úmida	0,20718	0,20718

**Quadro 1.1 - Quadro comparativo de tarifas aplicadas para consumidores do grupo A4 pela COPEL em 2012, com impostos (ICMS e PIS/COFINS)**  
 Fonte: Adaptado da COPEL (COMPANHIA..., 2012)

Como se vê, considerando a tarifa A4 Horossazonal Verde, os custos para utilização das elevatórias em horário de ponta são aproximadamente 7 vezes maiores. Um sistema de distribuição de água que opere com as elevatórias apenas nos horários fora do de ponta, em um sistema de controle via supervisorio baseado



nos dados de instrumentação de campo é o estado da arte a ser buscado para qualquer companhia de saneamento.

Existe um sistema supervisório instalado que contempla lógicas de funcionamento para controle de enchimento dos reservatórios distribuídos por uma determinada região. Porém, mesmo assim, algumas elevatórias permanecem ligadas durante o horário de ponta, pois não há níveis seguros de água nos reservatórios para uma parada nas bombas sem que haja desabastecimento.

## 1.4 OBJETIVO

### 1.4.1 Objetivo geral

Propor uma ferramenta de apoio para operação do sistema de distribuição integrado de água tratada.

### 1.4.2 Objetivos específicos

- a) Coletar os dados dos instrumentos de campo (transmissores de nível e de vazão);
- b) Analisar os dados e gráficos históricos de leitura dos instrumentos para montagem de uma base de dados.
- c) Definir uma estratégia de controle baseada na instrumentação instalada e disponível no sistema supervisório, para desligamento das elevatórias no horário de ponta;

## 1.5 JUSTIFICATIVA

A preocupação com a sustentabilidade ambiental impulsiona as pesquisas e técnicas que minimizem os impactos ambientais, mas garantindo o desenvolvimento econômico e a equidade social. Nessa perspectiva, a adoção da política ambiental além de simbolizar o cumprimento de um dever a todos imposto, reverte em benefícios financeiros.

A má gestão dos recursos energéticos além de ir de encontro ao que se almeja ambientalmente, implica em gastos desnecessários, com o desperdício de recursos.

Os maiores custos com energia no processo de tratamento e distribuição de água são com o transporte da água tratada (bombeamento). Tarifas com valores diferenciados em função do horário de energia consumida impulsionam o desenvolvimento de técnicas para adequação das instalações e de busca de novas tecnologias.

A partir destas informações, destaca-se a importância de se reavaliar o funcionamento e a operação destes equipamentos, analisando-se às possibilidades de sua otimização, sem se adentrar na abordagem de mérito do tipo ou modelo de motores e bombas utilizadas.

Aliando os conhecimentos em automação aos operacionais pode-se melhorar o controle do sistema integrado de distribuição de água tratada, sem a necessidade de se ter investimentos diretos para atingir os objetivos definidos de redução nos custos de energia elétrica nos horários de ponta.

## 1.6 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Esta é uma pesquisa científica de investigação aplicada segundo o Manual de Frascati (ORGANIZAÇÃO..., 2007). Utilizando os métodos para classificação de pesquisas proposto por Gil (2002), com base nos seus objetivos, a

pesquisa é explicativa. Quanto ao seu delineamento, ou seja, o procedimento adotado para a coleta dos dados, a pesquisa é de campo, com o tratamento dos dados de forma qualitativa.

O detalhamento da pesquisa constará do capítulo 3.

## 1.7 EMBASAMENTO TEÓRICO

Com o objetivo claro de trabalhar com dados, regras e valores utilizados na prática e atualmente vigentes nos contratos de fornecimento de energia elétrica, a pesquisa inicia coletando informações diretamente da ANEEL e da Companhia Paranaense de Energia Elétrica – COPEL.

Por sua vez, para os assuntos relacionados às empresas de concessões para a atividade de saneamento, a fundamentação teórica para abordar os sistemas de abastecimento de água e eficiência energética em bombeamentos tem como base Gomes (2004, 2005, 2009) e Tsutiya (2004), especificamente os conceitos gerais de sistemas de bombeamento, sistemas de abastecimento de água e ferramentas de automação, instrumentação e controle

## 1.8 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho compõe-se de 4 (quatro) partes, cada uma compreende um capítulo, da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução.
- Capítulo 2 – Fundamentação teórica.
- Capítulo 3 – Procedimentos metodológicos.
- Capítulo 4 – Conclusão.

O Capítulo 1, introdutório desse trabalho, apresenta o tema central de forma a posicionar o sistema de abastecimento de água frente ao consumo

energético e suas implicações, definindo-se os problemas e as premissas, os objetivos propostos, a justificativa e a metodologia de pesquisa adotada.

O Capítulo 2 contém os fundamentos teóricos com os conceitos gerais de sistemas de bombeamento, sistemas de abastecimento de água e ferramentas de automação, instrumentação e controle.

O Capítulo 3 descreve os procedimentos metodológicos adotados neste trabalho.

O Capítulo 4 apresenta as análises dos resultados do trabalho, seguido das conclusões.

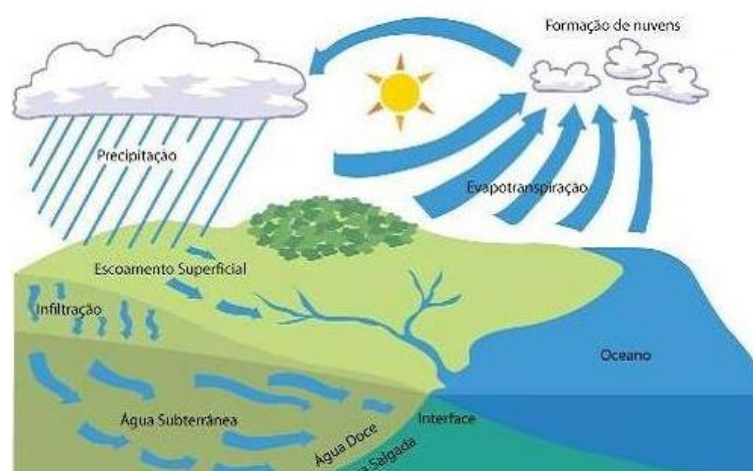
## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 CONCEITOS GERAIS DE HIDRÁULICA

O termo fluido, no dicionário da língua portuguesa, é definido como uma substância que pela pouca adesão de suas moléculas entre si cede a qualquer força e portanto não tem forma independente, mas toma a do recipiente em que é posta, ou ainda, é o nome genérico de qualquer líquido ou gás (MICHAELIS, 2012).

A ciência que estuda o comportamento físico dos fluidos é denominada Mecânica dos Fluidos, tem como base as leis da Mecânica e da Termodinâmica (GOMES, 2009 p.15). A disciplina que estuda apenas os líquidos, mais especificamente, a água é a Hidráulica, seu significado vem do grego *hydor* (água) e *aulos* (tubo, condução) que tem o significado “condução de água” (AZEVEDO NETTO, 1998 p. 1).

O fluido água encontra-se no planeta nas fases sólida, líquida e gasosa. Está presente na superfície terrestre (em rios, lagos, mares, geleiras); nos seres vivos (na fauna, flora e vida humana); em camadas subterrâneas (nos lençóis freáticos e aquíferos); e na atmosfera (nuvens, vapor, chuva, neve). A água não é uma substância estática, mas circula na natureza por meio de fenômenos que, juntos, caracterizam o Ciclo da Água ou ciclo Hidrológico (SANEPAR, 2012), conforme mostrado na figura 2.1.



**Figura 2.1 - Ciclo da água.**

**Fonte: SANEPAR (COMPANHIA..., 2012).**

A água possui densidade ou massa específica de  $1.000 \text{ kg/m}^3$  e peso específico  $\gamma$  igual a  $1.000 \text{ kgf/m}^3$  ou  $9.810 \text{ N/m}^3$  (GOMES, 2009 p.18).

### 2.1.1 Pressão

Para os fluidos, o conceito de pressão está associado à força aplicada em uma superfície, bem como na área de contato com esta superfície. Portanto, pode-se defini-la como a força dividida pela área (JACUZZI, 2006, p. 2).

$$Press\tilde{a}o = \frac{For\tilde{c}a}{\tilde{A}rea} \quad (2.1)$$

A diferença de pressão entre dois pontos quaisquer no interior de um fluido em repouso ( $p_2 - p_1$ ) é proporcional à diferença de profundidade ( $h_2 - h_1$ ) e ao peso específico do fluido (GOMES, 2009 p. 21):

$$p_2 - p_1 = \gamma(h_2 - h_1) \quad (2.2)$$

Se a referência de pressão for nula, a pressão pode ser definida por:

$$p = \gamma h \quad (2.3)$$

A grandeza pressão pode ser expressa em escala absoluta ou relativa (à pressão atmosférica local), conforme apresentado na figura 2.2:

$$P_{manom\ \acute{e}trica} = P_{absoluta} - P_{atmosf\ \acute{e}rica\_local} \quad (2.4)$$

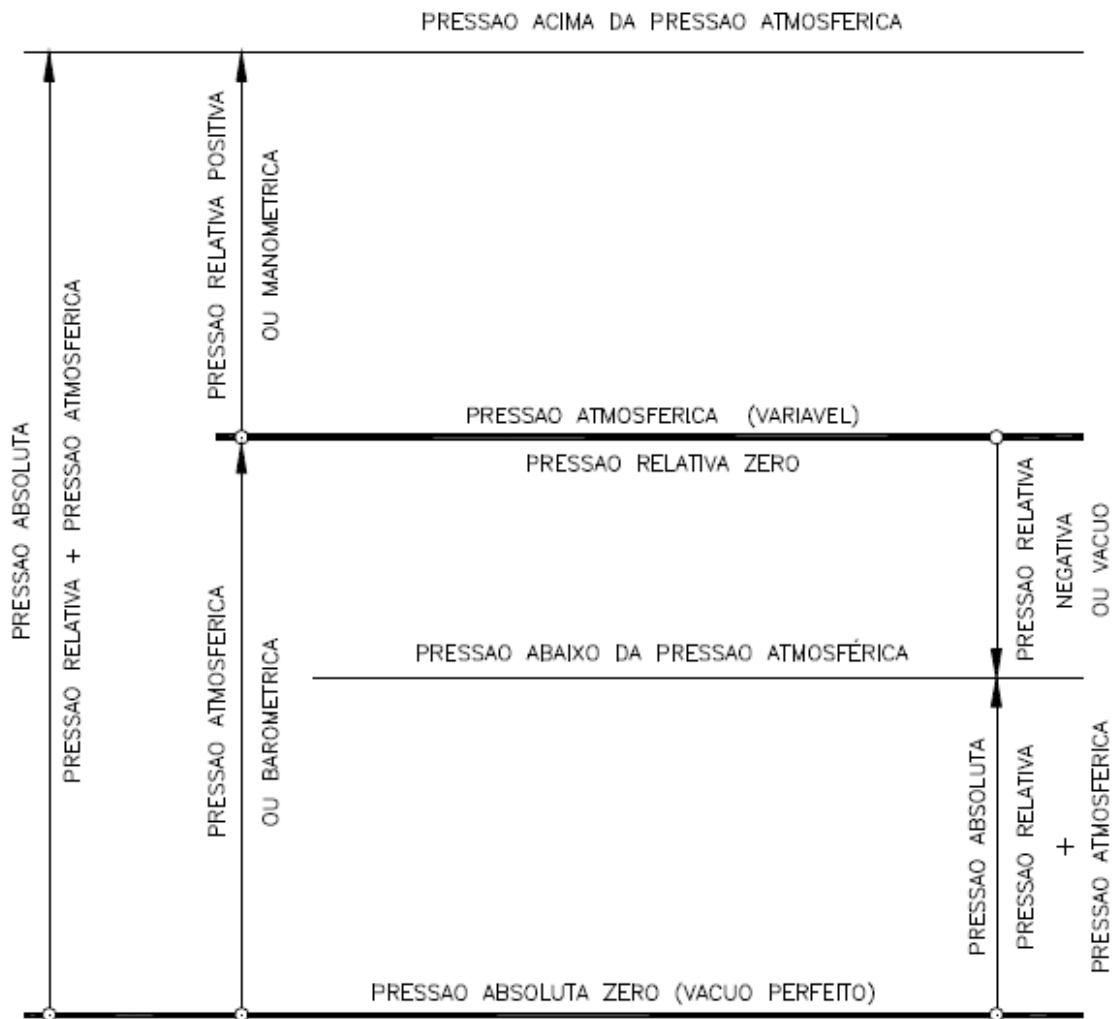


Figura 2.2- Pressão atmosférica, absoluta e relativa.  
 Fonte: JACUZZI (2006, p. 4)

### 2.1.2 Vazão

Vazão é volume de fluido que passa através de uma seção de tubulação por unidade de tempo (JACUZZI, 2006 p. 4).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2.5)$$

Sendo:

Q a vazão.

$V$  o volume.

$t$  o tempo.

A velocidade média de escoamento deste fluido através de uma seção pode ser determinada pela razão entre a vazão e a área da seção (JACUZZI, 2006 p. 5).

$$v = \frac{Q}{A} \quad (2.6)$$

Na qual:

$v$  é a velocidade média de escoamento do fluido.

$Q$  é a vazão.

$A$  é a área da seção do tubo.

De mesma forma, pode-se obter a vazão através da velocidade média de escoamento e da área da seção:

$$Q = v \cdot A \quad (2.7)$$

Na qual:

$Q$  é a vazão.

$v$  é a velocidade média de escoamento do fluido.

$A$  é a área da seção do tubo.

### 2.1.3 Equação de Bernoulli

O princípio de Bernoulli descreve o comportamento de um fluido no interior de uma tubulação relacionando-o com a conservação da energia.

O princípio de Bernoulli estabelece que nos escoamentos permanentes de fluidos incompressíveis e não viscosos, um incremento em sua velocidade e, conseqüentemente, em sua energia cinética, causa um decréscimo na sua pressão ou na energia potencial. Isto significa dizer que se uma parcela de energia cresce, outra decresce de igual valor, de modo que a soma das três sempre resulta numa constante chamada constante de Bernoulli (GOMES, 2009 p. 26).



$$E_f + E_c + E_p = Constante \quad (2.8)$$

Onde:

$E_f$  é a energia de fluxo ou de pressão.

$E_c$  é a energia cinética.

$E_p$  é a energia potencial.

A equação de Bernoulli tem algumas restrições, pois considera um fluido sem atrito, incompressível, em regime permanente e ao longo de uma tubulação.

Assim, para quaisquer dois pontos do escoamento a equação é:

$$\frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.9)$$

Onde:

$p_1$  e  $p_2$  são as pressões estáticas absolutas nos pontos 1 e 2 respectivamente.

$v_1$  e  $v_2$  são as velocidades médias do fluido nos pontos 1 e 2.

$z_1$  e  $z_2$  representam as cotas dos pontos 1 e 2 em relação ao nível de referência.

$g$  é a aceleração da gravidade.

Esta equação mostra a relação entre pressão, velocidade do fluido e elevação na vazão do sistema, a figura 2.3 ilustra fisicamente o seu significado. Pode-se observar que a soma da pressão e da energia potencial resulta na linha piezométrica, que adicionada da energia cinética forma a linha de energia, que é a própria representação da constante de Bernoulli (GOMES, 2009 p. 27).

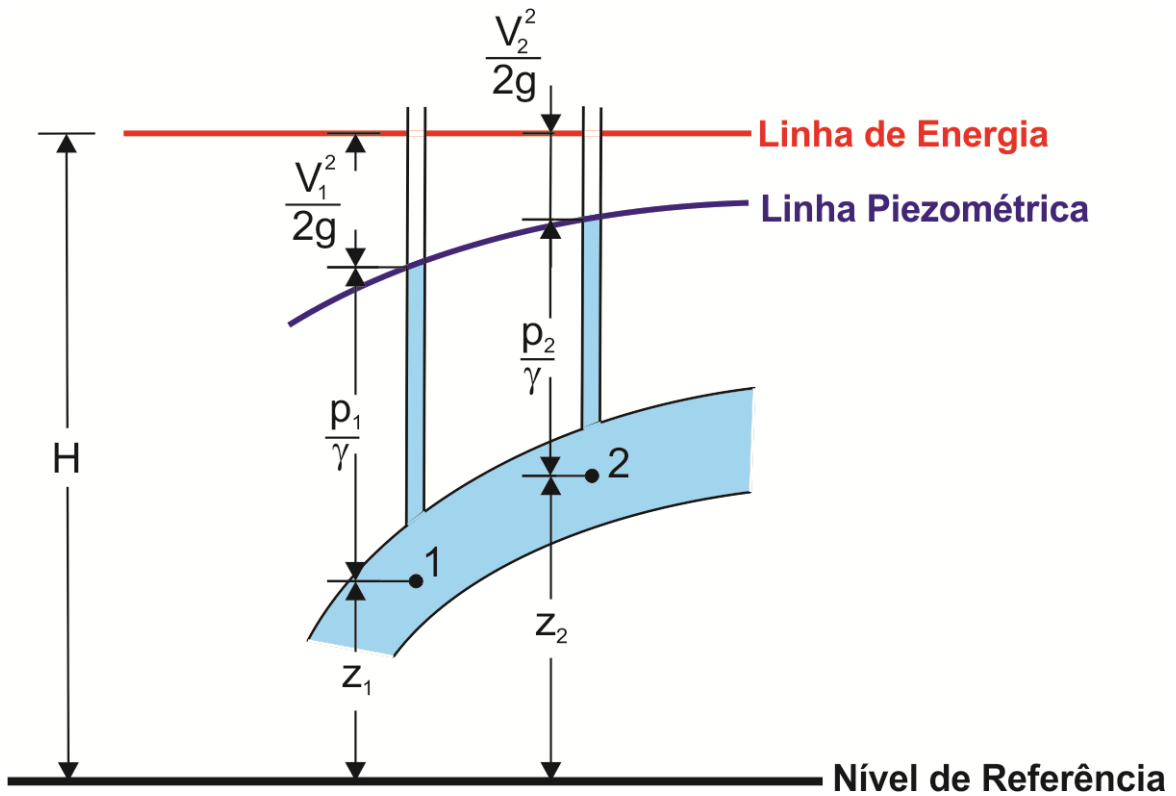


Figura 2.3- Representação gráfica da Equação de Bernoulli.  
Fonte: GOMES (2009 p. 27).

Em síntese, temos que:

$$E_1 = E_2 \quad (2.10)$$

Onde:

$E_1$  é a energia no ponto 1.

$E_2$  é a energia no ponto 2.

A figura 2.4 apresenta esta definição.

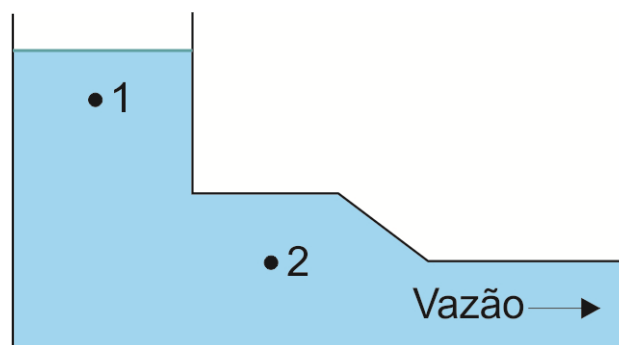


Figura 2.4 - Bernoulli: dois pontos do escoamento.  
Fonte: autoria própria.

#### 2.1.4 Altura manométrica total

Segundo Jacuzzi (2006 p. 9), Bernoulli demonstrou que a energia total pode ser expressa em altura de coluna de água em qualquer seção da tubulação, assim a energia potencial apresenta-se como a altura geométrica, a energia de pressão como a altura piezométrica e a energia cinética como a altura dinâmica.

Considerando uma aplicação hidráulica (fluido água), a energia potencial é a cota em relação ao nível de referência, a altura piezométrica é a pressão expressa em metros de coluna de água e a altura dinâmica depende da velocidade e da aceleração da gravidade, conforme apresentado na figura 2.3 e na equação 2.9. Finalmente, a altura manométrica total é igual à energia total, que é a soma das três parcelas, ou seja:

$$H = H_g + H_p + H_d \quad (2.11)$$

Onde:

$H$  é a altura manométrica total.

$H_g$  é a altura geométrica.

$H_p$  é a altura piezométrica.

$H_d$  é a altura dinâmica.

#### 2.1.5 Perdas de carga

Se não houvesse perdas, o valor da energia total seria o mesmo em todas as seções da tubulação. Porém, na prática é necessário considerá-la. A perda de carga em uma tubulação ( $H_f$ ) é dividida em duas parcelas (GOMES, 2009 p. 30):

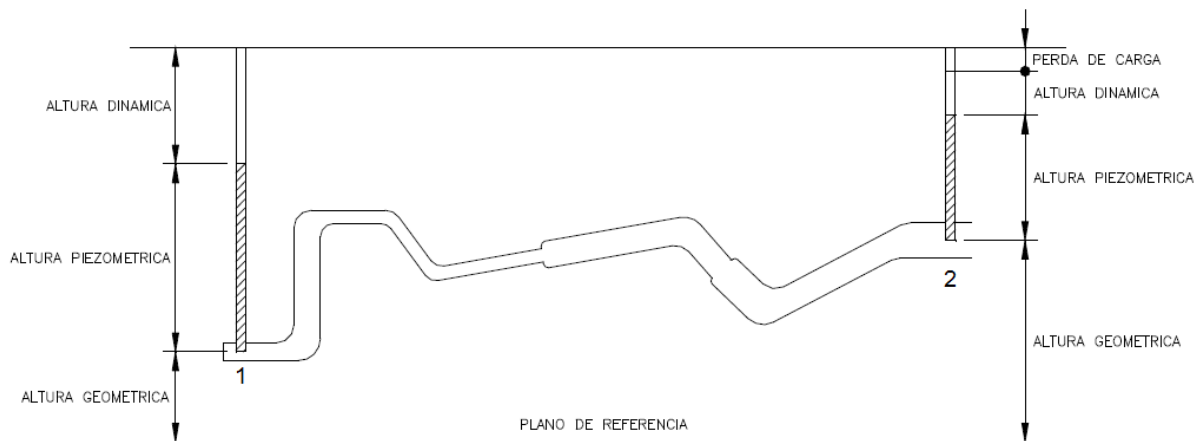
- Perdas lineares ou distribuídas ( $H_l$ ) – atrito interno do fluido e o deste com as paredes dos tubos;
- Perdas singulares ou localizadas ( $H_s$ ) – ocorrem nas conexões, válvulas, curvas, reduções e outras discontinuidades dos tubos.

$$H_f = H_l + H_s \quad (2.12)$$

Para um trecho de tubulação em que não existam bombas ou turbinas, a perda de carga total entre os pontos 1 e 2 é dada por:

$$H_f = \left( \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \right) - \left( \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 \right) \quad (2.13)$$

Assim, observando-se a figura 2.5, pode-se verificar que a energia total na seção 2 é igual à energia total na seção 1 diminuída da perda de carga entre 1 e 2.



