



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Dissertação de mestrado submetida à Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do Grau de Mestre em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Mestrando: Cícero Henrique Grangeiro Soares

Orientadores: Benedito Antonio Luciano e Raimundo Carlos Silvério Freire

Campina Grande, Outubro de 2011

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

S676e Soares, Cícero Henrique Grangeiro.
Eficientização energética em sistemas de abastecimento de água /
Cícero Henrique Grangeiro Soares. - Campina Grande, 2011.
69f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade
Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática.
Orientadores: Prof. Benedito Antonio Luciano e Prof. Raimundo Carlos
Silvério Freire.
Referências.

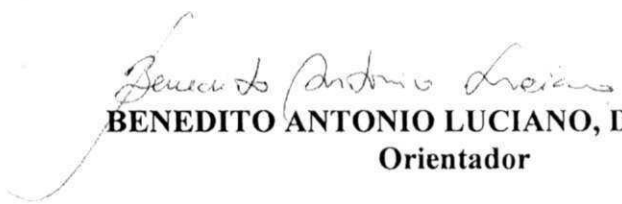
1. Sistema de Abastecimento de Água. 2. Perda de Água. 3. Eficiência
Energética. 4. Macromedidor Eletromagnético. I. Título.

CDU 628.1 (043)


**EFICIENTIZAÇÃO ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO
DE ÁGUA**


CÍCERO HENRIQUE GRANGEIRO SOARES

Dissertação Aprovada em 31.10.2011


BENEDITO ANTONIO LUCIANO, D.Sc., UFCG
Orientador


RAIMUNDO CARLOS SILVÉRIO FREIRE, Dr., UFCG
Orientador


WELLINGTON SANTOS MOTA, Ph.D., UFCG
Componente da Banca


EMMANUEL BENOÎT JEAN-BAPTISTE DUPOUY, Dr.
Componente da Banca

CAMPINA GRANDE - PB
OUTUBRO -2011

Agradecimentos

Agradeço primeiramente aos meus pais, Marcondes e Neuma, pela boa estrutura familiar e responsabilidade com a educação dos filhos. Estes foram a base para que eu pudesse adquirir conquistas cada vez maiores. Amo muito vocês.

Aos meus irmãos, Marcondes e Natália, pelo apoio e confiança que sempre tiveram em mim.

A Danielle, minha namorada, pela enorme paciência e companheirismo durante o desenvolvimento do trabalho.

Aos meus primos, David, Nívia, Olga, Pedro, Victor, e todos os outros, que me trazem conforto e alegria sempre que estamos reunidos.

Aos professores Benedito Luciano, Edson Guedes e Raimundo Freire, pela atenção, amizade, paciência e orientações acadêmicas durante toda minha formação universitária, sendo fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho de mestrado.

Aos meus amigos Elyson, Eraldo, Thiago, Warner e tantos outros que sempre estiveram presentes no meu crescimento profissional e acadêmico.

À COMPESA, sendo simbolizada pelos bons colegas de trabalho que me auxiliaram no andamento das ações, fornecendo informações que possibilitaram o andamento de todo o projeto.

Ao CNPq pelo apoio financeiro, mesmo que parcial.

Por fim, a todos que possam vir a contribuir com este trabalho de dissertação.

Dedicatória

Dedico esta dissertação aos meus pais: Marcondes Soares de Lima, pela superação e vontade de viver, nunca antes presenciada por mim; Maria Neuma Grangeiro Soares, por me ajudar com força e imenso afeto. Vocês realmente fazem com que me orgulhe de ser parte de sua família.

Resumo

Nesta dissertação de mestrado é proposta uma metodologia de análise das perdas de energia baseada nas perdas de água em Sistemas de Abastecimento de Água. No estudo é mostrada a necessidade do consumo de energia elétrica para o fornecimento de água potável nas áreas urbanas. Para isso, foram realizadas pesquisas bibliográficas, que serviram como base para o desenvolvimento metodológico, ações de manutenção nos macromedidores eletromagnéticos e retirada de tubulações ilegais. Estas ações minimizaram as perdas aparentes de água e aumentaram a eficiência do sistema. Também foram analisados dados de vazão e volumes na cidade de Caruaru. A partir desses dados (fornecidos pela Companhia Pernambucana de Saneamento - COMPESA), realizou-se o balanço hídrico, indicando o desperdício de água (perda física) e a equivalente perda de energia elétrica. E, com o conhecimento dessa perda, este estudo mostra, em valores reais, que é possível diminuir o consumo de energia elétrica.