**Figura 2.5 - Perda de carga na tubulação.**  
**Fonte: JACUZZI (2006, p. 9).**

## 2.2 CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE BOMBEAMENTO

Utilizando como base os conceitos de hidráulica, pode-se constatar que para que ocorra o deslocamento de água de um ponto de menor energia para um ponto de maior energia é necessário o seu bombeamento. Da mesma forma, porém, no sentido inverso o deslocamento se dá pela força gravitacional. Neste caso, não se faz uso de bombas e o movimento é denominado de escoamento por gravidade (MONACHESI, 2005 p. 101).

## 2.2.1 Bombas

A bomba é o mais antigo dispositivo de transferência de energia de fluido, atua convertendo trabalho mecânico obtido de uma fonte qualquer em energia (GOMES, 2009 p.45).

As bombas são máquinas operatrizes hidráulicas que conferem energia ao líquido com a finalidade de transportá-lo de um ponto para outro obedecendo às condições do processo. Elas recebem energia de uma fonte motora qualquer e cedem parte dessa energia ao fluido sob a forma de energia de pressão, cinética ou ambas. Isto é, elas aumentam a pressão do líquido, a velocidade, ou ambas essas grandezas (MATTOS; FALCO, 1998 p. 105).

As bombas podem ser classificadas, pela forma como é fornecida energia ao fluido transportado, em bombas cinéticas e de deslocamento positivo. A figura 2.6 apresenta um quadro com os principais tipos de bombas.

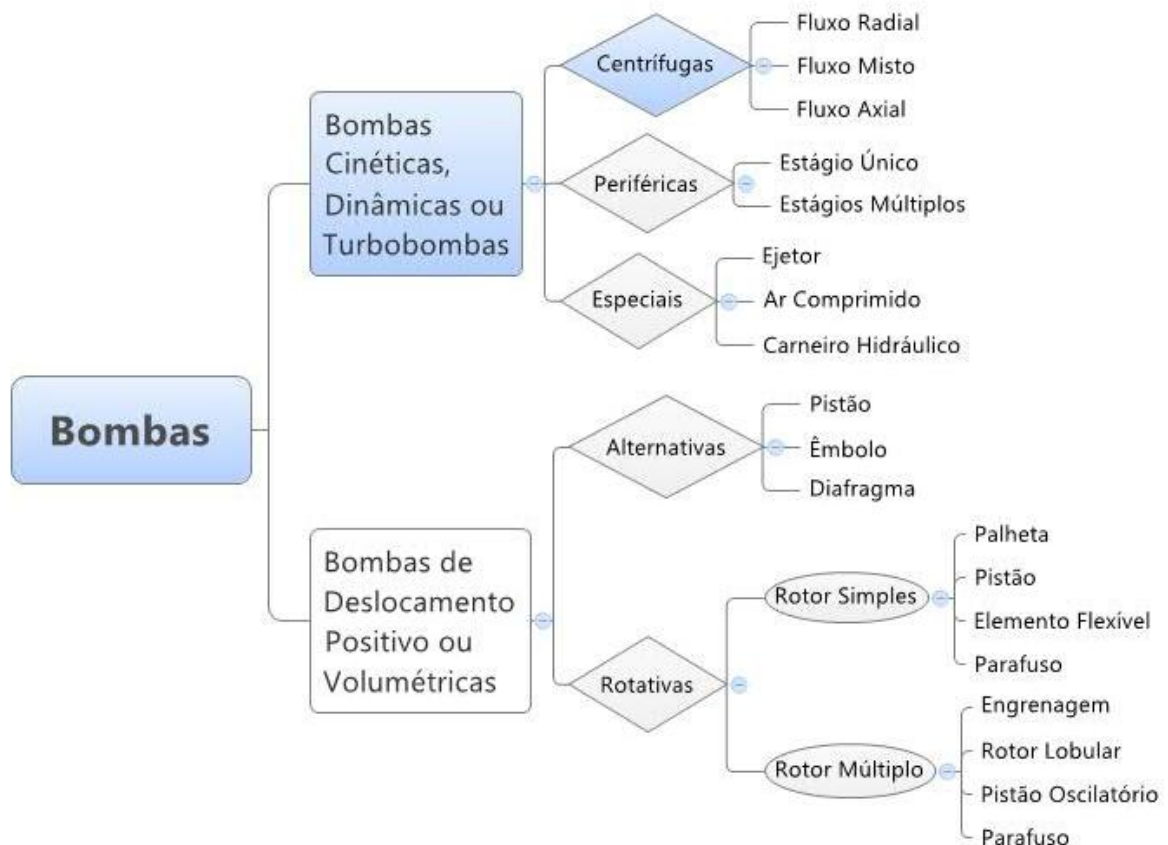


Figura 2.6 - Principais tipos de bombas.  
Fonte: TSUTIYA (2004, p. 227).

Conforme observado por Tsutiya (2004), as bombas centrífugas destacam-se por terem alto rendimento e baixo custo de instalação, operação e manutenção, em relação às demais opções de bombas cinéticas. Por estes motivos, as bombas centrífugas são as mais utilizadas nos sistemas de abastecimento de água e, portanto, serão detalhadas neste capítulo.

### 2.2.2 Bombas centrífugas

O princípio de funcionamento das bombas centrífugas é dado pelo giro do rotor (ou impelidor) que acelera o líquido através da força centrífuga (TSUTIYA, 2004 p. 227). Isto é, a energia cinética é fornecida à massa líquida por meio da rotação, possibilitando a conversão dessa energia em energia de pressão, por meio do difusor. Segundo Monachesi (2005), essas transformações de energia ocorrem conforme o teorema de Bernoulli e a equação da continuidade, pois, em geral, o difusor tem seção crescente que proporciona a redução de velocidade do líquido e o aumento da pressão na saída de carcaça da bomba.

As palhetas girando no interior da carcaça puxam o líquido para dentro, por meio da abertura central de entrada, e através da força centrífuga o líquido é empurrado para fora pela abertura de saída na lateral da carcaça (BLACK, 1979 p. 125).

Para se bombear água limpa, geralmente, é utilizada bomba com o rotor fechado, pois tem um disco de proteção que contribui para o direcionamento do fluxo. Porém, para os casos em que há partículas em suspensão na água, como areia ou outros sólidos, são empregadas bombas com rotores abertos ou semi-abertos, para que essas partículas não interrompam o fluxo (MONACHESI, 2005 p. 67).

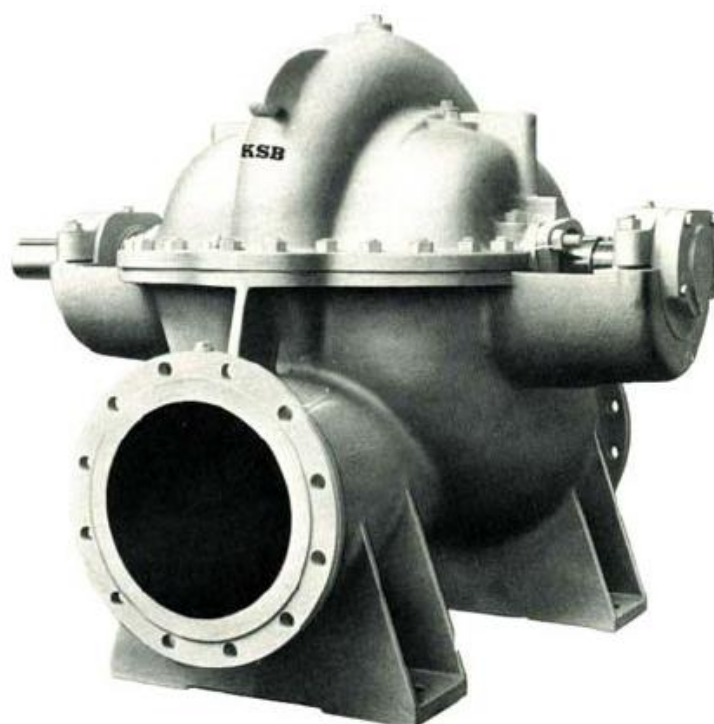
As bombas centrífugas são classificadas segundo vários critérios (AZEVEDO NETTO, 1998 p. 269):

1. Movimento do líquido:
  - a. Sucção simples (rotor simples);
  - b. Dupla sucção (rotor de dupla admissão).
2. Admissão do líquido:
  - a. Radial (tipos voluta e turbina);
  - b. Diagonal (tipo Francis);
  - c. Helicoidal.
3. Número de rotores (ou de estágios):
  - a. Um estágio (um só rotor);
  - b. Estágios múltiplos (dois ou mais rotores).
4. Tipo de rotor:
  - a. Rotor fechado;
  - b. Rotor semi-fechado (ou semi-aberto);
  - c. Rotor aberto;
  - d. Rotor a prova de entupimento (“*non clog*”).
5. Posição do eixo:
  - a. Eixo vertical;
  - b. Eixo horizontal;
  - c. Eixo inclinado.
6. Pressão:
  - a. Baixa pressão ( $H_{\text{man}} \leq 15\text{m}$ );
  - b. Média pressão ( $H_{\text{man}}$  de 15 a 50m);
  - c. Alta pressão ( $H_{\text{man}} \geq 50\text{m}$ ).

As figuras 2.7 e 2.8 mostram exemplos de bombas centrífugas, classificadas segundo os critérios apresentados.



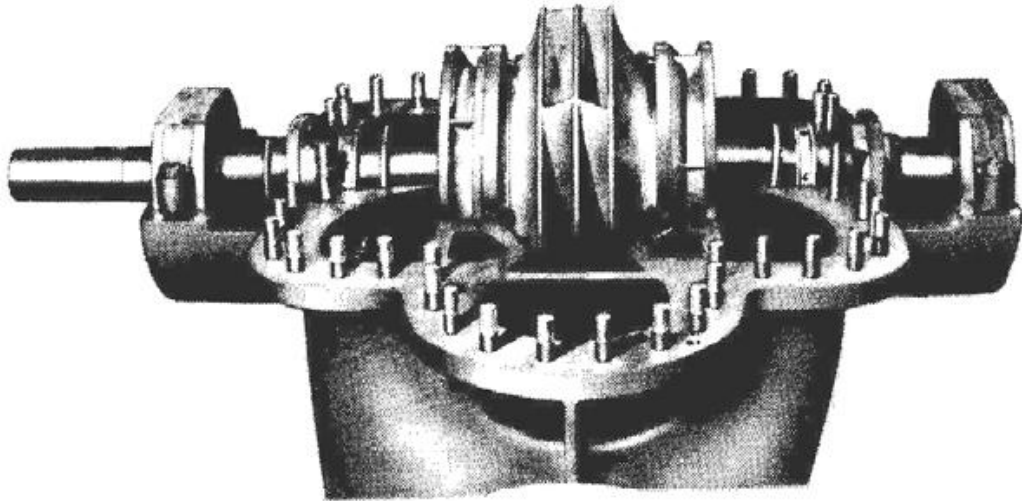
**Figura 2.7 - Bomba centrífuga horizontal, estágio único, de sucção simples.**  
Fonte: KSB (2009).



**Figura 2.8 - Bomba centrífuga horizontal, estágio único, de dupla sucção.**  
Fonte: KSB (2007).



A figura 2.9 mostra esta bomba de dupla sucção sem a tampa, na qual é possível visualizar o eixo na posição horizontal entre os dois mancais, as áreas de sucção de recalque e o rotor radial de dupla sucção.



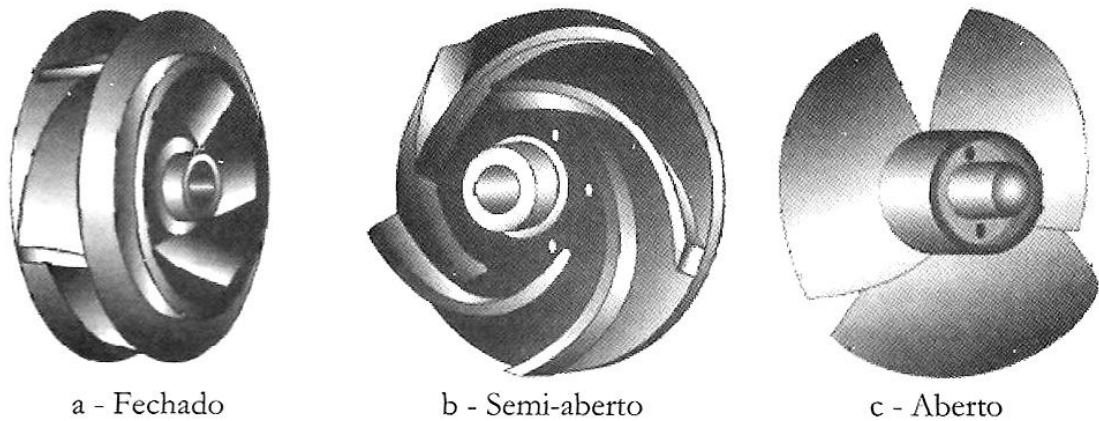
**Figura 2.9 - Bomba centrífuga horizontal de dupla sucção, aberta.**  
Fonte: KSB (2007).

O rotor utilizado neste tipo de bomba é mostrado na figura 2.10.



**Figura 2.10 - Rotor fechado de dupla sucção.**  
Fonte: SULZER Ltd. (2012).

O rotor da figura 2.10 é um rotor fechado, outros tipos de rotores são apresentados na figura 2.11.



**Figura 2.11 - Tipos de rotores.**  
**Fonte: GOMES (2009, p. 48).**

Além dos exemplos apresentados, outros tipos de bombas centrífugas são comumente utilizados em sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário, como as bombas submersíveis e as submersas apresentadas nas figuras 2.12 e 2.13.



**Figura 2.12 - Bombas submersíveis.**  
**Fonte: SULZER PUMPS (2012).**



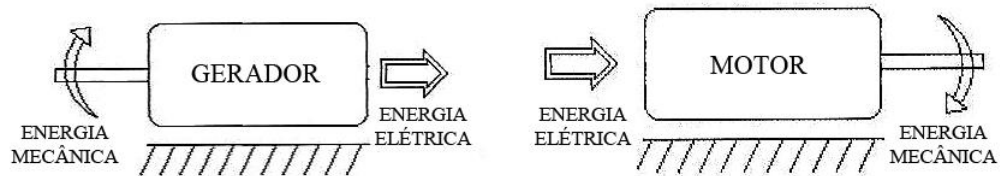
Figura 2.13 - Bombas submersas e detalhe do bombeador com estágios múltiplos.  
Fonte: FRANKLIN ELECTRIC (2012).

### 2.2.3 Motores elétricos

A primeira vez em que se previu uma relação entre energia elétrica e mecânica foi em 1831 por Michael Faraday, a partir deste momento houve um avanço muito grande na ciência.

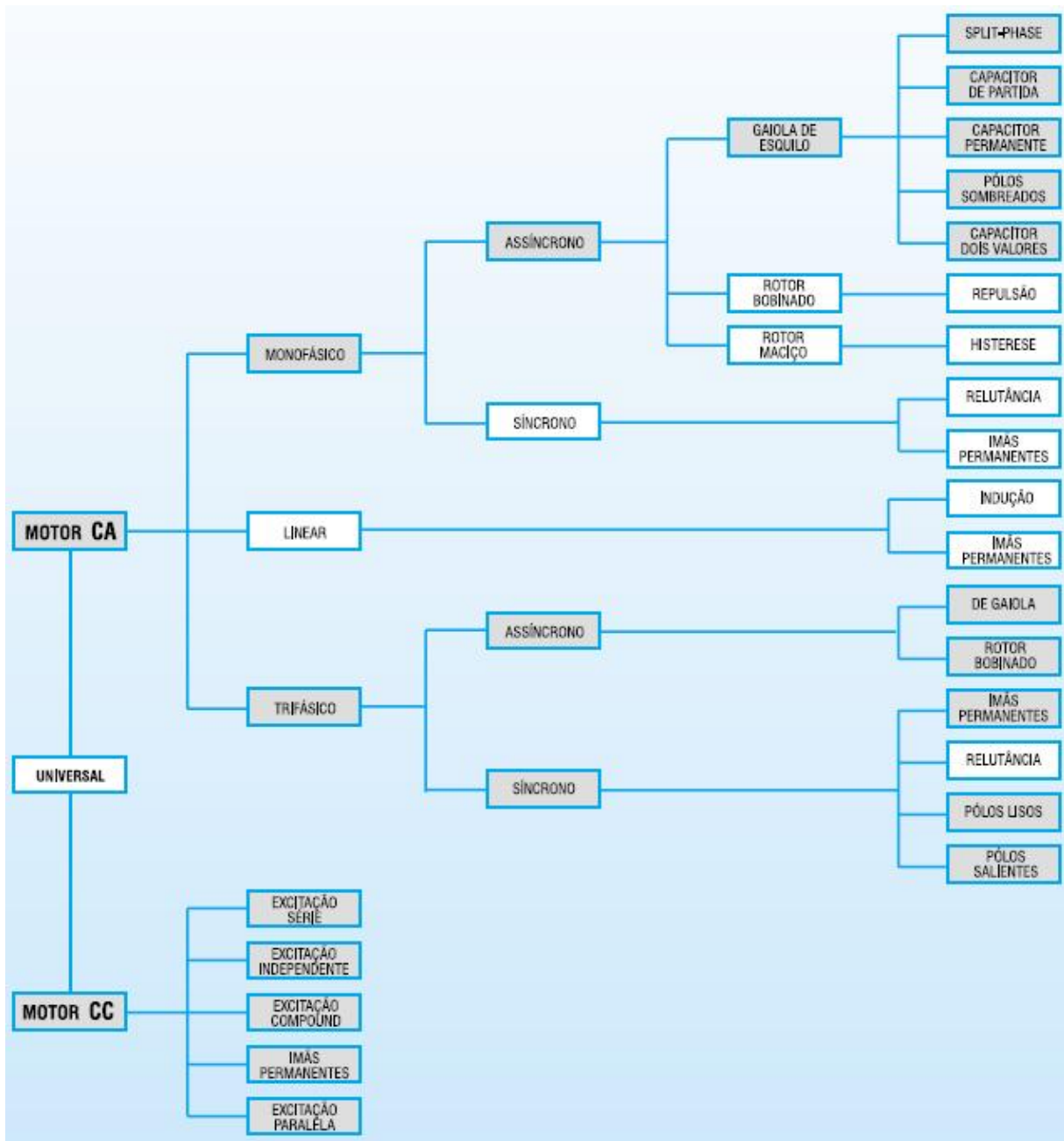
A conversão eletromagnética de energia, como a entendemos hoje, relaciona as forças elétricas e magnéticas do átomo com a força mecânica aplicada à matéria e ao movimento. Como resultado desta relação, a energia mecânica pode ser convertida em elétrica, e vice-versa, através das máquinas elétricas (KOSOW, 2005 p. 2).

A máquina que obtém energia elétrica através de uma fonte mecânica para o acionamento do seu eixo é o gerador elétrico. Da mesma forma, mas no processo inverso, a máquina que transforma a energia elétrica em energia mecânica, disponibilizando-a na forma de rotação do seu eixo, é o motor elétrico (GOMES, 2009 p.114). A figura 2.14 representa estas duas máquinas.



**Figura 2.14 - Máquinas elétricas.**  
**Fonte: GOMES (2009, p. 114).**

Os motores elétricos são classificados em dois tipos principais: Motor de corrente contínua (CC) e motor de corrente alternada (CA), conforme mostra a figura 2.15.



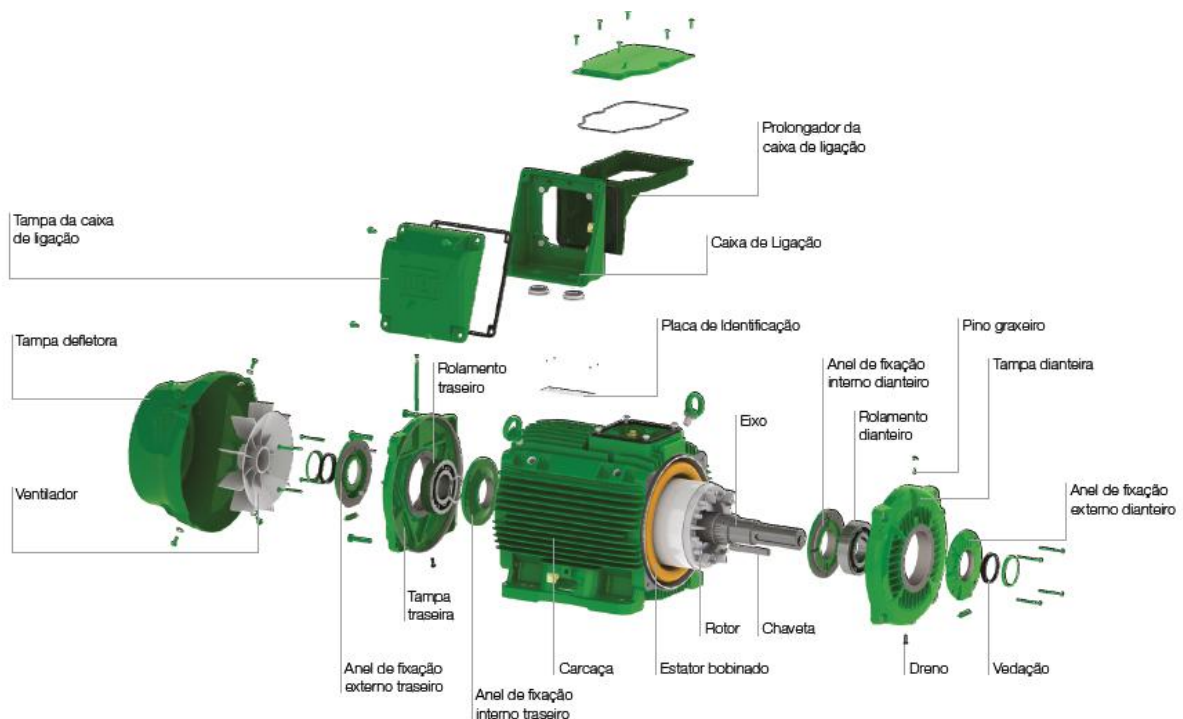
**Figura 2.15 - O universo tecnológico de motores elétricos.**  
**Fonte: WEG (2005).**

As instalações de saneamento (água e esgoto) geralmente fazem uso de bombas centrífugas acionadas por motores elétricos (AZEVEDO NETTO, 1998 p. 269). Consoante ao exposto, Tsutiya (2004) destaca que a razão da escolha do motor elétrico como acionamento de bombas é justificada por sua simplicidade, confiabilidade e menor custo.

Conforme destaca o manual de motores elétricos WEG (2005), o motor de indução é o mais utilizado dentre todos os tipos de motores, pois combina as vantagens apontadas com grande capacidade de adaptação às cargas dos mais diversos tipos e fornece os melhores rendimentos. Por estes motivos, os motores de indução serão detalhados neste capítulo.

#### 2.2.4 Motor elétrico assíncrono de indução trifásico

O motor de gaiola de esquilo é assim chamado por ter seu rotor laminado e ligado em curto-circuito (CREDER, 2007 p. 198). Formado basicamente de estator bobinado e conjunto do rotor, é o mais simples, no aspecto construtivo, pois não tem comutador, anéis coletores ou qualquer peça móvel entre o rotor e o estator. Isto o torna robusto e isento de manutenção, por isso é indicado para locais remotos ou para as aplicações mais severas, em ambientes hostis e insalubres (KOSOW, 2005 p. 295). A figura 2.16 mostra os aspectos construtivos de um motor de gaiola.



**Figura 2.16 - Motor de indução assíncrono.**  
**Fonte: WEG (2012).**

### 2.2.5 Estações elevatórias

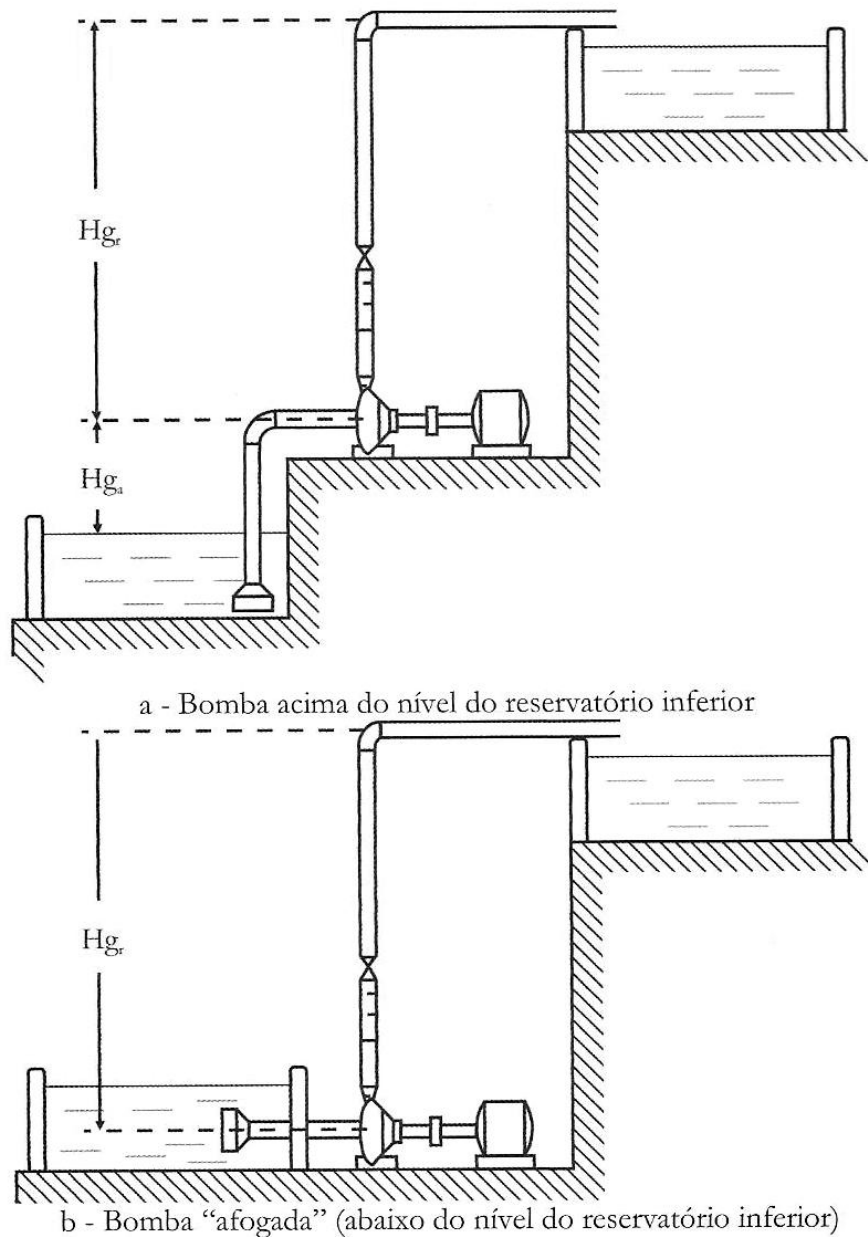
Os principais componentes de uma estação elevatória de água são (TSUTIYA, 2005 p.225):

- Equipamentos eletromecânicos: motores e bombas;
- Tubulações: de sucção, do barrilete e de recalque;
- Construção civil: poço de sucção e casa de bombas.

Salvo em aplicações especiais, as bombas são instaladas em construções próprias. As casas de bombas, como são denominadas, devem conter infraestrutura que permita a retirada ou substituição dos equipamentos, iluminação e ventilação adequadas, além de uma sala de painéis para acomodar os quadros elétricos e demais dispositivos de partida e controle dos conjuntos motobombas (AZEVEDO NETTO, 1998 p. 278).

A figura 2.17 mostra duas instalações típicas de bombeamento em sistemas de abastecimento de água. No primeiro caso, a bomba é instalada em uma cota superior ao nível das águas a serem recalçadas, tornando-se necessária a instalação de uma válvula de pé ou algum dispositivo de escorva, pois a bomba fará a sucção da água do reservatório inferior. No segundo caso, a bomba está instalada em um plano abaixo do nível da água do reservatório inferior, caracterizando a instalação com a bomba “afogada” (AZEVEDO NETTO, 1998 p. 278).





**Figura 2.17 - Instalação típica de bombeamento.**  
**Fonte: GOMES (2009, p. 53).**

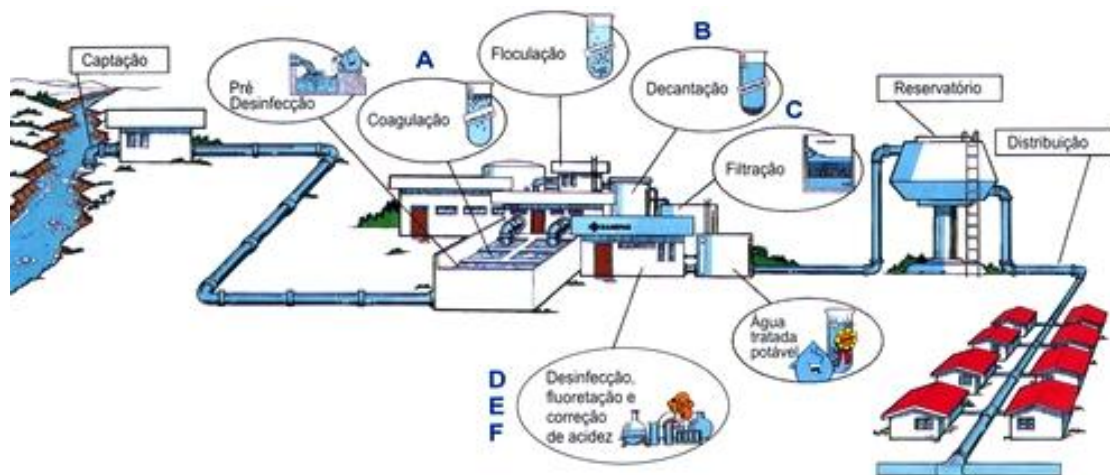
### 2.3 CONCEITOS GERAIS DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

O sistema de abastecimento de água é formado por captação, estação elevatória, adutoras, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, conforme indica Tsutiya (2005).



O objetivo principal do sistema de abastecimento de água é fornecer ao usuário uma água de boa qualidade para seu uso, quantidade adequada e pressão suficiente (TSUTIYA, 2005 p. 10).

A figura 2.18 apresenta um desenho esquemático do sistema de abastecimento de água.



**Figura 2.18 - Sistema de abastecimento de água.**  
 Fonte: SANEPAR (COMPANHIA..., 2012).

### 2.3.1 Captação de água e sistema produtor

O processo de tratamento da água doce para abastecimento público é iniciado na captação de águas superficiais ou subterrâneas. A captação de água de superfície é feita junto a um manancial, normalmente constituídos pelos cursos de água, córregos, rios, lagos e represas. A captação de água subterrânea é realizada por meio de poços, utilizando as águas disponíveis nos aquíferos (TSUTIYA, 2004 p.67). Para os dois casos, a captação é feita por conjuntos motobombas, pois a água está localizada em uma cota inferior à estação de tratamento ou às áreas de distribuição, tornando-se necessário bombeá-la.

A água captada nos rios ou represas é bombeada para uma estação de tratamento, o conjunto destas unidades é chamada sistema produtor.

### 2.3.2 Adutoras

As adutoras são tubulações que conduzem a água para as unidades operacionais que estão antes das redes de distribuição de água à população, sua função é conectar a captação à estação de tratamento e esta aos reservatórios.

Assim como as estações elevatórias, as adutoras são classificadas em adutoras de água bruta e adutoras de água tratada, de acordo com a natureza da água conduzida. Quanto à energia para movimentação da água, as adutoras podem ser classificadas em adutora por recalque (utilizam estações elevatórias), adutora por gravidade (transporta água a um ponto com cota mais baixa) ou mista (TSUTIYA, 2005). Portanto, fazem parte dos sistemas produtor e distribuidor.

### 2.3.3 Reservatórios e sistema distribuidor

O sistema distribuidor é formado pelos reservatórios, estações elevatórias e adutoras de água tratada e pelas redes de distribuição.

Os reservatórios de distribuição são importantes para o sistema de abastecimento de água, pois têm a função de regular a vazão nas adutoras, dar segurança ao abastecimento para os casos de interrupções no sistema, garantir reserva de água para incêndios e regularizar as pressões das redes de distribuição. Além disso, têm como vantagens proporcionar a realização de bombeamento de água fora do horário de pico de consumo elétrico e de se operar os conjuntos motobombas próximos ao seu ponto de rendimento máximo (TSUTIYA, 2005 p. 337).

Os reservatórios podem ser classificados em três tipos, conforme a sua posição em relação à rede de distribuição (TSUTIYA, 2005 p. 338):

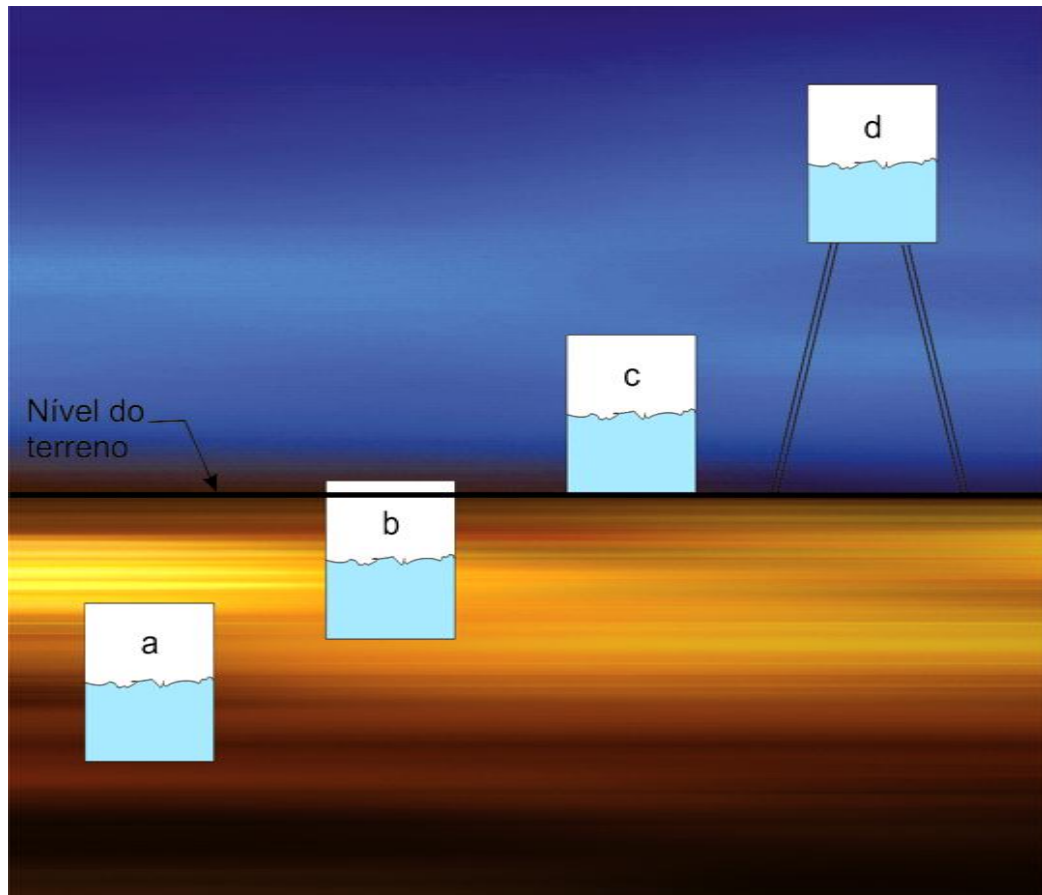
- Reservatório de montante: sempre fornece água à rede de distribuição.

- Reservatório de jusante: recebe água durante os períodos de menor consumo e auxilia o abastecimento nas horas de maior consumo da rede.
- Reservatório de posição intermediária: normalmente de pequena capacidade, auxilia na distribuição servindo de transição entre a adutora de bombeamento ou de gravidade e a rede de distribuição.

A posição construtiva dos reservatórios em relação ao terreno classifica-os em (TSUTIYA, 2005 p. 340):

- Reservatório enterrado: situa-se completamente abaixo da cota do terreno.
- Reservatório semi-enterrado: pelo menos um terço de sua altura total está situada abaixo do nível do terreno.
- Reservatório apoiado: o fundo do reservatório está a uma profundidade menor do que um terço de sua altura total.
- Reservatório elevado: a cota de fundo do reservatório é superior à cota do terreno onde se localiza.

A figura 2.19 ilustra as posições dos reservatórios em relação ao terreno.



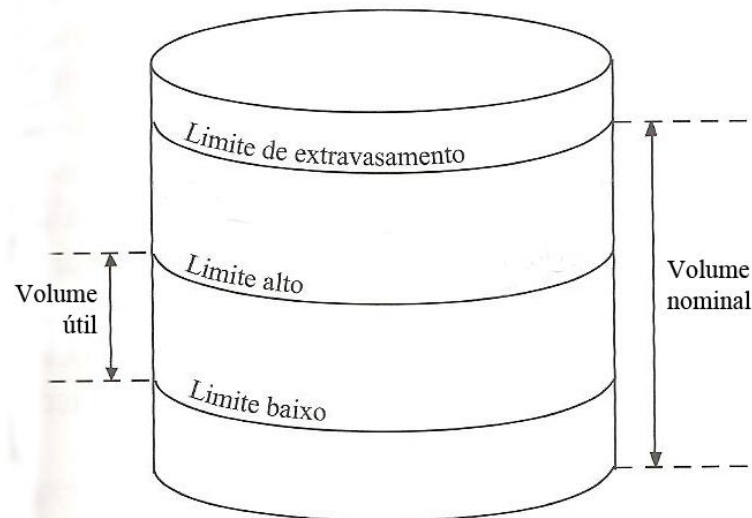
**Figura 2.19 - Posições dos reservatórios em relação ao terreno. (a) reservatório enterrado; (b) reservatório semi-enterrado; (c) reservatório apoiado; e (d) reservatório elevado.**

**Fonte: Autoria própria.**

A operação de um reservatório é bastante simples, se resume à abertura ou fechamento de válvulas e partida ou desligamento de bombas. Para tanto, é necessário definir alguns parâmetros operacionais dos reservatórios, conforme demonstrado na figura 2.20 (TSUTIYA, 2005 p. 381):

- Volume nominal: volume compreendido entre o fundo do reservatório e o nível de extravasamento.
- Limite de extravasamento: nível a partir do qual começa a haver extravasamento e conseqüente perda de água.
- Limite baixo: nível mínimo do reservatório para que não haja formação de vórtice, entrada de ar na tubulação de saída ou mau funcionamento da estação elevatória (se houver).

- Limite alto: nível máximo do reservatório para que haja tempo hábil de manobra, evitando que haja extravasamento ou que o sistema de segurança seja acionado.
- Volume útil: volume compreendido entre o limite baixo e o alto. É a quantidade de água disponível para o consumo.



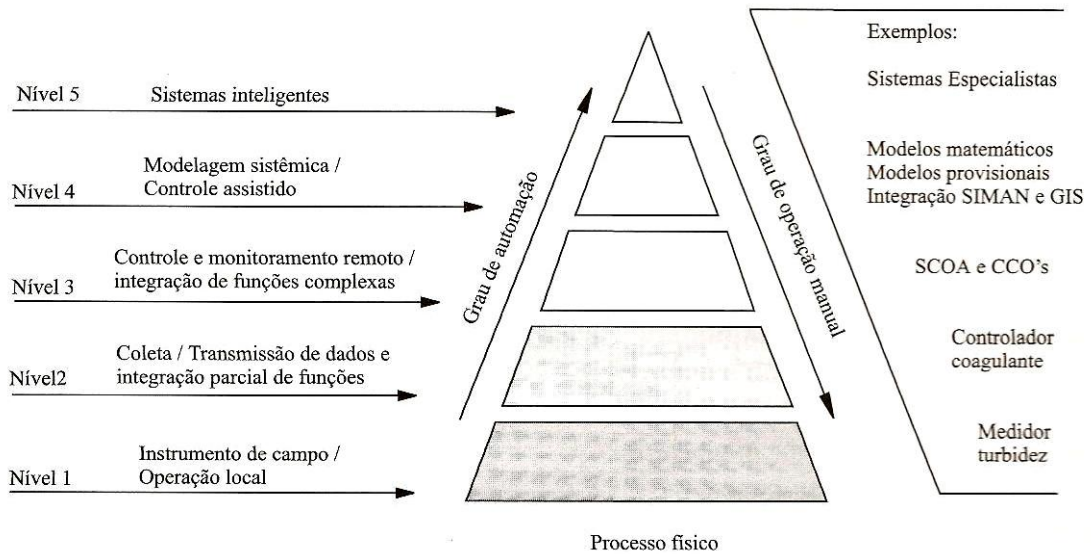
**Figura 2.20 - Níveis operacionais de reservatórios.**  
 Fonte: Adaptado de Ohara et al. 2002, apud Tsutiya (2005 p. 381).

## 2.4 AUTOMAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os sistemas de abastecimento de água lidam com o recurso natural mais importante para a humanidade, por isso a automação está cada vez mais aliada aos seus processos produtivos e de controle, no intuito de contribuir com um melhor aproveitamento deste recurso e auxiliar na diminuição dos desperdícios e perdas.

A automação pode ser definida como qualquer aplicação de técnica computadorizada, eletro-eletrônica e/ou mecânica para diminuir ou suprimir a interferência humana em qualquer processo (GOMES, 2009 p. 203).

Os sistemas de abastecimento de água podem ser controlados em diversos níveis de automação, dependendo das necessidades de cada processo e dos recursos disponíveis para cada aplicação, conforme se observa na figura 2.21.



**Figura 2.21 - Níveis de automação.**  
**Fonte: Sabesp 1997, apud Tsutiya (2005 p. 579).**

#### 2.4.1 Conceitos gerais de Automação

A automação de sistemas de abastecimento de água possibilita a operação remota e o controle automático de processos. Isto pode simbolizar um aumento dos custos nas unidades operacionais em função dos equipamentos utilizados, porém garante o controle dos processos de forma muito mais eficiente que a operação manual dos sistemas. Por outro lado, pode representar uma economia para a empresa se forem avaliados os custos com pessoal, energia elétrica e produtos químicos, pois haveria a necessidade de se ter um operador para cada etapa do sistema, seja para acionamento de conjuntos motobombas nas elevatórias, dosagem de produtos químicos, coleta de amostras, abertura de válvulas ou secagem de lodo, por exemplo (TSUTIYA, 2005 p. 577). Além disso, os instrumentos de medição e controle permitem manter e controlar as diversas variáveis dos processos produtivos em condições mais adequadas e precisas do que se elas fossem controladas manualmente por um operador (BEGA, 2006 p. 1).

A automação, ou melhor, o controle automático de determinadas etapas ou dos próprios sistemas de produção e distribuição de água permitem a padronização dos processos e atividades. Isto proporciona o estabelecimento de

padrões de qualidade da água e de certificação quanto à veracidade das informações obtidas de campo. Por meio da automação se torna possível supervisionar, controlar e interagir nas diversas etapas dos sistemas, em tempo real e com uma eficácia muito maior (GOMES, 2009 p. 203).

#### 2.4.2 Conceitos gerais de Instrumentação

Para se ter um correto funcionamento de uma unidade operacional é necessário que haja informação sobre as etapas de cada processo e a análise e o controle dessas variáveis.

Portanto, partindo-se dessas premissas, o início de toda a automação deve ser a leitura dos dados de campo. Esta é a etapa da instrumentação, o nível mais baixo da automação, que compreende os instrumentos, sensores e equipamentos segundo a seguinte classificação (GOMES, 2009 p. 209):

- Instrumentação digital: chave de nível, chave de fluxo, fotocélula.
- Instrumentação analógica: sensores e transmissores (nível, vazão, pressão, temperatura) e os analíticos (analisadores de pH, de turbidez, de cloro, de sólidos em suspensão).
- Atuadores ou elementos finais: bombas, agitadores, válvulas.
- Acionamentos de motores elétricos: partida direta, compensada, estrela-triângulo, *soft-starter*, inversor de frequência.

Os instrumentos, atuadores e acionamentos são instalados em todos os pontos em que as variáveis devam ser monitoradas ou controladas. Para um sistema produtor são necessários os dados dos analisadores e a vazão da água bruta captada para o tratamento. Para o sistema distribuidor são fundamentais as informações de nível, vazão e pressão. Nesse sistema, os sensores de nível são utilizados nos reservatórios e poços de sucção das elevatórias, os sensores de vazão são instalados nas adutoras de água tratada e os sensores de pressão nas redes de distribuição de água à população. Para esse trabalho, cujo foco está nas

elevatórias de transferências entre os reservatórios, dois assuntos de total relevância serão detalhados neste capítulo, são os sensores de nível e vazão.

Neste trabalho será adotada a codificação padronizada para instrumentação pela norma S 5.1 (*Instrumentation Symbols and Identification*) da *The Instrumentation, Systems and Automation Society* (ISA).