Palavras-chave: Sistema de Abastecimento de Água; Perda de Água; Eficiência Energética; Macromedidor Eletromagnético.

Abstract

In this work is proposed an analysis methodology applied to the evaluation of the electrical energy losses in water supply systems. In the study is shown the necessity of the electric energy consumption in the potable water supply in the urban areas. For this, a bibliographical research was performed, and collected information's was used in the methodology development, magnetic flowmeter maintenance plans and illegal water piping withdrawal. These actions had minimized the apparent water losses and had increased the system efficiency. Also, it was analyzed the outflow and water volume data in a brazilian city called Caruaru – PE, and based on the data supplied by the State of Pernambuco Water and Sanitation Company (COMPESA), was performed the hydric balance, indicating the water wastefulness (physical loss) and the equivalent electric energy loss. And, in this work are demonstrated with real information that the reduction of the water losses, makes possible the reduction of the electric energy consumption.

Keywords: Water system supply, water wastefulness, energy efficiency, Magnetic flowmeter.

Índice [ERRO! INDICADOR NÃO DEFINIDO.](#)

Lista de Figuras

<i>Figura 1- Mapa da desigualdade no acesso á água potável</i>	2
<i>Figura 2- Relação entre água e energia</i>	3
<i>Figura 3-Diagrama de captação superficial</i>	7
<i>Figura 4-Diagrama de captação subterrânea</i>	8
<i>Figura 5-Corte lateral de estação elevatória</i>	10
<i>Figura 6-Diagrama esquemático de uma ETA</i>	13
<i>Figura 7-Diagrama Representativo de Sistema de Energia Elétrica</i>	16
<i>Figura 8-Diagrama de Equivalência (SAAxSEE)</i>	20
<i>Figura 9-Diagrama de Ishikawa para perdas no SAA</i>	21
<i>Figura 10-Diagrama de Ishikawa para perdas no SEE</i>	22
<i>Figura 11-Indicação da frequência dos vazamentos em redes, ramais prediais e cavaletes</i>	25
<i>Figura 12-Deteccção de Vazamentos com Equipamentos Ultra-Som</i>	26
<i>Figura 13-Fotografia de residencia apresentando rachaduras</i>	27
<i>Figura 14- Fotografia indicando infiltração em residência.</i>	27
<i>Figura 15-Diagrama com as principais soluções para redução de perdas aparentes</i>	28
<i>Figura 16-Curva de Erros nos Hidrômetros</i>	33
<i>Figura 17-Imagem do macromedidor eletomagnético tipo tubo.</i>	39
<i>Figura 18-Curva indicativa de perfil de velocidades</i>	40
<i>Figura 19- Representação do funcionamento do macromedidor de inserção eletromagnético</i>	40
<i>Figura 20-Imagem do transdutor do macromedidor de inserção com</i>	43
<i>Figura 21-Imagem do transdutor do macromedidor de inserção com</i>	43
<i>Figura 22-Diagrama Representativo Fluxo de Água</i>	46
<i>Figura 23-Gráfico Representativo das Vazões em Unidades Durante Período de Manutenção</i>	46
<i>Figura 24-Furto de Água no Povoado do Manduri</i>	47
<i>Figura 25-Furto de Água no Povoado Mocotó</i>	47
<i>Figura 26-Esquema Representativo do Fluxo de Água com Indicação dos Furtos</i>	49
<i>Figura 27-Perdas Típicos em Redes de Distribuição</i>	52
<i>Figura 28- Volumes produzidos e faturados no município de Caruaru</i>	54

<i>Figura 29-Consumo energético da cidade de Caruaru no período de um ano.</i>	56
<i>Figura 30-Diagrama do Balanço Hídrico de um SAA</i>	57
<i>Figura 31-Representação esquemática de elevatória de água</i>	67
<i>Figura 32-Curvas para dimensionamento de bombas</i>	69

Índice de Tabelas

<i>Tabela 1- Informações adquiridas no SAA</i>	15
<i>Tabela 2- Descrições comparativas (SAAxSEE)</i>	20
<i>Tabela 3-Composto das Perdas Físicas por Sistema</i>	25
<i>Tabela 4- Informações de Perdas Aparentes</i>	28
<i>Tabela 5- Benefícios das práticas de eficiência no mundo</i>	35
<i>Tabela 6-Materiais Utilizados na Manutenção</i>	36