### 2.4.3 Medição de nível

Os sensores de nível têm a função de manter esta variável em um valor fixo ou entre dois valores determinados (máximo e mínimo), ou ainda para determinar, avaliar e controlar o volume ou massa do fluido armazenado dentro de um tanque ou reservatório (FIALHO, 2010 p.162). Estes instrumentos são classificados quanto ao método utilizado para a medição do nível de um reservatório em dois tipos (BEGA, 2006 p. 143):

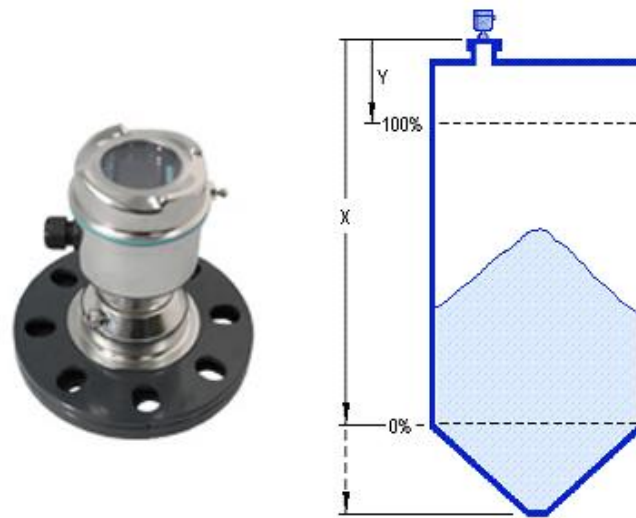
- Medição direta: medição direta do nível do fluido em relação a um ponto de referência, geralmente realizada através de uma escala graduada.
- Medição indireta: utiliza-se de uma segunda grandeza física para a determinação no nível do tanque, como pressão, empuxo, radiação, propriedades elétricas e ultrassom.

Estes dois métodos apresentados realizam a medição de forma contínua, porém o nível pode ser controlado de forma descontínua, por meio de chaves de nível instaladas em pontos fixos dos tanques que determinam o nível máximo e mínimo de fluido no reservatório, conforme explica Bega (2006 p. 144).

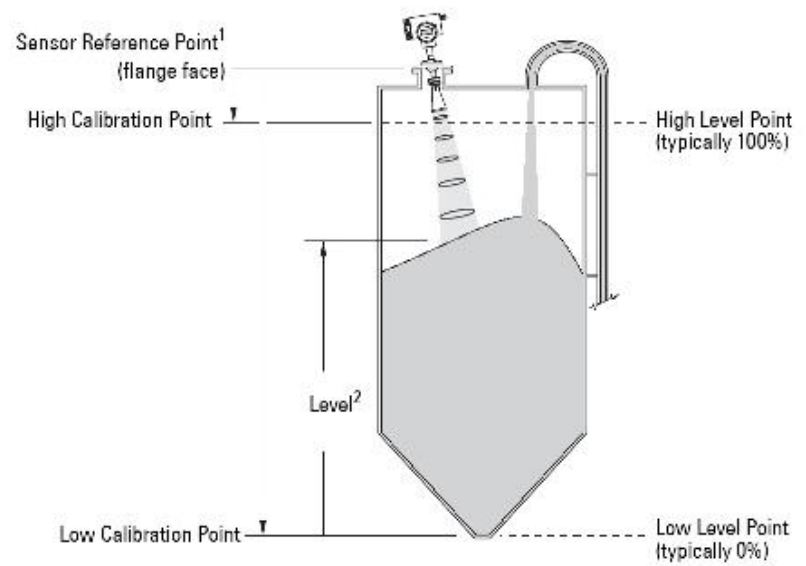
Os sensores de medição indireta podem ser do tipo deslocador (empuxo), pressão, ultrassônico, radar, capacitivo, eletromecânico e pesagem.

As figuras 2.22 a 2.26 mostram os tipos de sensores de nível e exemplificam suas aplicações em sistemas de abastecimento de água.





**Figura 2.22 – Sensor tipo radar.**  
**Fonte: Siemens (2012).**



**Figura 2.23 – Sensor ultrassônico**  
**Fonte: Siemens (2012).**

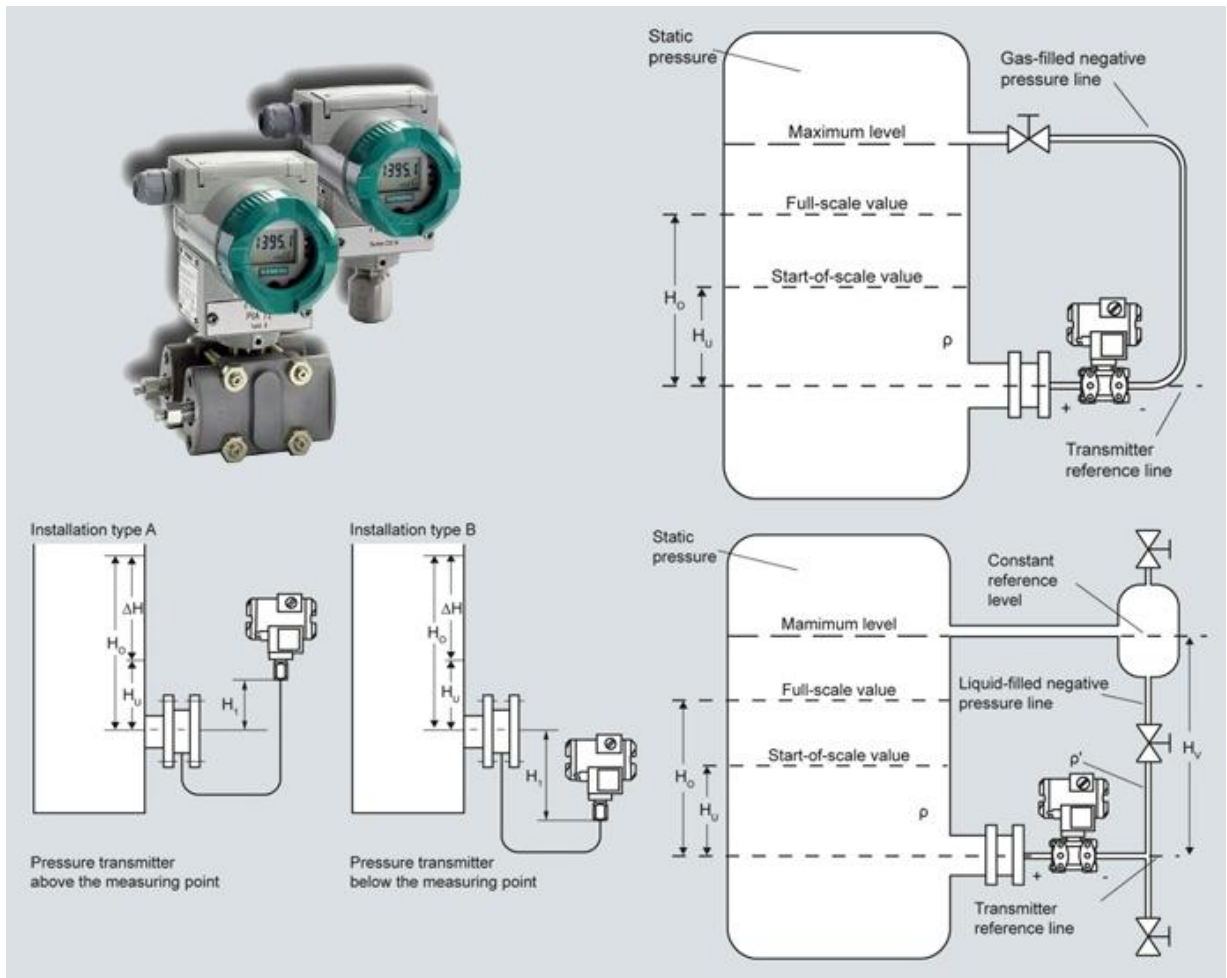


Figura 2.24 – Sensor de pressão diferencial.  
Fonte: Siemens (2012).

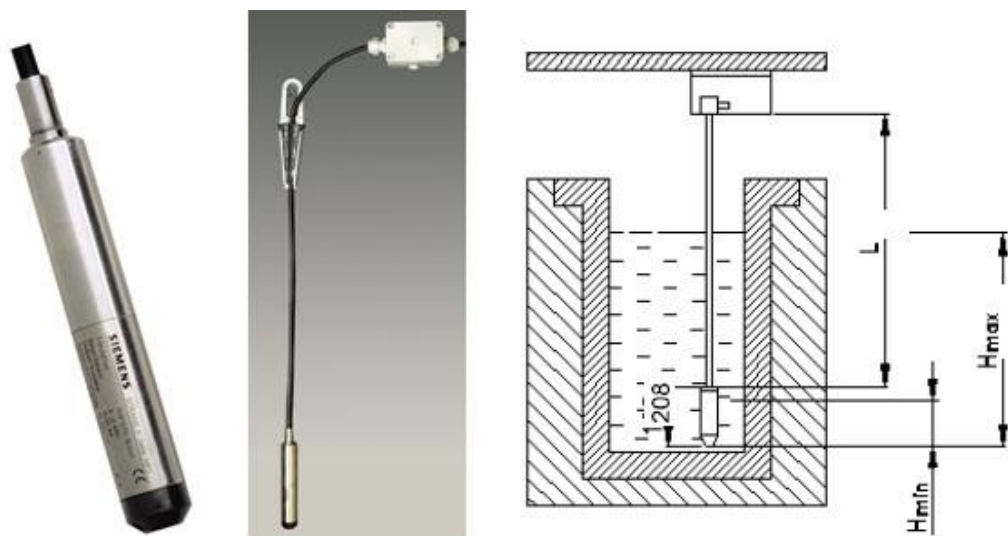
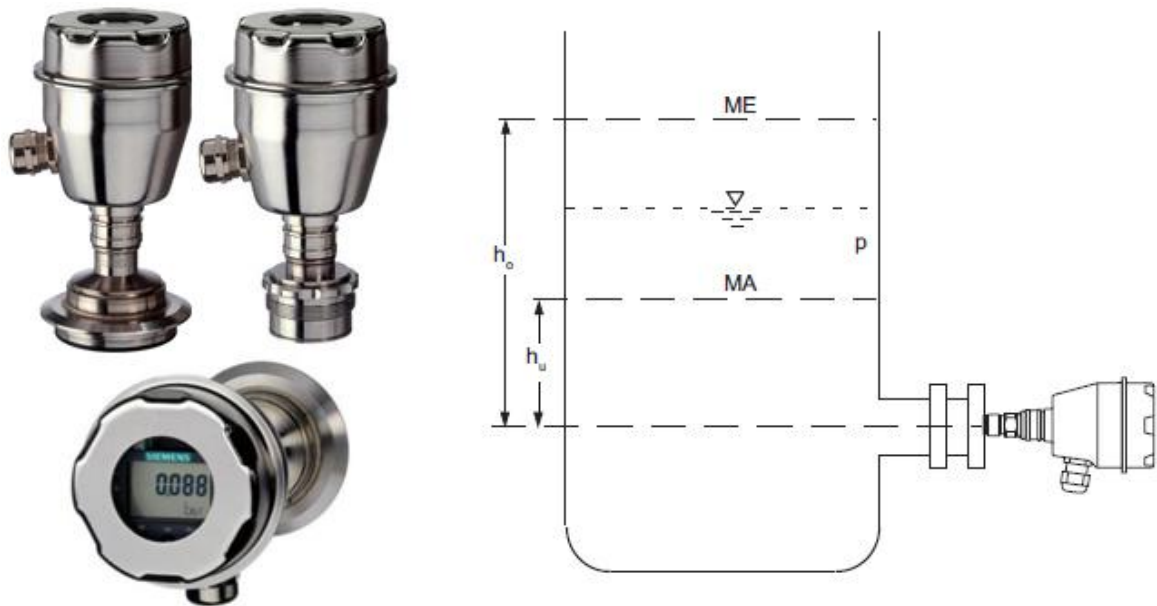


Figura 2.25 – Sensor de pressão hidrostática.  
Fonte: Siemens (2012).



**Figura 2.26 – Sensor de pressão manométrica.**  
**Fonte: Siemens (2012).**

Para os sistemas automatizados de abastecimento de água, um dos tipos mais utilizados é o de medição de nível por pressão. Cujo princípio de funcionamento está na definição de que a pressão hidrostática é aquela exercida por um fluido líquido em equilíbrio estático dentro do recipiente que o contém e, portanto, diretamente proporcional à altura do líquido em relação ao ponto de medição (FIALHO, 2010 p. 179).

Para transformar essa proporcionalidade em igualdade, deve-se multiplicar seu termo de referência  $h$  por um coeficiente de proporcionalidade, que nesse caso será o peso específico  $\gamma$  do fluido (FIALHO, 2010 p. 180).

Esta relação obedece à expressão apresentada na fórmula 2.3 e é válida para tanques abertos ou fechados não pressurizados, portanto o nível  $h$  é determinado por:

$$h = \frac{P}{\gamma} \quad (2.14)$$

Estes sensores têm como características e vantagens boa precisão e repetibilidade, fácil instalação, boa resistência mecânica e longa vida útil (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011 p. 136).

#### 2.4.4 Medição de vazão

Conforme definido no tópico 2.1.2 deste capítulo, a vazão é a quantidade de fluido que passa em um duto por unidade de tempo. A quantidade deste fluido pode ser medida em volume (vazão volumétrica) ou em massa (vazão mássica). Conforme destaca Bega (2006), quando a vazão a ser medida é volumétrica torna-se necessário particularizar se as condições para medição são em temperatura e pressão de operação ou em relação a valores tabelados de referência, principalmente nos casos de fluidos compressíveis.

Dentre as medições de grandezas físicas da natureza, a medição de vazão é uma das mais difíceis, considerando o escoamento nos condutos forçados. Uma das razões é que a velocidade ao longo da seção transversal não é uniforme (MONACHESI, 2005 p. 85).

Os medidores de vazão podem ser classificados por seu princípio de medição em quatro grupos (BEGA, 2006 p. 50):

- Geradores de  $\Delta p$ : Placa, Bocal, Venturi, Inserção (Tubo de Pitot) e os especiais (Centrífugos e Laminares);
- Medidores lineares: Área variável, Coriolis, Eletromagnético, Térmico, Turbina, Ultrassônico, Vórtice e os especiais (Força, Correlação e Laser);
- Volumétricos: Diafragma, Disco de natação, Palheta, Pistão oscilante, Pistões recíprocos e Rotor (Lóbulo, Engrenagem e Semi-imerso);
- Em canais abertos: Calhas e Vertedores.

Como este trabalho tem como foco as elevatórias de transferência, será abordado o medidor de vazão eletromagnético, pois é um dos mais utilizados para grandes diâmetros e alta vazão.

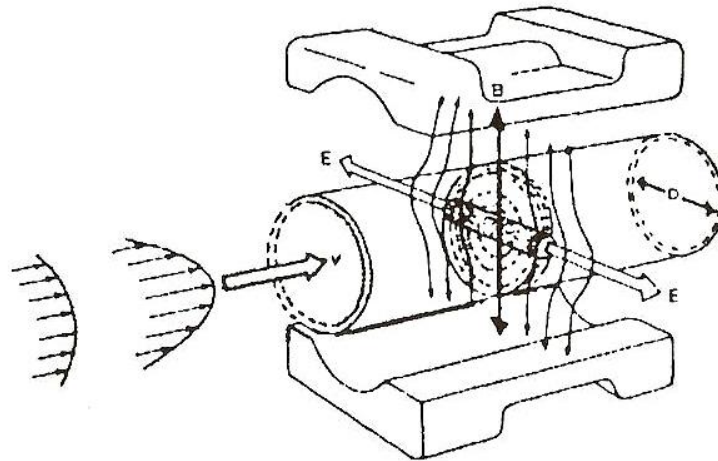
Os medidores magnéticos são baseados na Lei de Faraday, que enuncia que, quando um condutor móvel se desloca num campo magnético, aparece nas suas extremidades uma força eletromotriz

proporcional à intensidade do campo magnético, ao seu comprimento e à velocidade de deslocamento (BEGA, 2006 p. 105).

Portanto, este tipo de sensor deve ser usado exclusivamente para medição de líquidos condutores de eletricidade ( $\geq 5 \mu\text{S/cm}$ ), é composto por uma seção de tubo de material não magnético e não condutor no qual são instaladas duas bobinas e dois eletrodos (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011 p. 158).

A figura 2.27 mostra o seu princípio de funcionamento, na qual a força eletromotriz  $E$  (ou tensão  $U$ ) pode ser medida nos eletrodos do tubo medidor distantes  $D$  entre si, quando o fluido se move a uma velocidade  $V$ , atravessando perpendicularmente as linhas de fluxo produzidas pelo campo magnético de intensidade  $B$ , da seguinte forma (BEGA, 2006 p. 106):

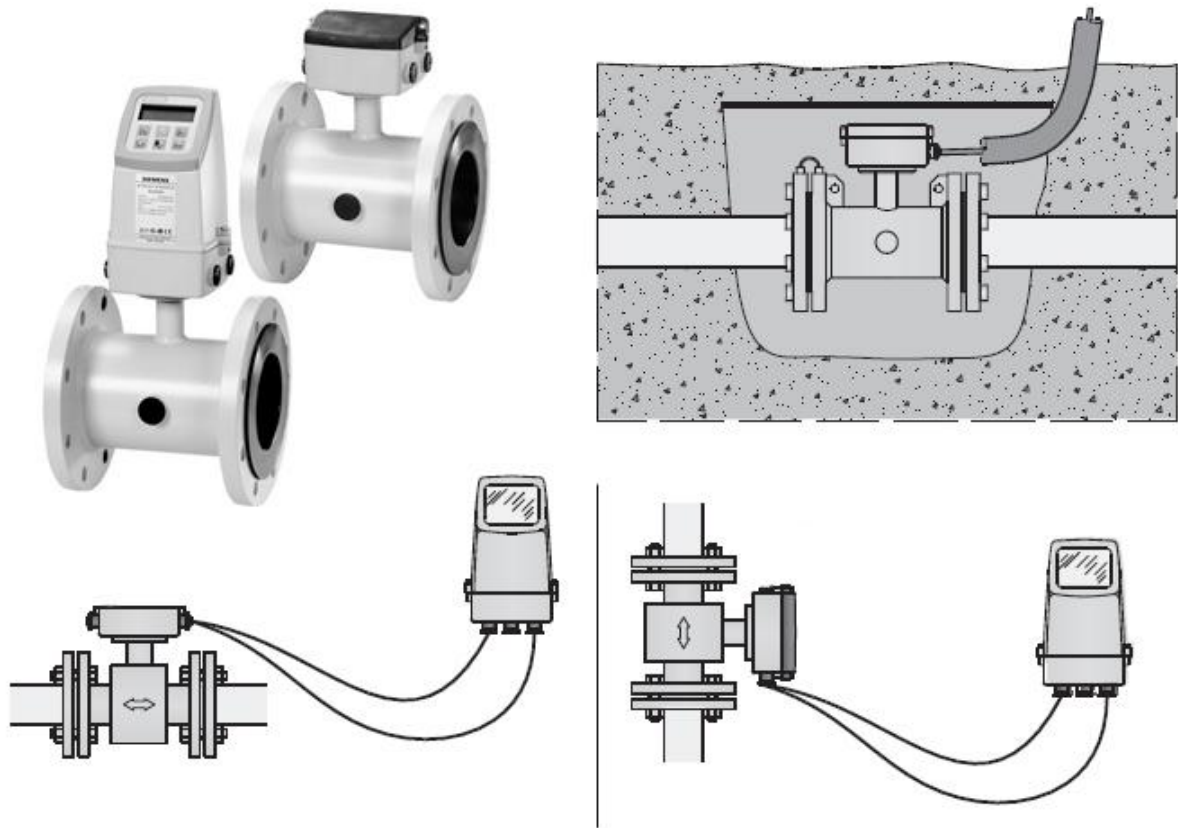
$$e_{(volt)} = B_{(weber / m^2)} \cdot D_{(m)} \cdot V_{(m/s)} \quad (2.15)$$



**Figura 2.27 – Representação esquemática de um medidor de vazão eletromagnético.**  
**Fonte: BEGA (2006 p. 106).**

Em comparação aos demais medidores de vazão para líquidos, os medidores eletromagnéticos se destacam por não causar perda de carga, pela alta precisão ( $\pm 0,5\%$  de erro), pela robustez e por admitir líquidos com sólidos em suspensão (THOMAZINI e ALBUQUERQUE, 2011 p. 171).

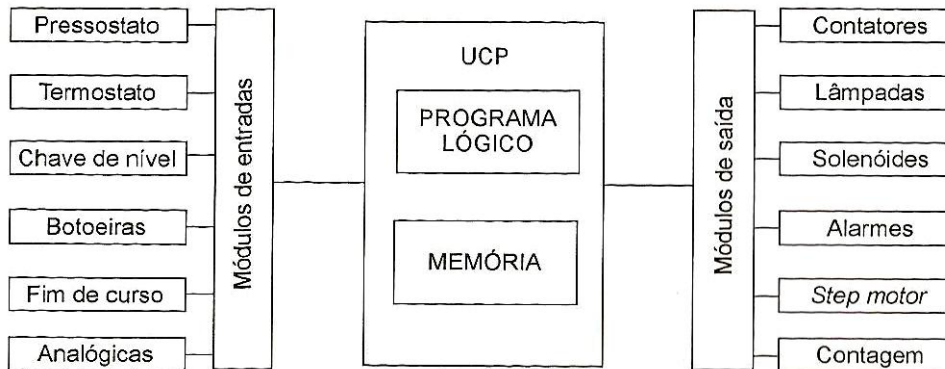
A figura 2.28 mostra exemplos de instalação dos medidores de vazão eletromagnéticos.



**Figura 2.28 – Medidores de vazão eletromagnéticos.**  
**Fonte: Siemens (2012).**

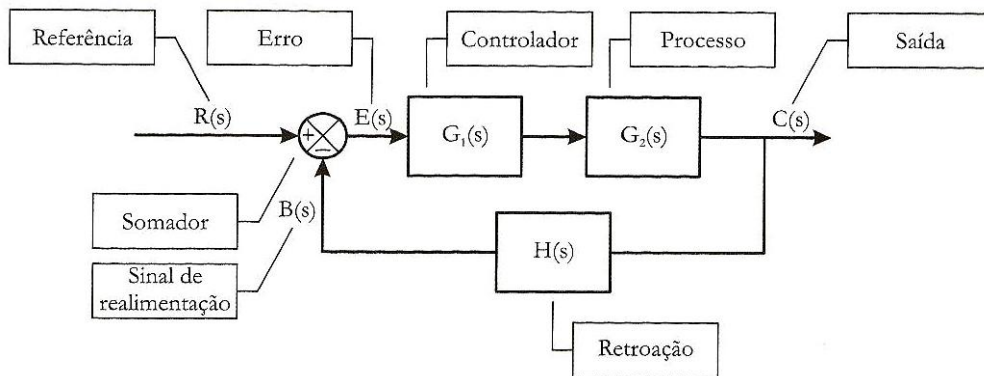
#### 2.4.5 Conceitos gerais de Controle

Em termos gerais os sistemas de controle são baseados na leitura de variáveis, execução de uma programação lógica e atuação em elementos operacionais. Ogata (2010) define uma variável controlada como uma grandeza ou condição que é medida ou controlada e o sinal de controle ou variável manipulada como a grandeza ou condição modificada pelo controlador. A figura 2.29 exemplifica os componentes típicos de um controlador lógico programável (CLP).



**Figura 2.29 - Os principais componentes de um CLP típico.**  
**Fonte: BEGA (2006 p. 521).**

Um sistema de controle de malha fechada, como o apresentado na figura 2.30, é aquele em que o sinal de saída do controlador ou uma função deste sinal é realimentado no sistema de controle (OGATA, 2010, p. 7). A diferença entre o sinal de entrada  $R(s)$  e o sinal realimentado  $B(s)$  é o sinal de erro  $E(s)$ . O sistema de controle de malha fechada tende a minimizar o erro e ajustar a saída ao valor desejado.



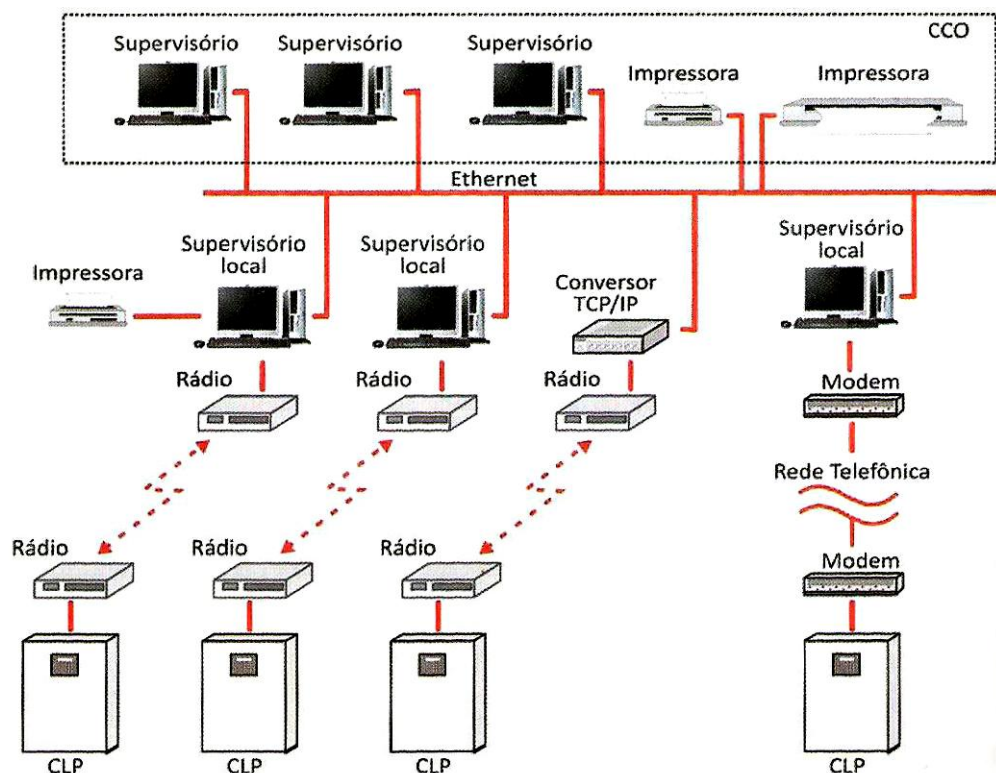
**Figura 2.30 - Diagrama de blocos funcional de um sistema de controle em malha fechada.**  
**Fonte: GOMES (2009, p. 224).**

Uma vez desenvolvidas as lógicas de controle ou os programas lógicos o CLP receberá os dados de campo pelos módulos de entrada e após o processamento digital acionará os módulos de saída. Os programas são desenvolvidos e testados, porém após esta etapa não são mais alterados e a operação das plantas se dá por meio de sistemas supervisórios, conforme apresentado no capítulo 2, subitem 2.4.6.



### 2.4.6 Sistema Supervisório

O sistema supervisório, sistema de supervisão e controle ou também chamado de sistema SCADA tem como sua função mais importante ser a interface entre o operador e as máquinas ou equipamentos. O sistema de supervisão e controle permite que sejam desenvolvidas telas de operação que representam graficamente as instalações de campo. Além de visualizar os status dos instrumentos e equipamentos, é possível para o operador ligá-los ou desligá-los e ser alertado por meio de alarmes.



**Figura 2.31 - Diagrama geral de um sistema SCADA.**  
**Fonte: GOMES (2009, p. 222).**

A figura 2.31 apresenta um diagrama geral de um sistema SCADA, no qual é possível perceber que os dados de campo, dos processos produtivos, são coletados, tratados, analisados, manipulados e armazenados (GOMES, 2009 p.205).

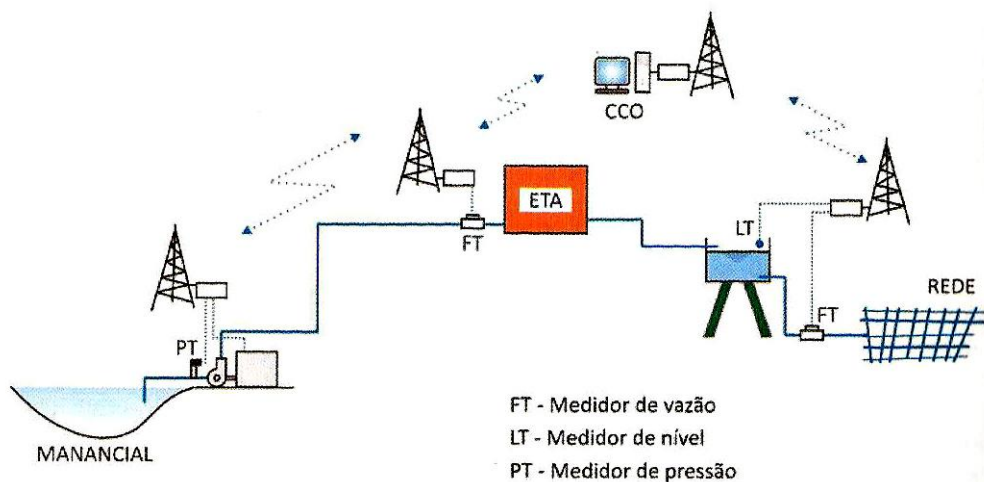


Conforme afirma Gomes (2009, p. 206), o sistema SCADA pode ser dividido em quatro partes: Instrumentação, estações remotas, rede de comunicação, sistema de supervisão e controle.

A instrumentação representada pelos sensores e atuadores está explicada no capítulo 2, subitens 2.4.2, 2.4.3 e 2.4.4 deste trabalho. As estações remotas referem-se à aquisição de dados e ao controle descentralizado, ou seja, o papel desempenhado por CLPs ou por uma unidade terminal remota (UTR), conforme apresentado no capítulo 2, subitem 2.4.5.

A rede de comunicação é o meio de transmissão de dados entre os instrumentos, equipamentos, sistema de controle e supervisor. Os meios de transmissão podem ser linhas telefônicas, cabos elétricos, ondas de rádio ou fibras ópticas, por exemplo.

O sistema de supervisão e controle permite ao operador monitorar e controlar todos os processos de uma planta ou de todo o sistema a partir de um local comumente chamado de Centro de Controle Operacional – CCO. A figura 2.32 traz um exemplo de aplicação do sistema SCADA em abastecimento de água, no qual todas as informações de processo são transmitidas até o centro de controle (CCO). As lógicas de controle locais são realizadas em cada uma das unidades operacionais: captação de água do manancial, estação de tratamento (ETA), reservatórios e elevatórias de transferência e distribuição. Desta forma, os CLPs fazem as leituras dos instrumentos e sensores, comandam equipamentos e válvulas, transmitem estas informações ao sistema supervisor.



**Figura 2.32 - Exemplo de sistema SCADA de um sistema de abastecimento de água. Fonte: GOMES (2009, p. 206).**

O sistema supervisorio deverá suprir todas as necessidades operacionais do sistema de abastecimento de água, tanto em relação à comunicação, aos gráficos, aos relatórios, como quanto à supervisão, controle e gerenciamento dos sistemas e processos produtivos. Para tanto, o software supervisorio deverá conter, porém não se limitando, as seguintes funções: controle de acesso de usuários divididos em hierarquias, uma tela de comando principal de cada unidade, múltiplas telas para comando dos equipamentos, alarmes, permitir alteração de parâmetros de controle e *setpoint*, geração de gráficos e relatórios de variáveis históricas (GOMES, 2009 p. 220).

Em complemento ao apresentado na figura 2.31, em que se podem visualizar várias formas de comunicação, como por linha telefônica, via rádio e ethernet, a figura 2.33 evidencia a aplicação de redes Profibus, um tipo de padrão aberto de comunicação de campo para uso em automação. Este padrão é dividido em três tipos (GOMES, 2009, p. 217):

- Profibus-FMS (*Fieldbus Message Specification*): utilizado para tarefas complexas e extensas de comunicação.
- Profibus-DP (*Decentralized Peripheries*): é a solução para alta velocidade de transmissão, voltada para acesso aos dispositivos de I/O distribuídos.
- Profibus-PA (*Process Automation*): permite a medição e controle por cabo a dois fios, aplicável em áreas de segurança intrínseca.

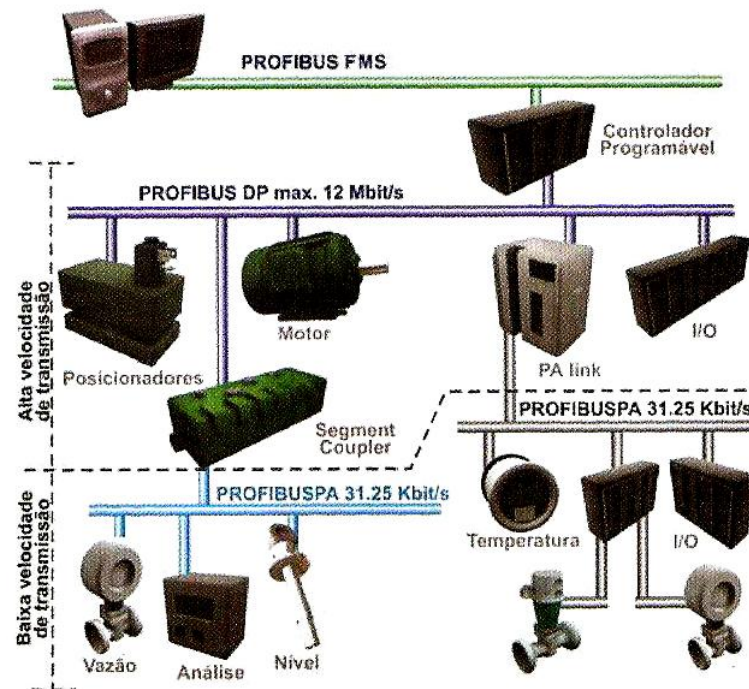


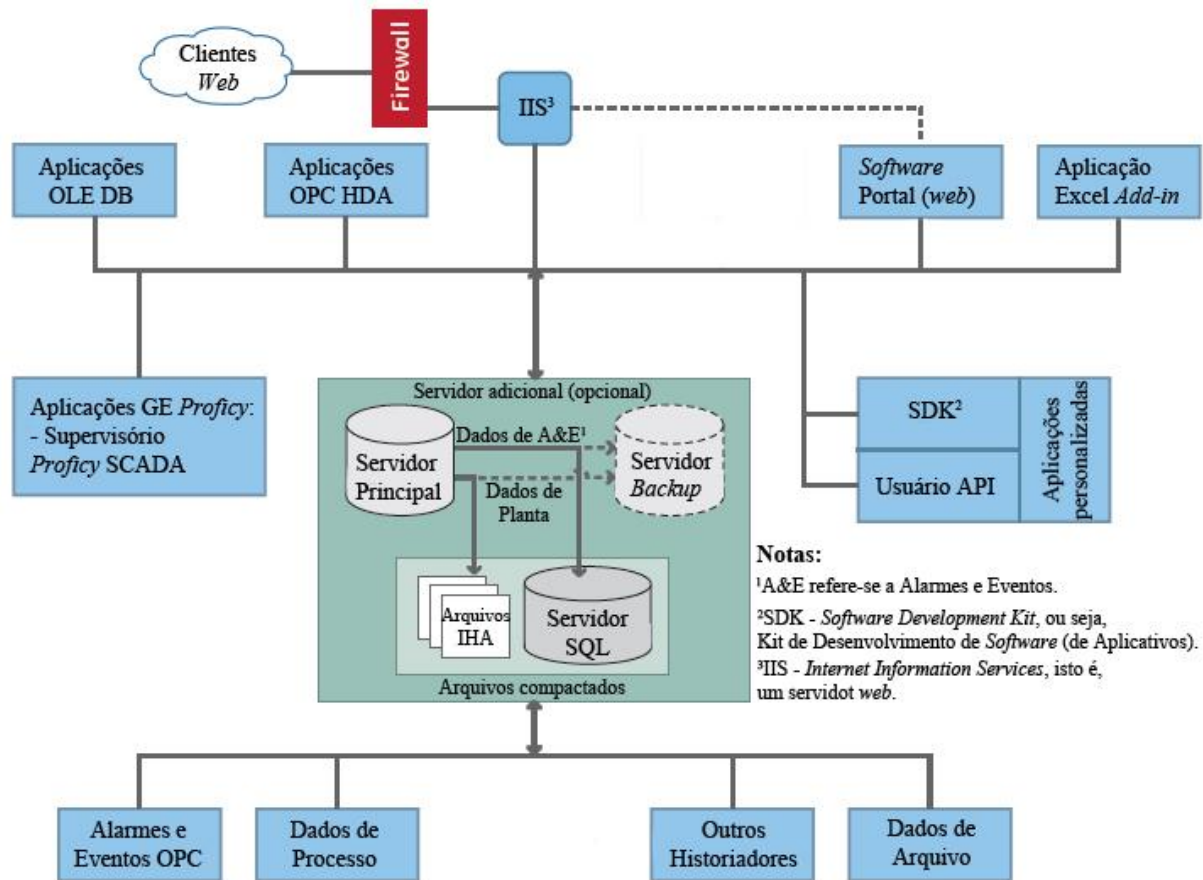
Figura 2.33 - Estrutura típica de um sistema baseado em rede Profibus.

Fonte: Adaptado de <http://www.mecatronicaatual.com.br> 2009, apud GOMES (2009, p. 217).

#### 2.4.7 Software Historiador

O *software* Historiador é uma solução de gerenciamento de informação de planta, que atua como um robusto sistema de banco de dados para coletar, arquivar e distribuir grandes volumes de dados do chão de fábrica, de forma simples, direta, em tempo real e a velocidades extremamente altas (GE *Intelligent Platforms*, 2012).

Conforme apresentado na figura 2.34, sua aplicação se dá de forma a atuar como uma base única e centralizada para o gerenciamento de dados, disponíveis para quantos clientes e aplicações forem necessários, pois é capaz de ler e armazenar qualquer tipo de informação do processo.



**Figura 2.34 - Arquitetura do software historiador (Proficy Historian - GE).**  
 Fonte: adaptado de GE *Intelligent Platforms* (2012).

No sistema de tratamento e distribuição de água, o software historiador coleta os dados do sistema de supervisão e controle, ou seja, as informações mais relevantes e essenciais dos CLPs e sistemas supervisórios são armazenadas e disponibilizadas por meio deste programa computacional.

Além disso, possui uma ferramenta chamada de *Excel Add-in* que disponibiliza os dados coletados em planilha eletrônica do Excel<sup>2</sup>. Este *plug-in* permite realizar consultas ao banco de dados de valores em tempo real ou históricos, desenvolver relatórios de valores das variáveis por hora, por dia e assim por diante. Uma vez que as informações estão na planilha é possível tratá-los utilizando todas as funções e ferramentas do Excel, como gráficos, formatações, tabelas dinâmicas, macros, entre outras.

<sup>2</sup> Microsoft® Office Excel®.

### 3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O sistema de distribuição de água tratada baseia-se na transferência de água entre reservatórios distribuídos em uma determinada região de abrangência e a partir destes pontos a água é fornecida à população e consumidores finais (industriais).

Em função das diferentes altitudes destes reservatórios, resultado da geografia das cidades, em muitos casos a transferência é realizada pelo bombeamento da água. Em um sistema integrado, os reservatórios estão interligados de forma a garantir o abastecimento para a população local e prover alternativas por meio de realização de manobras de válvulas localizadas em pontos estratégicos das redes.

Monachesi (2005) ressalta que o reservatório, dentro de um sistema de abastecimento de água, é responsável pelo equilíbrio entre a demanda e a oferta, na qual esta é a capacidade de produção de água tratada ou simplesmente a capacidade de transferência da elevatória, e aquela é o consumo dos clientes.

Para saber quanto de água cada reservatório necessitará receber durante um período é fundamental se conhecer o consumo médio diário da região. Conforme destacam Gomes (2004) e Tsutiya (2004), a vazão fornecida pela rede de distribuição varia continuamente durante o dia. O consumo de água sofre influência dos hábitos de consumo, das condições socioeconômicas da população, das condições climáticas, entre outros. Por isso, para uma mesma área de distribuição ocorrem variações anuais, mensais, diárias, horárias e instantâneas. Porém, para efeitos de dimensionamento e operação dos sistemas de abastecimento de água as variações diárias e horárias são as mais relevantes.

Através das variações diárias é possível determinar o coeficiente do dia de maior consumo ( $k_1$ ), considerando sempre as mesmas ligações de água, pelo cálculo:

$$k_1 = \frac{\text{maior consumo diário do ano}}{\text{consumo médio diário do ano}} \quad (3.1)$$

Assim, a vazão máxima requerida é definida por (Gomes, 2004, p. 25):

$$Q = \frac{P \times q}{3600 \times h} \times k_1 \quad (3.2)$$

onde:

- $Q$  = vazão máxima diária, em l/s;
- $P$  = população a ser abastecida pelo projeto;
- $q$  = consumo per capita, em l/hab/dia;
- $h$  = número de horas de funcionamento das unidades do sistema de abastecimento;
- $k_1$  = coeficiente do dia de maior consumo.

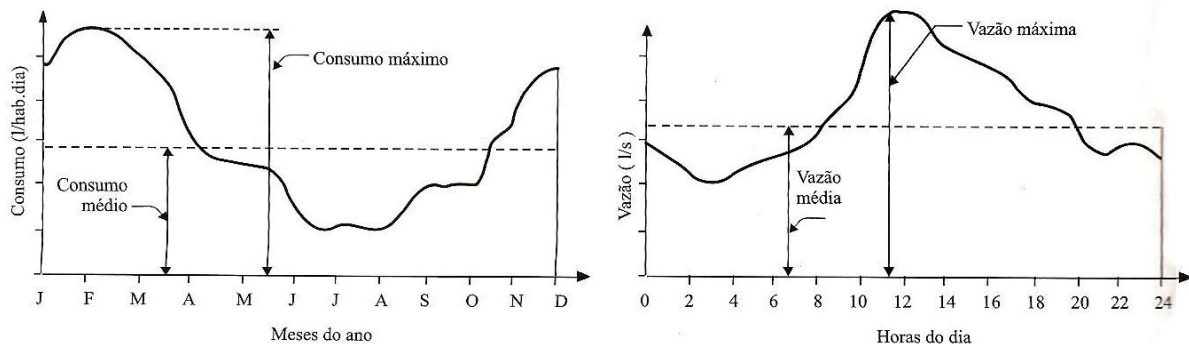
Pelas variações horárias define-se o coeficiente da hora de maior consumo ( $k_2$ ), determinado pela fórmula:

$$k_2 = \frac{\text{maior vazão horária do dia}}{\text{vazão média do dia}} \quad (3.3)$$

A vazão máxima horária demandada é (Gomes, 2004, p. 26):

$$Q = \frac{P \times q}{3600 \times h} \times k_1 \times k_2 \quad (3.4)$$

A figura 3.1 demonstra um comportamento típico das variações de consumo de água no ano e diário de cidades brasileiras.

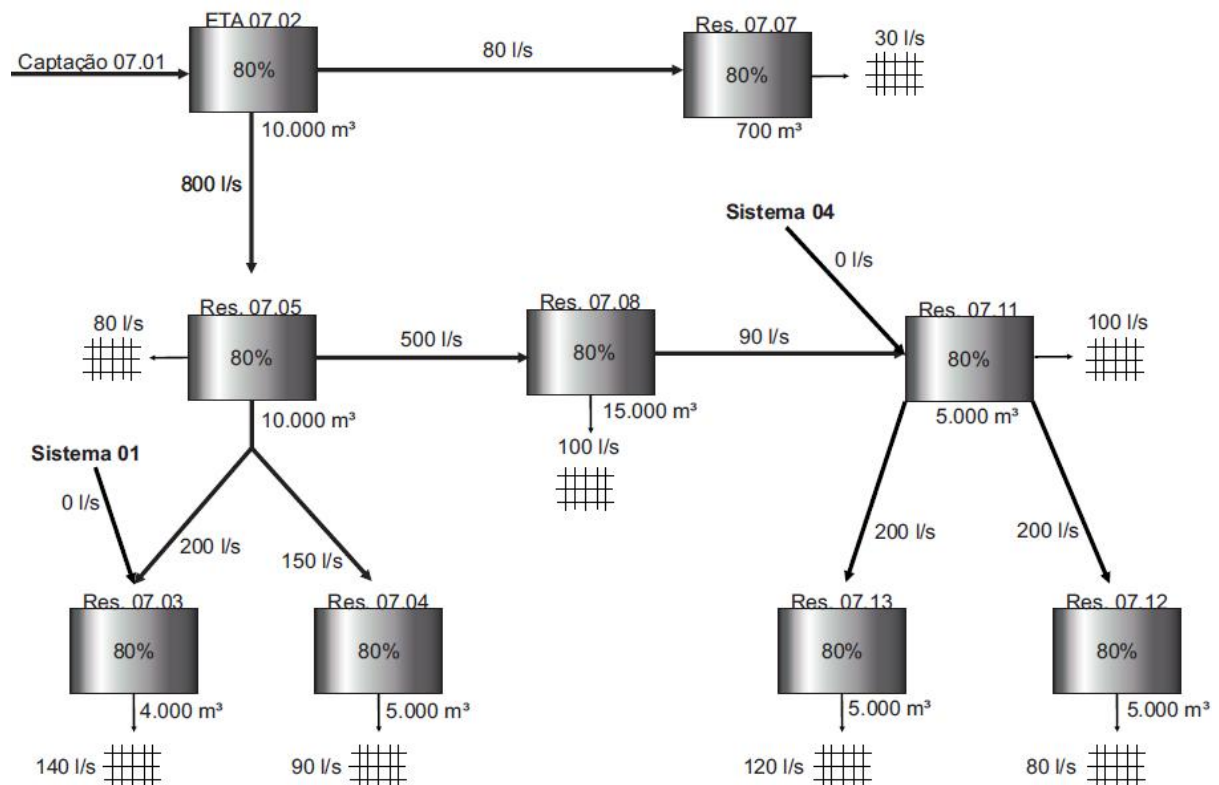


**Figura 3.1 - Variações de consumo no ano e diário.**  
**Fonte: TSUTIYA (2004, p. 52).**

A partir dessas curvas, pode-se observar um padrão de comportamento em que o consumo é maior nos meses de verão e menor nos de inverno. Além disso, fica evidente que a vazão mínima ocorre por volta das 3h, a vazão máxima em torno das 12h e a vazão média coincide com o consumo do período entre 7h e 8h e entre 18h e 22h (Tsutiya, 2004, p. 53).