Índice de Quadros

<i>Quadro 1- Características das Estações Elevatórias</i>	<i>11</i>
<i>Quadro 2- Características das Adutoras</i>	<i>12</i>
<i>Quadro 3- Tipos de Subestações</i>	<i>18</i>
<i>Quadro 4- Quadro Contendo Itens do Balanço de Água</i>	<i>23</i>
<i>Quadro 5- Características do Macromedidor Tipo Tubo</i>	<i>39</i>
<i>Quadro 6- Características do macromedidor de inserção.</i>	<i>41</i>
<i>Quadro 7- Resultados aferidos dos macromedidores</i>	<i>42</i>
<i>Quadro 8- Intervalo de tempo para quantificação dos furtos</i>	<i>48</i>
<i>Quadro 9- Rendimentos dos Motores e Bombas Avaliados</i>	<i>50</i>
<i>Quadro 10- Resumo de Consumos e Perdas (Análise das Fraudes)</i>	<i>51</i>
<i>Quadro 11- Classes de hidrômetros e correspondentes valores de vazões mínimas e de trabalho</i>	<i>53</i>
<i>Quadro 12- Informações de Abastecimento de Caruaru</i>	<i>54</i>
<i>Quadro 13- Balanço hídrico da cidade de Caruaru de Agosto 2010 a Julho 2011</i>	<i>58</i>

Lista de Siglas

AGESPISA/PI – Águas e Esgotos do Piauí

ANA – Agência Nacional das Águas

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BNH – Banco Nacional de Habitação

CCO – Centro de Controle Operacional

CAEMA/MA – Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão

CAESB – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal

CAER/RR – Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Roraima

CAERN/RN – Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte

CAERD/RO – Companhia de Águas e Esgotos do Estado de Rondônia

CAESA/AP – Companhia de Água e Esgoto do Amapá

CMB – Conjunto Motor-Bomba

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COSAMA/AM – Companhia de Saneamento do Amazonas

CASAL – Companhia de Saneamento de Alagoas

COMPESA/PE – Companhia Pernambucana de Saneamento

DEAS/AC – Departamento Estadual de Água e Saneamento

DGADR – Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (governo português)

EE – Estação Elevatória

EPE – Empresa de Pesquisas Energéticas

ETA – Estação de Tratamento de Água

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

INMETRO – Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial

MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior

MI – Macromedidor de Inserção

PVC – Policloreto de Vinila

PLANASA – Plano Nacional de Saneamento

PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica

OSE – Operador do Sistema Elétrico

RAP – Reservatório Apoiado

RECESA - Rede Nacional de Capacitação e Extensão Tecnológica em Saneamento Ambiental

REL – Reservatório Elevado

SAA – Sistema de Abastecimento de Água

SEE – Sistema de Energia Elétrica

SENEPAR – Companhia de Saneamento do Paraná

SER's – Subestações Rebaixadoras

SNSA – Sistema Nacional de Saneamento Ambiental

UFMS – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul

UNESCO – *United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization* (União das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura)

1 Introdução

De acordo com (DUTRA, 2005), devido à crise do petróleo em meados da década de 1970, surgiu a preocupação com o fornecimento de energia elétrica no mundo e, conforme visto em (CAMPOS, 2004), ocorreu um aumento drástico do custo da energia. Diante disto, estabeleceu-se a necessidade de utilização dos conceitos de eficiência energética, os quais começam a serem difundidos no setor elétrico, na geração, transmissão, distribuição da energia elétrica e para os consumidores finais.

Hoje há uma dificuldade em se conseguir energia, como também obter água de boa qualidade e em condições de uso. Sendo fatores fundamentais e indispensáveis para o desenvolvimento econômico e sustentável¹, vários países já sofrem com a escassez de água e energia. Exemplo desta situação é o Kuwait, que possui disponível 10 m³ de água por pessoa (BRASIL ESCOLA, 2011), e o Japão, que faz o uso de usinas nucleares para obtenção de energia elétrica.

Conforme apresentado em (MOURA, 2010), os recursos energéticos podem ser renováveis ou não. Sendo as reservas destes últimos cada vez menores. Como, por exemplo, o petróleo, base da matriz energética mundial.

A água por sua vez, embora seja um recurso renovável, não consegue acompanhar o ritmo acelerado do consumo mundial. Na figura 1 é apresentado o mapa de desigualdade no acesso a água potável no mundo.

¹ O conceito de sustentabilidade ainda é bastante confuso. A definição mais comumente aceita para o desenvolvimento sustentável é a criada em 1987, na Comissão Brundtland, que determina que o desenvolvimento sustentável é aquele que “satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das futuras gerações satisfazerem suas necessidades”.