Portanto, sabendo-se disto, foram determinados os locais da pesquisa para o desenvolvimento da coleta e análise dos dados de campo. O sistema de

abastecimento escolhido foi o Sistema 07, que é composto de uma captação, uma estação de tratamento e nove reservatórios. Conforme a concepção do sistema de abastecimento integrado da região, alguns destes reservatórios podem receber água de outros sistemas de abastecimento. O sistema de distribuição escolhido está esboçado na figura 3.2.



**Figura 3.2 - Sistema de distribuição de água (Sistema 07 – esquemático).**  
**Fonte: Autoria própria.**

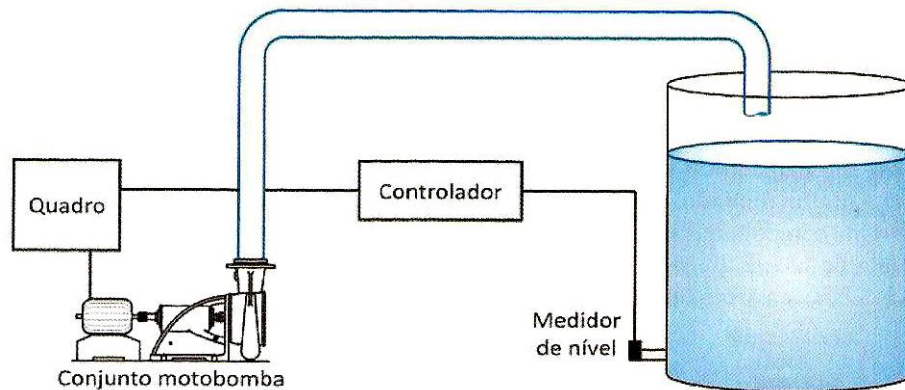
A razão da escolha deste sistema foi técnica, pois, como é o mais recente, possui os processos operacionais mais automatizados em relação aos demais, tem seus instrumentos padronizados (com relação à forma de comunicação) e tem seu endereçamento na rede de comunicação documentado e de acordo com o que estabelece a norma ISA 5.1.

Como os sistemas estão automatizados e fazem parte do sistema supervisor, todas as informações pertinentes estão armazenadas e disponíveis no *software* historiador. Portanto, para o desenvolvimento deste trabalho devem-se localizar em campo quais são as variáveis de leitura e de controle relevantes e identificá-las no *software*.



Partindo da premissa que o foco deste trabalho é possibilitar a parada das elevatórias de transferência no horário de ponta, é necessário atentar para os fatores que influenciam estas unidades operacionais.

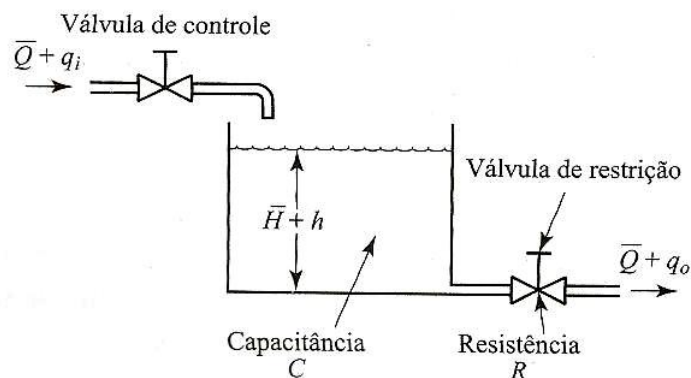
Desta forma, o primeiro passo estabelecido é identificar o controle de nível do reservatório, conforme exemplifica a figura 3.3.



**Figura 3.3 - Controle de nível de um reservatório.**  
Fonte: GOMES (2009, p. 224).

Primeiramente torna-se necessário localizar todos os medidores de nível dos reservatórios que enviam os dados de leitura para os CLPs que processam as lógicas de controle. O fato descrito é relevante, pois em alguns reservatórios há mais de um sensor de nível instalado, mas para o CLP sempre haverá um valor prioritário em relação aos demais, e é este que será utilizado no circuito lógico.

O segundo passo é conhecer quais são os medidores de vazão de entrada e saída do reservatório, pois são responsáveis diretas pela manutenção no nível do reservatório. A figura 3.4 exemplifica uma situação semelhante, em que a variável  $\bar{Q}$  representa a vazão em regime permanente.



**Figura 3.4 - Sistema de controle de nível.**  
Fonte: OGATA (2010, p. 92).



O terceiro passo não é vinculado à automação ou instrumentação, mas aos fatores construtivo e operacional de cada reservatório que são as alturas e os volumes, conforme explicado no capítulo 2 e visualizado através da figura 2.20. Portanto, devem-se localizar estas informações e determinar o volume máximo e mínimo de operação de cada reservatório.

O trabalho desenvolvido é este e consiste em uma tela de controle dos níveis e vazões de transferências dos reservatórios e em uma segunda tela com os gráficos de consumo diário de cada localidade. Os itens 3.1, 3.2 e 3.3 deste capítulo irão tratar dos detalhes específicos para a implantação desta ferramenta de análise e controle do sistema de distribuição de água.

### 3.1 DETERMINAÇÃO DAS VARIÁVEIS

A identificação dos instrumentos em campo e todos os demais equipamentos envolvidos nos processos de tratamento e distribuição da água foram desenvolvidos aplicando a norma ISA 5.1. Isto facilita a localização dos instrumentos na planta, no sistema supervisor e no *software* historiador, além do entendimento dos processos do sistema como um todo e da lógica desenvolvida nos CLPs.

No sistema produtor/distribuidor 07 foram adotados os seguintes endereços para as unidades operacionais:

- Captação de água bruta: 07.01
- Estação de tratamento de água: 07.02
- Reservatórios de água tratada: 07.03 em diante.

O reservatório identificado como ETA 07.02 refere-se ao reservatório de água tratada localizado no final do processo de tratamento da estação, sendo considerado como o início do sistema de distribuição. As unidades Captação e ETA compõem o sistema produtor.

Localidade / TAG	07.02	07.03	07.04	07.05	07.07	07.08	07.11	07.12	07.13
Nível do Reservatório	LT21	LT01	LT01	LT01	LT02	LT01	LT01	LT01	LT02
Vazão de Entrada	FT01*	FT01	FT04	FT01	FT17*	FT01	FT01	FT01	FT01
Vazão de Saída	FT16	FT02	FT01	FT02	FT01	FT03	FT04	FT02	FT02
	FT17	FT04	FT02	FT03	FT02	FT04	FT05	FT03	FT03
		FT03	FT03	FT05	FT03	FT05	FT02	FT04	FT04
		FT05	FT05	FT06		FT02	FT03	FT05	FT05
			FT06	FT04			FT06		
				FT07			FT07		

\* A vazão de entrada é determinada pelo medidor de saída da elevatória da unidade a montante.

**Quadro 3.1 - Medidores de Nível e Vazão das unidades operacionais.**

Fonte: Autoria própria.

Localidade / Área	unid.	07.02	07.03	07.04	07.05	07.07	07.08	07.11	07.12	07.13
Capacidade de Reservação	m <sup>3</sup>	10.000	4.000	5.000	10.000	700	15.000	5.000	5.000	5.000
Nível Máximo (intertravamento)	m	4,00	3,10	9,50	7,40	3,50	4,40	9,20	9,00	9,00
Nível Operacional (libera carregamento)	m	3,00	2,50	9,00	7,10	2,50	4,00	9,00	8,00	8,50
Nível Mínimo (intertravamento)	m	1,00	0,50	0,60	1,00	0,50	0,50	1,00	0,60	0,40

**Quadro 3.2 - Características construtivas e operacionais dos reservatórios.**

Fonte: Autoria própria.

Os quadros 3.1 e 3.2 apresentam, respectivamente, os *Tag`s*<sup>3</sup> dos instrumentos e os valores de volume total e dos níveis operacionais dos reservatórios em cada uma das localidades.

Os *Tag`s* completos dos instrumentos são formados pela combinação do *Tag* da área e do instrumento, conforme o exemplo: 0702LT21, que se refere ao sensor/transmissor de nível 21 da unidade 07.02 (ETA).

No caso dos sensores de nível o valor enviado ao CLP diz respeito apenas à leitura instantânea da grandeza. Todos os instrumentos envolvidos na pesquisa são de pressão manométrica para leitura do nível dos reservatórios. Por

<sup>3</sup> *Tag* ou *Tagname* é um código alfanumérico, cuja finalidade é a de identificar equipamentos ou instrumentos, dentro de uma planta de processos (Norma ISA 5.1).

outro lado, os medidores de vazão enviam ao CLP os dados de vazão instantânea e dos totalizadores de vazão direta e reversa, são todos medidores de vazão eletromagnéticos com comunicação via rede Profibus-DP.

### 3.2 DETERMINAÇÃO DA CURVA DE CONSUMO DIÁRIO

Uma vez determinadas as variáveis dos processos e as características individuais de cada um dos reservatórios dá-se início a compilação dos dados para levantamento da curva de consumo diário e o controle do nível dos reservatórios para se garantir o desligamento das elevatórias de transferência no horário de ponta sem causar o desabastecimento da população.

Os medidores de vazão eletromagnéticos transmitem os valores de leitura instantânea e os somatórios ou totalizadores de vazão direta ou reversa. Para se determinar a vazão em um período utilizamos as leituras do totalizador de vazão direta da seguinte forma:

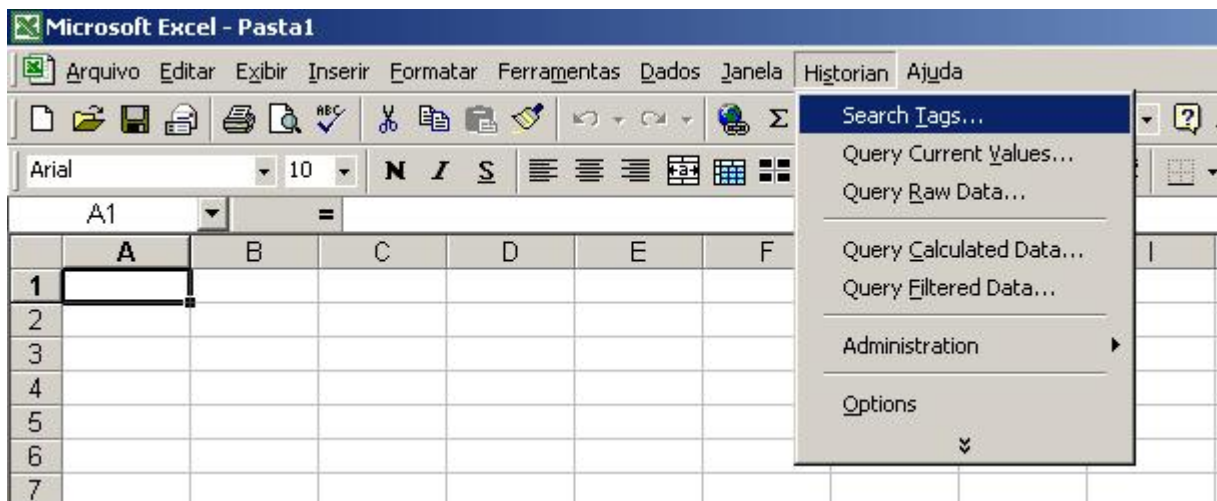
$$Vazão\ no\ período = \frac{Vazão\ acumulada\ em\ t_1 - Vazão\ acumulada\ em\ t_0}{t_1 - t_0} \quad (3.5)$$

O que nada mais é do que a vazão final subtraída da inicial, em relação ao período de avaliação. O software historiador disponibiliza os dados dos instrumentos em planilha eletrônica (Excel *Add-in*), através do sistema supervisor identificamos qual é o *Tag* dos medidores de vazão de cada rede de distribuição, conforme apresentado no quadro 3.1. A partir deste ponto, a determinação da curva de consumo diário ocorre apenas no desenvolvimento de cálculos e gráficos no programa Excel. O quadro 3.3 identifica quais são os medidores de vazão de distribuição dos reservatórios envolvidos.

Localidade / TAG	07.02	07.03	07.04	07.05	07.07	07.08	07.11	07.12	07.13
Vazão de Distribuição		FT02	FT01	FT02	FT01	FT03	FT04	FT02	FT02
		FT04	FT02	FT03	FT02	FT04	FT05	FT03	FT03
			FT03	FT05	FT03	FT05		FT04	FT04
			FT05	FT06				FT05	FT05
			FT06						

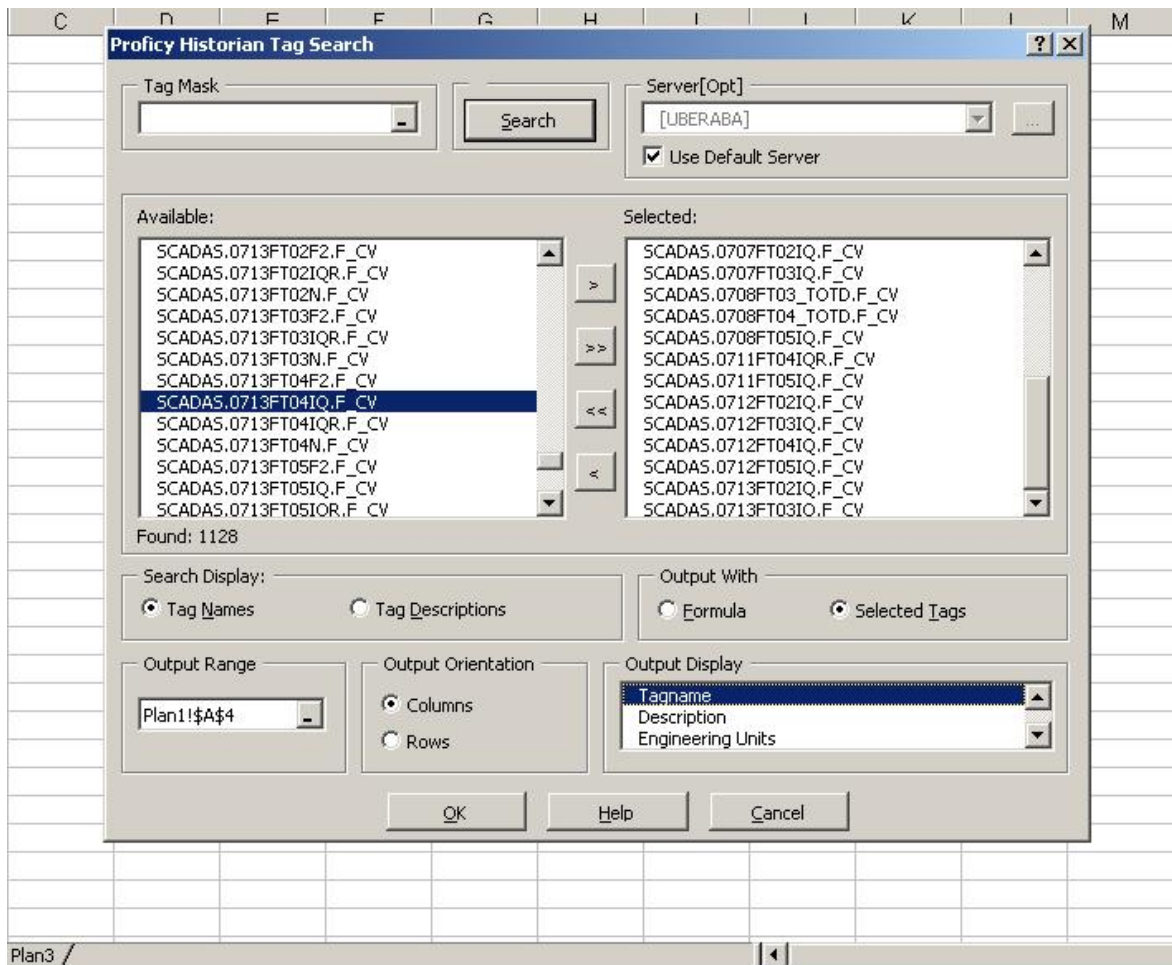
**Quadro 3.3 - Medidores de vazão de distribuição dos reservatórios.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Uma vez relacionados os 27 medidores de vazão envolvidos, utiliza-se o *software* historiador para identificar os *Tags* dos totalizadores de vazão direta destes instrumentos. A figura 3.5 apresenta a tela inicial da aplicação Excel *Add-in* para localização dos *Tags*.



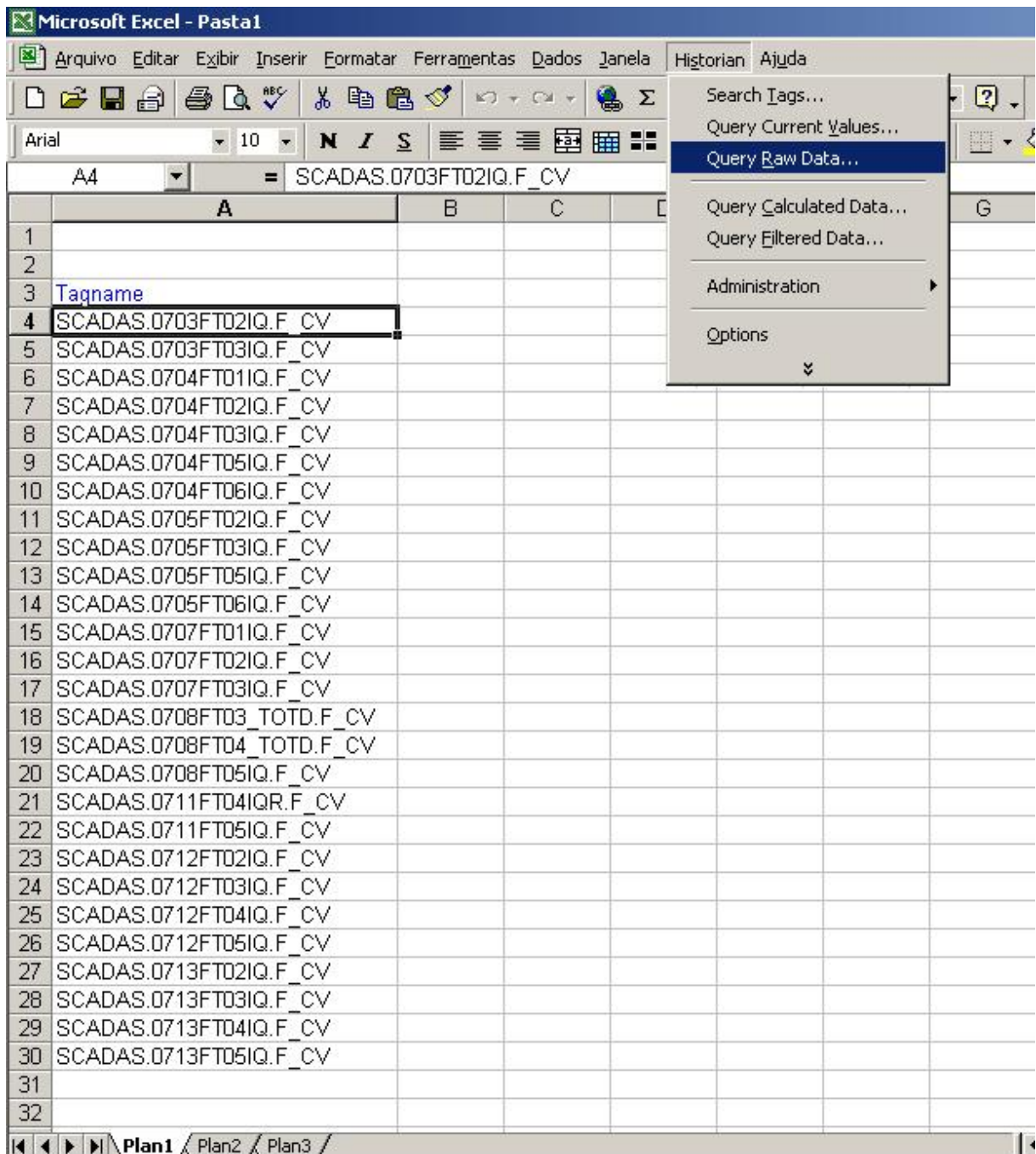
**Figura 3.5 - Aplicação Excel *Add-in* - Localização de *Tags*.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Ao selecionar a opção *Search Tags* no menu *Historian* é possível selecionar as *Tags* desejadas, dentre as disponíveis, e qual variável importar para a planilha, conforme apresenta a figura 3.6.



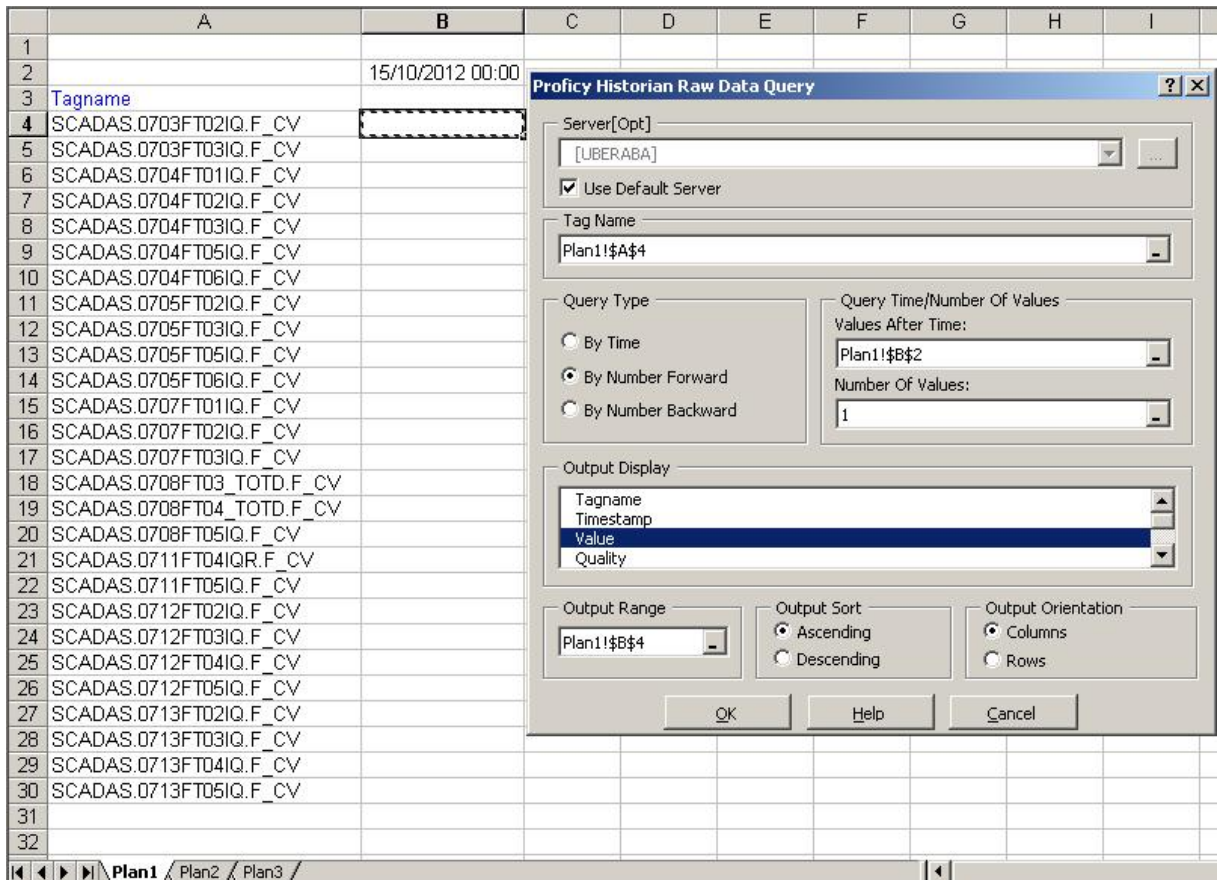
**Figura 3.6 - Ferramenta para localizar as Tags no aplicativo Excel Add-in.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Uma vez importados os *Tags* das variáveis para a planilha, inicia-se a pesquisa no banco de dados do *software* historiador através da opção *Query Raw Data*, conforme demonstra a figura 3.7.