Figura 1- Mapa da desigualdade no acesso á água potável (fonte: (IBGE, 2003)).

No Brasil, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei 9433/97, estabelece entre seus objetivos “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos”. Esta lei institui a participação de todos (Poder Público, usuários e comunidade em geral) na preservação dos recursos hídricos, que já são escassos em várias regiões do país, principalmente nas regiões do semi-árido nordestino, conforme cita (LIMA & MARIOTONI, 2002).

Segundo o documento (US DEPARTMENT OF ENERGY, 2006), há uma grande necessidade de água na produção e utilização de energia. Além do que, ela também está presente em vários estágios do ciclo da geração de energia, sendo utilizada desde a extração de combustível (petróleo, gás, urânio, carvão natural, gás liquefeito, entre outros) até a sua geração propriamente dita (gás, carvão, nuclear, petróleo, usinas de biomassa e hidroelétricas).

Geralmente, a energia elétrica também está presente em todas as etapas do processo de fornecimento (captação, transporte e tratamento para conglomerados urbanos, agrícolas e industriais) de água potável. Através dessa observação, chega-se à conclusão que, na maioria das vezes, a água e a energia possuem uma relação de interdependência.

A figura 2 foi utilizada pela UNESCO, em 2009, visando esboçar a relação água e energia (MOURA, 2010).

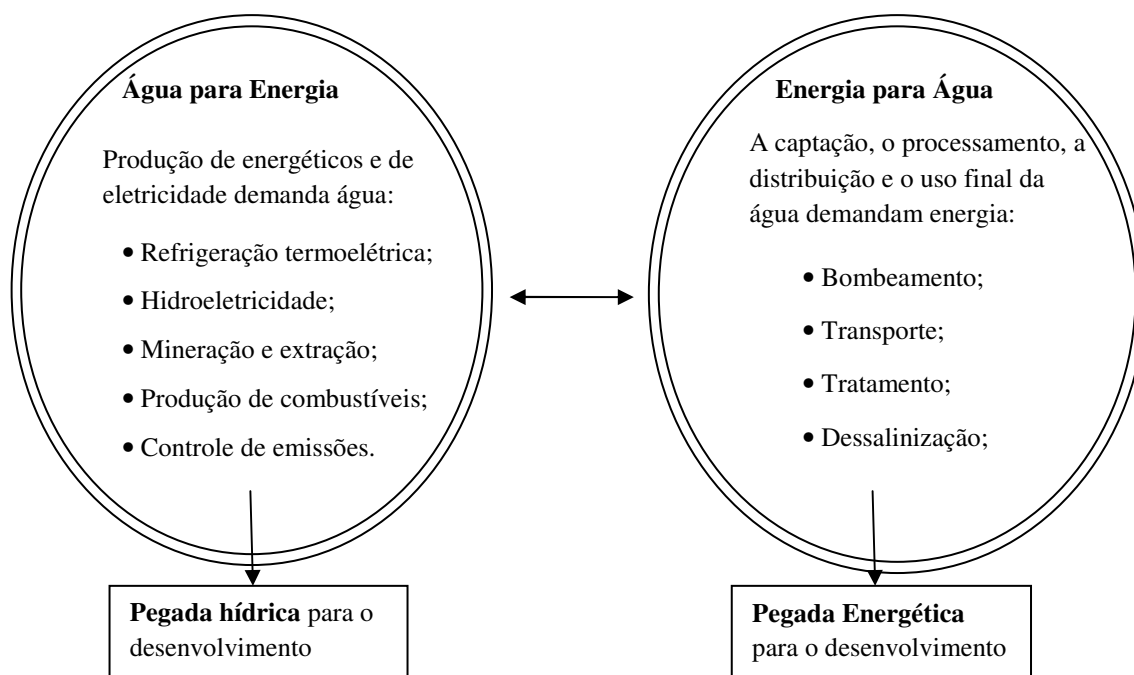


Figura 2- Relação entre água e energia (UNESCO, 2009)

Em 2002, Hoekstra e Hung apresentaram o conceito de pegada hídrica (“*water footprint*”). Segundo (MOURA, 2010), esse conceito se tornou uma importante ferramenta de cálculo para a verificação das necessidades de recursos hídricos em várias áreas de produção, sendo utilizado em diversos trabalhos na área de planejamento da gestão de recursos hídricos.