**Figura 3.7 - Aplicação Excel Add-in - Consulta de dados históricos.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Ao selecionar a opção *Query Raw Data*, que faz uma consulta nos dados históricos armazenados, é possível determinar o valor de um determinado *Tag* em uma data e horários específicos e importá-lo para a planilha, conforme mostrado na figura 3.8.



**Figura 3.8 - Ferramenta para importar valores históricos de *Tags* no aplicativo Excel *Add-in*.  
Fonte: Autoria própria.**

A consulta demonstrada na figura 3.8 tem como resultado o valor do *Tag* localizado na célula A4 da planilha, no instante determinado na célula B2 e apresentado na célula B4. Este valor é a leitura do totalizador de vazão direta do medidor de distribuição do instrumento FT02 da unidade operacional 07.03. Portanto, para se chegar à curva de consumo diário de uma localidade é necessário completar a planilha com consultas horárias para todos os medidores de vazão de distribuição desta localidade.

A figura 3.9 mostra uma parte da planilha gerada para a consulta da vazão de distribuição a cada hora do dia estipulado na célula B2 para todo o sistema de distribuição de água – Sistema 07. No topo da figura está a linha de comando gerada pela aplicação Excel *Add-in* da mesma forma que apresentado na figura 3.8, porém com relação aos dados de outro instrumento e em outro instante de tempo.



D13 =ihQueryData(";\$A13;D\$2;"";RawByNumber";"";0;1;"Forward";"";"";"";1;1;0;"Value")											
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
	15/10/2012 00:00	15/10 01:00	15/10 02:00	15/10 03:00	15/10 04:00	15/10 05:00	15/10 06:00	15/10 07:00	15/10 08:00	15/10 09:00	
Tagname	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	Value	
SCADAS.0703FT02IQ.F_CV	399.956	399.956	399.956	399.956	399.956	399.956	399.956	399.956	399.956	399.956	
SCADAS.0703FT03IQ.F_CV	447.337	447.337	447.337	447.337	447.337	447.337	447.337	447.337	447.337	447.337	
SCADAS.0704FT01IQ.F_CV	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	4.369.355	
SCADAS.0704FT02IQ.F_CV	7.667	7.667	7.667	7.667	7.667	7.667	7.667	7.667	7.667	7.667	
SCADAS.0704FT03IQ.F_CV	11.639.376	11.639.569	11.639.745	11.639.905	11.640.056	11.640.224	11.640.427	11.640.704	11.641.036	11.641.417	
SCADAS.0704FT05IQ.F_CV	968.504	968.524	968.541	968.556	968.570	968.585	968.606	968.639	968.680	968.727	
SCADAS.0704FT06IQ.F_CV	1.225.659	1.225.665	1.225.671	1.225.676	1.225.682	1.225.687	1.225.694	1.225.704	1.225.716	1.225.731	
SCADAS.0705FT02IQ.F_CV	1.660.107	1.660.184	1.660.253	1.660.319	1.660.395	1.660.468	1.660.550	1.660.661	1.660.796	1.660.949	
SCADAS.0705FT03IQ.F_CV	2.507.880	2.507.881	2.507.881	2.507.882	2.507.883	2.507.884	2.507.886	2.507.889	2.507.892	2.507.895	
SCADAS.0705FT05IQ.F_CV	4.549.773	4.550.109	4.550.409	4.550.692	4.550.977	4.551.264	4.551.565	4.551.959	4.552.457	4.553.063	
SCADAS.0705FT06IQ.F_CV	242.768	242.768	242.768	242.768	242.768	242.768	242.768	242.768	242.768	242.768	
SCADAS.0707FT01IQ.F_CV	1.524.439	1.524.469	1.524.496	1.524.521	1.524.546	1.524.571	1.524.599	1.524.638	1.524.689	1.524.747	
SCADAS.0707FT02IQ.F_CV	729.140	729.151	729.166	729.172	729.189	729.190	729.214	729.219	729.248	729.263	
SCADAS.0707FT03IQ.F_CV	751.649	751.667	751.682	751.697	751.711	751.726	751.744	751.767	751.795	751.821	
SCADAS.0708FT03_TOTD.F_CV	57.380.824	57.380.824	57.380.824	57.380.824	57.380.824	57.380.824	57.380.824	57.380.824	57.382.020	57.383.417	
SCADAS.0708FT04_TOTD.F_CV	5.254.332	5.255.052	5.255.704	5.256.319	5.256.922	5.257.532	5.258.291	5.259.271	5.259.277	5.259.277	
SCADAS.0708FT05IQ.F_CV	3.194.076	3.194.076	3.194.076	3.194.293	3.194.975	3.195.619	3.196.318	3.196.654	3.197.118	3.197.517	
SCADAS.0711FT04IQR.F_CV	1.967	1.967	1.967	1.967	1.967	1.967	1.967	1.967	1.967	1.967	
SCADAS.0711FT05IQ.F_CV	3.961.668	3.961.694	3.961.713	3.961.730	3.961.746	3.961.765	3.961.799	3.961.854	3.961.919	3.962.000	
SCADAS.0712FT02IQ.F_CV	163.061	163.106	163.147	163.185	163.222	163.263	163.311	163.384	163.471	163.575	
SCADAS.0712FT03IQ.F_CV	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	2.543.095	
SCADAS.0712FT04IQ.F_CV	1.663.639	1.663.704	1.663.762	1.663.815	1.663.867	1.663.921	1.663.996	1.664.110	1.664.268	1.664.463	
SCADAS.0712FT05IQ.F_CV	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	2.371.960	
SCADAS.0713FT02IQ.F_CV	5.396.991	5.397.091	5.397.175	5.397.255	5.397.331	5.397.413	5.397.519	5.397.652	5.397.817	5.398.000	
SCADAS.0713FT03IQ.F_CV	415.710	415.710	415.710	415.710	415.710	415.710	415.710	415.710	415.710	415.710	
SCADAS.0713FT04IQ.F_CV	2.281.752	2.281.771	2.281.784	2.281.795	2.281.804	2.281.818	2.281.855	2.281.900	2.281.959	2.282.040	
SCADAS.0713FT05IQ.F_CV	381.211	381.211	381.211	381.211	381.211	381.211	381.211	381.211	381.211	381.211	

**Figura 3.9 - Valores dos totalizadores de vazão direta dos medidores de distribuição.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Os valores resultantes destas consultas ao banco de dados não expressam qualquer informação relevante, pois são apenas valores de volume sem qualquer referência com tempo, isto é, apenas os valores em litros (l) ou metros cúbicos (m<sup>3</sup>). E, para se determinar a curva de consumo diário deve-se chegar a algo como l/s ou m<sup>3</sup>/h. Para isso, com o auxílio de uma planilha complementar, deveremos desenvolver uma fórmula para se subtrair a vazão em um instante por sua leitura anterior, isto é, simplesmente aplicar a fórmula da expressão 3.5, definida neste capítulo.

A figura 3.10 apresenta a planilha de cálculos auxiliares para a determinação das curvas de demanda diária das localidades do sistema de distribuição, os valores são importados em uma planilha e manipulados em outra. De forma resumida, calcula-se a vazão de hora em hora, do instante  $t_1$  menos  $t_0$ , para cada um dos totalizadores de vazão direta. O resultado é a vazão a cada hora do dia em cada medidor de vazão de distribuição do sistema 07.



RAIZ											
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
2			15/10/2012	15/10 00:00	15/10 01:00	15/10 02:00	15/10 03:00	15/10 04:00	15/10 05:00	15/10 06:00	15/10 07:00
5	RES. 07.03	Σ (horária)	RES. 07.03	278	264	255	247	244	249	282	337
6		média/dia	07.03	351	351	351	351	351	351	351	351
12	RES. 07.04	Σ (horária)	RES. 07.04	219	199	180	171	188	231	320	385
13		média/dia	07.04	439	439	439	439	439	439	439	439
18	RES. 07.05	Σ (horária)	RES. 07.05	414	369	350	362	361	385	508	636
19		média/dia	07.05	677	677	677	677	677	677	677	677
23	RES. 07.07	Σ (horária)	RES. 07.07	59	57	46	56	41	70	67	108
24		média/dia	07.07	107	107	107	107	107	107	107	107
25		D708FT03	SCADAS.0708FT03_TOTD.F	0	0	0	0	0	0	0	1.196
26		D708FT04	SCADAS.0708FT04_TOTD.F	720	652	615	603	610	759	980	6
27	RES. 07.08	D708FT05	SCADAS.0708FT05IQ.F_CV	0	0	217	682	644	699	336	464
28		Σ (horária)	RES. 07.08	720	652	832	1.285	1.254	1.458	1.316	1.666
29		média/dia	07.08	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511
30		D711FT04	SCADAS.0711FT04IQ.F_CV	0	0	0	0	0	0	0	0
31	RES. 07.11	D711FT05	SCADAS.0711FT05IQ.F_CV	26	19	17	16	19	34	55	65
32		Σ (horária)	RES. 07.11	26	19	17	16	19	34	55	65
33		média/dia	07.11	89	89	89	89	89	89	89	89
34		D712FT02	SCADAS.0712FT02IQ.F_CV	45	41	38	37	41	48	73	87
35		D712FT03	SCADAS.0712FT03IQ.F_CV	0	0	0	0	0	0	0	0
36		D712FT04	SCADAS.0712FT04IQ.F_CV	65	58	53	52	54	75	114	158
37	RES. 07.12	D712FT05	SCADAS.0712FT05IQ.F_CV	0	0	0	0	0	0	0	0
38		Σ (horária)	RES. 07.12	110	99	91	89	95	123	187	245
39		média/dia	07.12	268	268	268	268	268	268	268	268
40		D713FT02	SCADAS.0713FT02IQ.F_CV	100	84	80	76	82	106	133	165
41		D713FT03	SCADAS.0713FT03IQ.F_CV	0	0	0	0	0	0	0	0
42		D713FT04	SCADAS.0713FT04IQ.F_CV	19	13	11	9	14	37	45	59
43	RES. 07.13	D713FT05	SCADAS.0713FT05IQ.F_CV	0	0	0	0	0	0	0	0
44		Σ (horária)	RES. 07.13	97	91	85	85	96	143	178	224
45		média/dia	07.13	290	290	290	290	290	290	290	290
46											

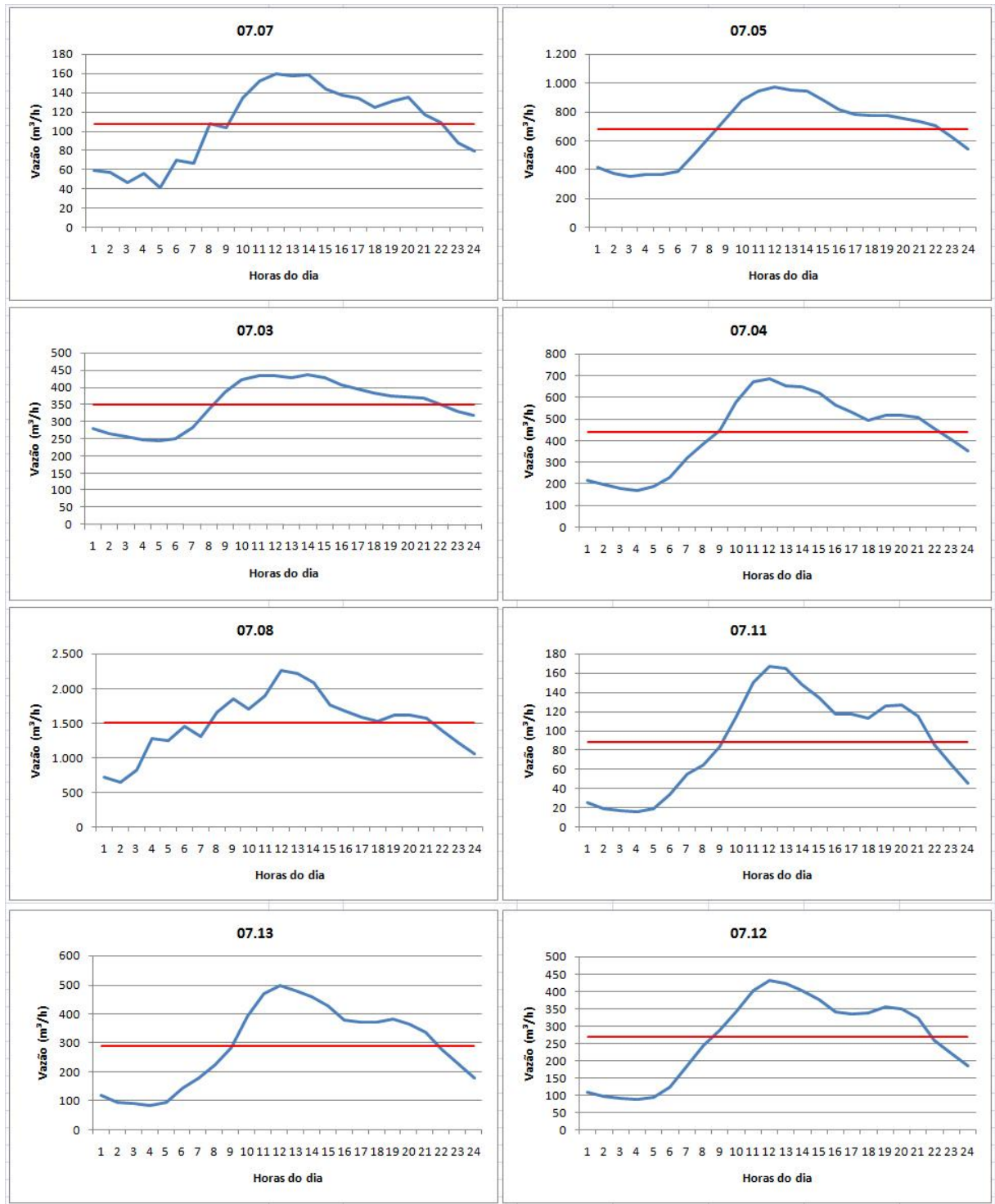
**Figura 3.10 - Planilha de cálculos para determinar a curva de demanda diária.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Para simplificar a análise e diminuir a quantidade de variáveis, pode-se utilizar o somatório das vazões de distribuição de cada reservatório. Assim, serão apenas 8 (oito) dados a serem trabalhados, um por reservatório. Para se chegar a curvas com as apresentadas na figura 3.1 deve-se calcular a média de consumo do dia, que de forma simples é a mera aplicação de equação disponível no Excel, conforme demonstra a figura 3.11.

RAIZ																					
1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
2			15/10/2012	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00
5	RES. 07.03	Σ (horária)	RES. 07.03	278	264	255	247	244	249	282	337	386	420	432	433	427	436	426	406	396	384
6		média/dia	07.03	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351	351
12	RES. 07.04	Σ (horária)	RES. 07.04	219	199	180	171	188	231	320	385	447	579	673	685	650	647	621	562	532	492
13		média/dia	07.04	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439	439
18	RES. 07.05	Σ (horária)	RES. 07.05	414	369	350	362	361	385	508	636	763	881	948	974	952	945	883	820	779	776
19		média/dia	07.05	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677	677
23	RES. 07.07	Σ (horária)	RES. 07.07	59	57	46	56	41	70	67	108	104	134	153	160	158	159	144	138	134	125
24		média/dia	07.07	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107	107
28	RES. 07.08	Σ (horária)	RES. 07.08	720	652	615	603	610	759	980	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29		média/dia	07.08	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511	1.511
32	RES. 07.11	Σ (horária)	RES. 07.11	26	19	17	16	19	34	55	65	84	114	150	167	165	148	134	117	117	113
33		média/dia	07.11	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89	89
38	RES. 07.12	Σ (horária)	RES. 07.12	110	99	91	89	95	123	187	245	288	342	405	433	423	405	376	341	335	339
39		média/dia	07.12	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268	268
44	RES. 07.13	Σ (horária)	RES. 07.13	97	91	85	85	96	143	178	224	285	392	470	499	481	461	428	381	372	373
45		média/dia	07.13	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290	290
46																					

**Figura 3.11 - Vazão horária e média de consumo diária.**  
**Fonte: Autoria própria.**

Com os dados de vazão horária e a média de consumo diária, utilizando-se gráficos de linha, chega-se a curva do consumo diário de cada reservatório, conforme exemplifica a figura 3.12.

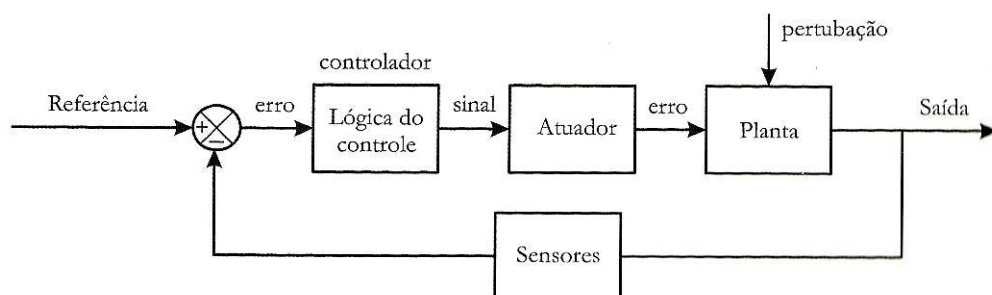


**Figura 3.12 - Curvas de consumo diário dos reservatórios do sistema de distribuição.**  
**Fonte: Autoria própria.**

### 3.3 DETERMINAÇÃO DAS VAZÕES PARA AS ELEVATÓRIAS DE TRANSFERÊNCIA

De posse das curvas de consumo diário de cada localidade é possível prever qual é o nível operacional seguro de cada reservatório para um desligamento das elevatórias de transferência no horário de ponta. Este nível deve ser calculado em função do consumo da região durante o período em que o custo da energia é mais alto, que compreende o intervalo das 18h e às 21h do horário oficial de Brasília ou das 19h às 22h do horário de verão, válido para as tarifas da Copel. Outro fator determinante é a característica construtiva de cada reservatório, em razão de sua altura e volume.

O nível determinado será a referência (o *Setpoint*) do sistema de controle e a vazão total de distribuição será a perturbação, a figura 3.13 exemplifica esta situação.



**Figura 3.13 - Diagrama de blocos conceitual de um sistema de controle em malha fechada.**  
**Fonte: GOMES (2009, p. 224).**

Os demais componentes do sistema de controle em malha fechada são os sensores representados pelo sensor de nível e pelos medidores de vazão, o papel de controlador é desempenhado pela planilha eletrônica, o atuador é o funcionário operador do sistema supervisório que fará os ajustes necessários, planta são as instalações de cada localidade e a saída que é a vazão de transferência calculada, ou seja, o resultado deste trabalho. Além disso, o horário atual age como um dos sensores e é realimentado no sistema de controle.

O sistema realimentado é dinâmico, a perturbação é definida pelo consumo da população, que por sua vez não é padronizada, pelo contrário, sofre ações externas a cada instante. A vazão de transferência entre os reservatórios deve ser suficiente para que supra as necessidades de consumo da população e ao mesmo tempo recupere os níveis operacionais dos reservatórios. Os fatores limitadores das vazões de transferência são as capacidades dos conjuntos motobombas das elevatórias, os diâmetros das adutoras e os contratos de demanda de energia das unidades operacionais.

Na prática, utilizando-se as leituras do banco de dados, através da ferramenta Excel *Add-in*, temos os valores atuais de nível e vazão na planilha eletrônica. Em uma planilha de dados é possível relacionar os dados em três categorias:

- Dados construtivos dos reservatórios: são os dados fixos referente às capacidades nominais de reservação e as alturas dos níveis operacionais de segurança. Na planilha apresentada na figura 3.14 são as linhas de 5 a 8.
- Instrumentação dos reservatórios: referem-se aos dados de nível e vazão de entrada e saída dos reservatórios. As vazões de saída podem ser divididas entre as vazões de transferência ou de distribuição, em que esta é a de fornecimento de água à população e aquela a de recalque para o reservatório à jusante. Representam as linhas de 10 a 17 da planilha da figura 3.14.
- Cálculos e tratamento dos dados: são as análises e os cálculos matemáticos que executam a função do controlador da figura 3.13 e que determina a vazão de transferência necessária para o desligamento da elevatória no horário de ponta, levando em consideração as informações de campo, o nível desejado (linha 9) e o horário atual do controle. Estes cálculos estão desenvolvidos nas linhas de 18 a 28 da planilha da figura 3.14.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1									
2									
3		Descrição	TAG	Valor	Unidade	Descrição	TAG	Valor	Unidade
4	Localidade / Área		07.07				07.05		
5	Capacidade de Reservação			700	m <sup>3</sup>			10.000	m <sup>3</sup>
6	Nível Máximo (intertravamento)			3,50	m			7,40	m
7	Nível Oper. (libera carregamento)			2,50	m			7,10	m
8	Nível Mínimo (intertravamento)			0,50	m			1,00	m
9	Nível Desejado			3,50	m			7,40	m
10	Nível do Reservatório	LT02	SCADAS.0707LT02P.F_CV	2,91	m	LT01	SCADAS.0705LT01P.F_CV	7,07	m
11	Vazão de Entrada	FT17	SCADAS.070205FT17N.F_CV	82,60	l/s	FT01	SCADAS.0705FT01N.F_CV	783,20	l/s
12	Vazão de Saída	FT01	SCADAS.0707FT01N.F_CV	17,00	l/s	FT02	SCADAS.0705FT02N.F_CV	40,60	l/s
13		FT02	SCADAS.0707FT02N.F_CV	8,00	l/s	FT03	SCADAS.0705FT03N.F_CV	0,00	l/s
14		FT03	SCADAS.0707FT03N.F_CV	9,40	l/s	FT05	SCADAS.0705FT05N.F_CV	149,70	l/s
15						FT06	SCADAS.0705FT06N.F_CV	0,00	l/s
16						FT04	SCADAS.0705FT04N.F_CV	157,00	l/s
17						FT07	SCADAS.0705FT07N.F_CV	545,10	l/s
18	Somatório da Vazão de Saída			34	l/s			892	l/s
19	Vazão de Transferência			0	l/s			702	l/s
20	Vazão de Distribuição			34	l/s			190	l/s
21	Relação Entrada - Saída (l/s)			48	l/s			-109	l/s
22	Volume			582	m <sup>3</sup>			9.554	m <sup>3</sup>
23	Nível Percentual			83%	%			96%	%
24	Horário Atual			14:27	hh:mm			14:27	hh:mm
25	Horário de Ponta			18:00	hh:mm			18:00	hh:mm
26	Tempo para encher			03:32	hh:mm			03:32	hh:mm
27	Vazão para encher (m <sup>3</sup> /h)			33,3	m <sup>3</sup> /h			125,9	m <sup>3</sup> /h
28	Vazão para encher (l/s)			43,4	l/s			926,5	l/s
29									
30									
31									
32									

Figura 3.14 - Planilha de dados.  
Fonte: Autoria própria.