Fazendo uso do mesmo princípio, a UNESCO percebeu que o consumo de energia para produção poderia ser estendido de maneira análoga, conforme figura 2. Na indústria de abastecimento é sempre observado um elevado consumo de energia no bombeamento e tratamento de água, que a nível mundial, conforme (FIRMINO & ALBUQUERQUE, *et al.*, 2006), fica em torno de dois a três por cento da energia consumida, que se não fosse desperdiçada daria para abastecer países como Austrália Brasil, Canadá e Japão (EARTHTRENDS, 2011).

No Brasil, este elevado consumo é reflexo de longos períodos de falha ou falta de investimentos no setor. Citando (TUROLLA, 1999): “*foi notória a disparidade dos investimentos realizados, tanto em termos de sua concentração em alguns estados quanto na prevalência do abastecimento de água sobre o esgoto durante o PLANASA*”. (FISZON & MACHADO, 1992) apontam que, no período de 1968 a 1984, os estados de São Paulo, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Rio de Janeiro receberam cerca de 80% dos investimentos destinados ao setor. Somente São Paulo recebeu 63% deste total.

Segundo (TUROLLA, 1999), é apontado que a lógica do PLANASA era voltada para a construção e ampliação dos sistemas de abastecimentos de água, ficando os setores de operação e manutenção em segundo plano. Exemplo disso é indicado por (REZENDE, 1996) sobre a Companhia Pernambucana de Saneamento, que devido aspectos fortes de capitalização, houve um grande crescimento na construção de sistemas. Neste sentido, a Compesa se tornou “*para seus dirigentes, uma empresa de construção, denominada por uma elite técnica de engenharia civil*”. Não havendo financiamento pelo BNH para os setores de manutenção e operação, ocorreu a degradação destes novos sistemas, fazendo com que aumentasse significativamente o seu índice de perdas.

(OHIRA & TUROLLA, 2007) e (OLIVEIRA, 2004) informam que ocorreu no Brasil uma mitigação dos investimentos em meados da década de 1970 até a metade da década de 1990, agravando ainda mais a situação do setor.

Por ter perdas expressivas de água e possuir uma enorme deficiência na medição de produção e consumo, as companhias do setor realizavam medidas que levavam, muitas vezes, ao superdimensionamento de equipamentos (bombas, motores e tubulações), o que causava a diminuição da eficiência dos sistemas e o aumento das pressões nas tubulações. Sendo este último, o principal fator para o aumento dos estouramentos de tubulações já degradadas, que elevava ainda mais as perdas de água.

Estas deficiências fazem com que as perdas de faturamento para todo o conjunto de serviços prestados estejam próximas de 40%. Em 2008, foi registrada a menor média deste índice (37,4%) desde o início da pesquisa em 1995 (MINISTÉRIO DAS CIDADES/SNSA, 2010).

Em muitas companhias de saneamento e abastecimento de água no Brasil, o insumo energia elétrica é o segundo maior item de custo dos SAA (UFMS, 2011), o que torna indispensável à necessidade de minimizar os gastos, otimizando o seu uso.

Conforme visto em (MOURA, 2010) e utilizando dados da (ANEEL, 2009), o consumo de energia das 23 companhias regionais de abastecimento de água foi de aproximadamente 7 TWh em 2007, com perdas de energia elétrica estimadas em 43,07%, ou seja, 3,015 TWh, equivalente a aproximadamente 80% do consumo no setor industrial de cimento no ano de 2004, que segundo a Empresa de Pesquisas Energéticas (EPE, 2005) foi de 3,8 TWh.

Neste contexto está inserido o presente trabalho, com foco na proposição de medidas de efficientização em unidades do Sistema de Abastecimento de Água. Medidas essas que resultam no uso racional de energia e água. Dessa forma evitam-se desperdícios, aumenta a receita e o faturamento das empresas envolvidas com o abastecimento de água.

Neste projeto, são previstas ações em campo que possibilitem uma coleta segura de informação. Para isso, deve-se realizar a manutenção e calibração de macromedidores, como também, verificar fraudes existentes na rede de adução. Dessa forma, consegue-se evitar prejuízos, minimizar o consumo de energia e aumentar a eficiência dos CMB's.

Também, deve-se analisar os dados de micromedição para verificar as possibilidades de efficientização na rede de distribuição (consumidor final), eliminando ou minimizando as perdas físicas (causadas por rompimentos e/ou vazamentos de redes ou ramais) ou não-físicas (fraudes, falhas de medição) presentes na rede de distribuição.