Para se realizar o acompanhamento dos valores atuais da instrumentação de campo, relacionada nas linhas de 10 a 17 da planilha da figura 3.14, utiliza-se a ferramenta *Query Current Values* do menu *Historian*, conforme destaca a figura 3.15.

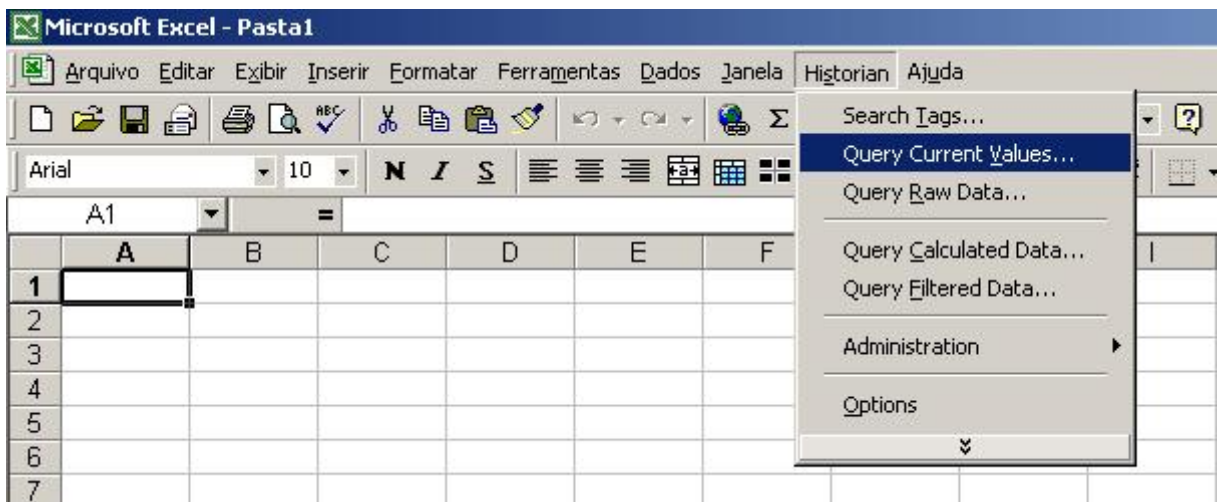


Figura 3.15 - Aplicação Excel *Add-in* - Consulta de valores atuais.  
Fonte: Autoria própria.

Ao selecionar a opção *Query Current Values* é possível determinar o valor atual de um determinado *Tag* e importá-lo para a planilha, conforme mostrado na figura 3.16.

	A	B	C	D	E	F	G
1							
2							
3		Descrição	TAG				
4	Localidade / Área		07.07				
5	Capacidade de Reservação			700	m <sup>3</sup>		
6	Nível Máximo (intertravamento)			3,50	m		
7	Nível Oper. (libera carregamento)			2,50	m		
8	Nível Mínimo (intertravamento)			0,50	m		
9	<b>Nível Desejado</b>			<b>3,50</b>	<b>m</b>		
10	Nível do Reservatório	LT02	SCADAS.0707LT02P.F_CV				
11	Vazão de Entrada	FT17	SCADAS.070205FT17N.F_CV				
12		FT01	SCADAS.0707FT01N.F_CV				
13		FT02	SCADAS.0707FT02N.F_CV				
14	Vazão de Saída	FT03	SCADAS.0707FT03N.F_CV				
15							
16							
17							
18	Somatório da Vazão de Saída			0	l/s		
19	Vazão de Transferência			0	l/s		
20	Vazão de Distribuição			0	l/s		
21	Relação Entrada - Saída (l/s)			0	l/s		
22	Volume			0	m <sup>3</sup>		
23	Nível Percentual			0%	%		
24	Horário Atual			16:17	hh:mm		
25	Horário de Ponta			18:00	hh:mm		
26	Tempo para encher			01:42	hh:mm		
27	Vazão para encher (m <sup>3</sup> /h)			408,6	m <sup>3</sup> /h		
28	Vazão para encher (l/s)			110,7	l/s		

**Proficy Historian Current Value Query**

Server[Opt]  
 [LUBERABA]

Use Default Server

Tag Name(s)  
 Plan1!\$C\$10

Output Display  
 Tagname  
 Timestamp  
 Value  
 Quality

Output Cell  
 Plan1!\$D\$10

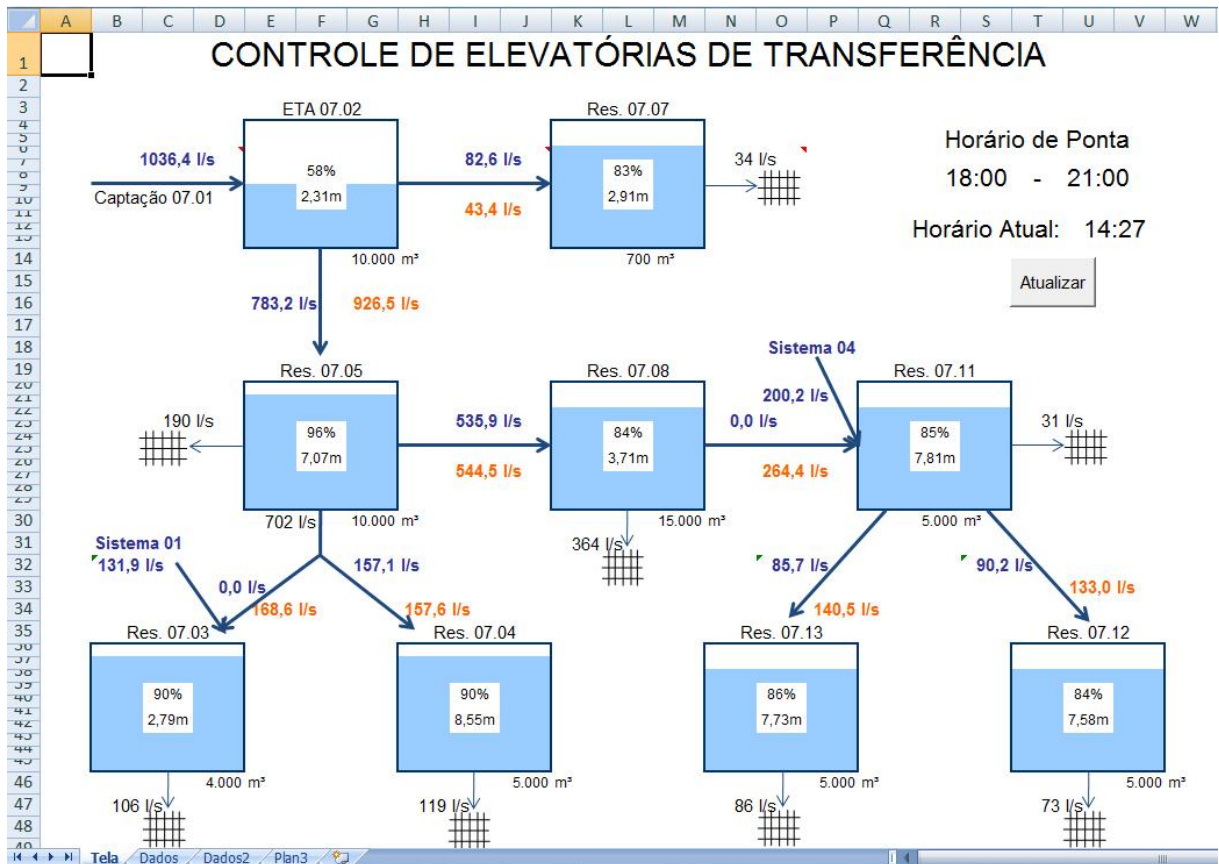
Output Orientation  
 Columns  
 Rows

OK Help Cancel

**Figura 3.16 - Ferramenta para importar valores atuais de *Tags* no aplicativo Excel *Add-in*.  
 Fonte: Autoria própria.**

Para obtenção das leituras instantâneas de vazão de entrada ou de saída dos reservatórios devem-se utilizar os *Tags* correspondentes, pois são diferentes dos utilizados para determinação das curvas de demandas diárias, uma vez que estes são os totalizadores e aqueles os registros atuais. Pois, conforme explicado anteriormente, os transmissores de vazão eletromagnéticos enviam os dados de leitura instantânea, totalizadores de vazão direta e reversa para os CLPs via rede Profibus-DP.

As informações obtidas dos dados dos instrumentos de campo e dos cálculos desenvolvidos na planilha da figura 3.16 estão apresentados de forma gráfica na planilha da figura 3.17. O objetivo desta tela de controle desenvolvida em planilha eletrônica é apresentar de forma simples e direta um resumo do sistema distribuidor e informar qual é a vazão de transferência atual (à esquerda ou acima das setas) e qual deveria ser a vazão necessária para se atingir o nível desejado no início do horário de ponta (à direita ou abaixo das setas), levando-se em consideração o consumo atual da população local.



**Figura 3.17 - Representação da tela de controle do sistema distribuidor.**  
**Fonte: Autoria própria.**

As setas mais largas representam as adutoras de transferência, o sentido das setas representa o fluxo da água, que em campo é expresso pelas estações elevatórias. As setas provenientes dos sistemas 01 e 04 representam alternativas hidráulicas de abastecimento em que alguns reservatórios podem receber água de mais um sistema produtor. As setas mais estreitas são as vazões de distribuição de água à população.

## 4 CONCLUSÃO

Uma vez determinadas as curvas de consumo diário, apresentadas na figura 3.12, é possível visualizar que todos os reservatórios seguem o mesmo comportamento básico, em que os horários de maior consumo são próximos ao meio-dia, a média está próxima do início da noite e os pontos de menor consumo ocorrem durante a madrugada. Porém, as curvas não são necessariamente iguais, pois expressam suas diferenças através das características de consumo da população de cada localidade, tais como a faixa de renda das pessoas, o tamanho das residências, a presença de indústrias na região, a distância em relação ao centro das cidades que força as pessoas a iniciar a jornada mais cedo, e pela própria característica construtiva dos reservatórios.

Outros fatores relevantes que interferem no comportamento do consumo são as condições climáticas do dia, os feriados, finais de semana e época de férias escolares. Porém, nestes casos não há distinção entre os reservatórios, pois todos são afetados da mesma maneira.

Estes fatos confirmam as informações de comportamento de consumo diário nos reservatórios descritos por Tsutiya (2004) e apresentado na figura 3.1 do capítulo 3.

Com as curvas de consumo definidas têm-se o valor do nível desejado para que cada reservatório possa manter um volume seguro durante o horário de ponta, linha 9 da planilha de dados (figura 3.14). O sistema distribuidor é controlado avaliando-se o consumo local e o horário restante até o início do horário de ponta. Isto resulta na vazão ideal de transferência entre os reservatórios, apresentada na tela de controle da planilha da figura 3.17.

Na prática, a coleta dos dados e a tela de controle desenvolvidos na planilha eletrônica se mostraram eficientes e práticos. As informações centralizadas em uma única tela, os valores de vazão de transferência ideais definidos e atualizados instantaneamente fornecem uma segurança para a tomada de decisão no Centro de Controle Operacional – CCO.



O desenvolvimento desta ferramenta de apoio à operação do sistema distribuidor 07 não gera maior carga de trabalho aos operadores ou gestores dos processos. Pelo contrário, as consultas estão prontas e os cálculos desenvolvidos nas planilhas eletrônicas. Assim, para se determinar a curva de consumo diário de todos os reservatórios do sistema distribuidor deve-se apenas alterar o valor da célula B2, da planilha apresentada na figura 3.9, para a data desejada, pois os dados são atualizados automaticamente.

A determinação do valor de nível desejado para o início do horário de ponta demanda experiência do gestor e análise dos dados gerados pela curvas de consumo. Portanto, o trabalho necessário é técnico e não de digitação ou compilação de dados, evitando a perda de tempo em atividades que não agregam valor processo.

O desligamento ou a redução do número de conjuntos motobombas operantes durante o horário de ponta resulta em economia nas faturas de energia das unidades operacionais. A transferência entre os reservatórios pode parar durante este período, mas a distribuição de água tratada permanece durante todo o dia. Em muitos casos o abastecimento se dá por gravidade e não consome energia elétrica, por outro lado, para se abastecer regiões em cotas mais altas que os reservatórios as elevatórias de distribuição deverão permanecer ligadas. Um fator atenuante é que as potências dos equipamentos envolvidos na distribuição são inferiores aos de transferência, consumindo menos energia elétrica.

No sistema supervisor existente há uma lógica de controle do nível dos reservatórios que liga ou desliga as motobombas das elevatórias. Porém, com esta planilha é possível direcionar a gestão de todo o sistema distribuidor em uma única tela e com uma referência de vazão ideal para cada elevatória. Cada elevatória dispõe de motobombas distintas, com características de potência elétrica, pressão manométrica e vazões específicas. Os detalhes de vazão de cada conjunto motobomba, quantos equipamentos operam simultaneamente e qual a demanda de energia contratada para cada unidade operacional são de conhecimento dos operadores por meio do sistema supervisor, através das telas de operação específicas de cada localidade.

Um fator restritivo para esta solução é o fato de que o suplemento Excel *Add-in* deve estar instalado no computador para a planilha eletrônica conseguir coletar os dados do historiador. Caso contrário, não é possível acessar as informações do banco de dados, mesmo com as planilhas eletrônicas contendo as linhas de comandos desenvolvidas com a aplicação.

Para trabalhos futuros, uma melhoria a ser realizada para o completo desenvolvimento desta ferramenta pode ser a utilização do *software* Portal (*Proficy Portal*) para a disponibilização de todas estas informações via *web*. Desta maneira, a partir de um navegador *web* qualquer, o gestor do processo tem acesso aos dados operacionais fundamentais do sistema distribuidor em uma tela única, com valores de referência para operação das unidades e com a possibilidade de estudar o padrão de consumo diário em cada localidade, utilizando-os, inclusive remotamente, para realização de reuniões ou como base para o planejamento anual.

A implementação da ferramenta desenvolvida neste trabalho pode levantar à necessidade de se estudar os pontos de melhor rendimento elétrico e hidráulico das elevatórias, principalmente naquelas em que os dispositivos de partida dos motores são os inversores de frequência. Pois, principalmente em elevatórias que operam com duas ou mais motobombas simultaneamente, pode-se determinar em que faixa de frequência há uma condição ótima entre o consumo de energia e a vazão de transferência da elevatória para se alcançar o nível desejado no início do horário de ponta.

Conclui-se que o trabalho desenvolvido foi válido, pois possibilitou uma nova visão do sistema distribuidor em relação aos gastos com a energia elétrica no horário de ponta, sem que houvesse a necessidade de investimentos diretos para viabilizar uma redução nas faturas de energia. O conhecimento mais aprofundado do sistema distribuidor e o contato direto com a instrumentação de campo fundamentam a tomada de decisão e justificam investimentos e melhorias que se façam necessárias.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Informações técnicas:** horário de verão. Disponível em <<http://www.aneel.gov.br/65.htm>>. Acesso em: 23 mar 2012.

AZEVEDO NETTO, José M. de. **Manual de hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

BEGA, Egídio A. **Instrumentação Industrial**. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência: IBP, 2006.

BLACK, Perry O. **Bombas**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ao Livro Técnico, 1979.

BRASIL. **Constituição** (1988). Vade Mecum. 9. ed. São Paulo: Saraiva, 2010.

BRASIL. **Guia de eficiência energética nas micro, pequenas e médias empresas**. Brasília, DF: Governo Federal, 2011. 32 p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARANÁ – SANEPAR. **Sanepar Educando**. Disponível em: <<http://educando.sanepar.com.br>>. Acesso em 26 jul 2012.

COMPANHIA PARANAENSE DE ENERGIA – COPEL. **Industrial – visão geral:** taxas e tarifas. Disponível em <<http://www.copel.com/hpcopel/root/nivel2.jsp?endereco=%2Fhpcopel%2FIndustrial%2Fpagcopel2.nsf%2Fdocs%2F23BF37E67261209C03257488005939EB>>. Acesso em: 25 mar 2012.

CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 15 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. **Consumo nacional de energia elétrica por classe – 1995-2011**. Disponível em <<http://www.epe.gov.br/mercado/Paginas/Consumonacionaldeenergiael%C3%A9tricaporclasse%E2%80%931995-2009.aspx>>. Acesso em: 25 mar 2012.

FIALHO, Arivelto B. **Instrumentação Industrial: Conceitos, Aplicações e Análises**. 7 ed. São Paulo: Érica, 2010.

FRANKLIN ELECTRIC Indústria de Motobombas S.A. **Catálogo Geral: Motobombas, Motores e Bombeadores Submersos**. Joinville: Franklin Electric, 2012. 61 p. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/produtos.php?id=86&ctg=7>>. Acesso em 01 jul 2012.

GARCIA, Leonardo de M.; THOMÉ, Romeu. **Direito ambiental**. 2. ed. Salvador: Juspodivm, 2010.

GE Intelligent Platforms. **Datasheet: Proficy Historian 5.0**. Disponível em: <<http://www.ge-ip.com/account/download/12501/2420>>. Acesso em 09 set 2012.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GOMES, Heber Pimentel. **Eficiência hidráulica e energética em saneamento: análise econômica de projetos**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora da ABES Nacional, 2005.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de abastecimento de água: dimensionamento econômico e operação de redes e elevatórias**. 2. ed. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2004.

\_\_\_\_\_. **Sistemas de Bombeamento: Eficiência Energética**. 1 ed. João Pessoa: Universitária/UFPB, 2009.

JACUZZI do Brasil. **Noções de Hidráulica**. Itu: Jacuzzi, 2006. 14 p. Disponível em: <<http://www.jacuzzi.com.br/downloads.php>>. Acesso em 24 abr 2012.

KOSOW, Irwing L. **Máquinas elétricas e transformadores**. 15 ed. São Paulo: Globo, 2005.

KSB Bombas Hidráulicas S. A. **Manual de Serviço: N° A1385.8P/1 KSB RDL**. Várzea Paulista: KSB, 2007. 24 p. Disponível em: <<http://www.ksb.com.br/frame.htm>>. Acesso em 01 jul 2012.

\_\_\_\_\_. **Manual de Serviço:** Nº A2742.8P/8 KSB Meganorm. Várzea Paulista: KSB, 2009. 16 p. Disponível em:  
<<http://www.ksb.com.br/frame.htm>>. Acesso em 01 jul 2012.

MATTOS, Edson E. de; FALCO, Reinaldo de. **Bombas industriais.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998.

MICHAELIS. **Moderno Dicionário da Língua Portuguesa.** Disponível em:  
<<http://michaelis.uol.com.br/moderno/portugues/index.php>>. Acesso em 21 abr 2012.

MONACHESI, Marcelo G. **Eficiência energética em sistemas de bombeamento.** 1. ed. Rio de Janeiro: Eletrobrás, 2005.

OGATA, Katsuhiko. **Engenharia de Controle Moderno.** 5 ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÓMICO – OECD. **Manual de Frascati - Proposta de práticas exemplares para inquéritos sobre investigação e desenvolvimento experimental.** 2002. Disponível em:  
<<http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/4639.html>>. Acesso em: 10 mai 2012.

SIEMENS. **Documentação técnica:** Process Instrumentation. Disponível em:  
<<http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&lang=en&siteid=cseus&aktprim=0&extranet=standard&viewreg=WW&objid=10806926&treeLang=en>>. Acesso em 20 jun 2012.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2009.** Disponível em  
<[http://www.snis.gov.br/arquivos\\_snis/5\\_DIAGNOSTICOS/5.1\\_Agua&Esgotos/5.1.15\\_Diagnostico2009/Tabela/Diagnostico\\_AE2009.zip](http://www.snis.gov.br/arquivos_snis/5_DIAGNOSTICOS/5.1_Agua&Esgotos/5.1.15_Diagnostico2009/Tabela/Diagnostico_AE2009.zip)>. Acesso em: 25 mar 2012.

SULZER Ltd. **Bombas e sistemas – Bombas bipartidas axialmente:** Bombas centrífugas de simples estágio divididas axialmente e com dupla hélice Z22. Disponível em:  
<<http://www.sulzer.com/pt/Products-and-Services/Pumps-and-Systems/Axially-Split-Pumps/Z22-Double-Suction-Axially-Split-Single-Stage-Centrifugal-Pumps>>. Acesso em 01 jul 2012.

\_\_\_\_\_. **Enfrentando os desafios futuros da coleta de efluentes.** Disponível em: <[http://www.sulzer.com/pt/-/media/Documents/ProductsAndServices/Pumps\\_and\\_Systems/General/Brochures/MeetinFutureChallengesWithinWastewaterCollection\\_en\\_6\\_2012\\_WEB.pdf?>](http://www.sulzer.com/pt/-/media/Documents/ProductsAndServices/Pumps_and_Systems/General/Brochures/MeetinFutureChallengesWithinWastewaterCollection_en_6_2012_WEB.pdf?>)>. Acesso em 01 jul 2012.

THOMAZINI, Daniel; ALBUQUERQUE, Pedro U. B. de. **Sensores industriais: Fundamentos e aplicações.** 8 ed. São Paulo: Érica, 2011.

TSUTIYA, Milton T. **Abastecimento de água.** 1. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

WEG Equipamentos Elétricos S/A – Motores. **Motores Elétricos:** Linhas de Produtos, Características, Especificações, Instalações, Manutenções. Jaraguá do Sul: WEG, 2005. 145 p.

\_\_\_\_\_. **W22 - Motor trifásico explodido.** Disponível em: <<http://www.weg.net/files/products/WEG-w22-motor-trifasico-explodido-50009253-guia-rapido-portugues-br.pdf?>>>. Acesso em 19 jun 2012.