2 Objetivos

Os principais objetivos desta dissertação são os seguintes:

1. Realizar pesquisa bibliográfica sobre eficiência energética de modo sistêmico;
2. Apresentar comparativo entre sistemas de abastecimento de água e sistemas de energia elétrica, além de esboçar suas semelhanças e diferenças;
3. Verificar a situação de alguns sistemas de abastecimento de água e corrigir falhas de medição, visando a confiabilidade dos dados utilizados;
4. Indicar práticas de gerenciamento das perdas de energia elétrica em sistemas de abastecimento com vistas na eficiência energética;
5. Exibir como a perda de água pode provocar aumento no consumo de energia elétrica e perda no faturamento de empresas de abastecimento de água: Estudo de Casos.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Descrição dos Sistemas de Abastecimento de Água e Sistema de Energia Elétrica

O sistema de saneamento assemelha-se muito a um sistema elétrico. Da mesma forma que o último pode ser dividido em geração, transmissão e distribuição de energia, o setor de saneamento possui a produção de água, transporte para os reservatórios e distribuição para os consumidores (AZEVEDO, 2010).

3.1.1 Sistema de Abastecimento de Água (SAA)

Caracteriza-se como sistema de abastecimento de água o conjunto de unidades que compõem as seguintes etapas (AZEVEDO, 2010):

- Captação;
- Adução;
- Reservação;
- Tratamento;
- Distribuição.

Os sistemas de captação são diferenciados pela forma na qual é retirada a água, que tanto pode ser através da construção de barragens ou perfuração de poços, como ilustrado nas figuras 3 e 4.

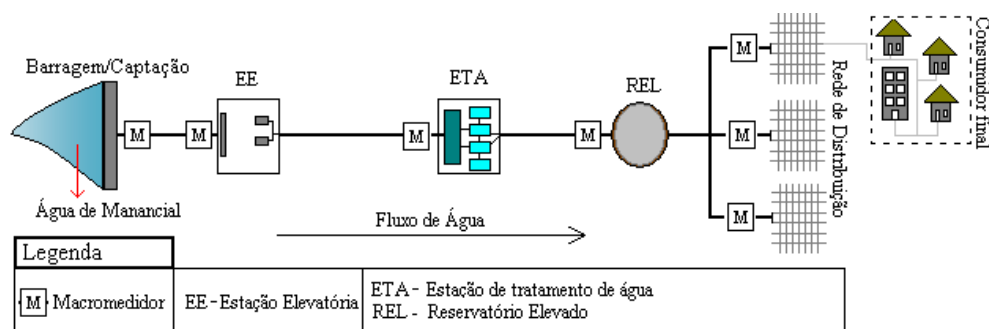


Figura 3-Diagrama de captação superficial

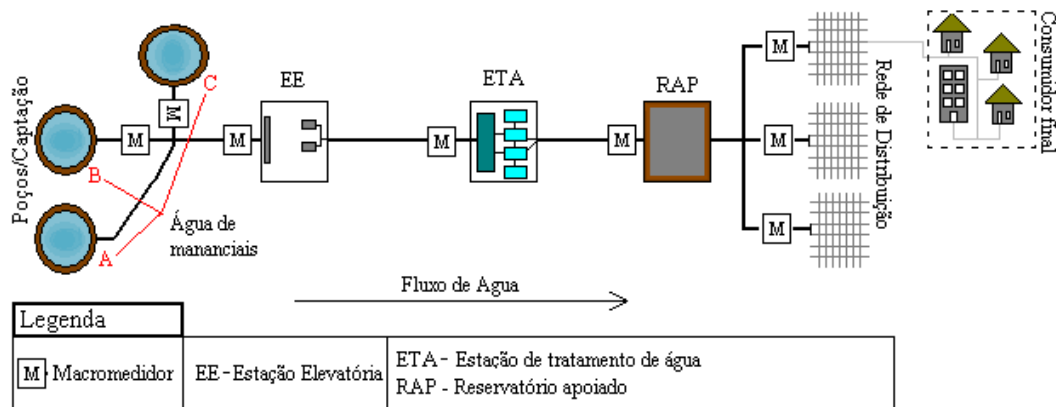


Figura 4-Diagrama de captação subterrânea

Conforme visto nas figuras 3 e 4, as unidades do sistema de abastecimento de água vão desde a captação nos mananciais, passando pela estação elevatória e estação de tratamento, até a entrega na unidade consumidora. Assim, é de fundamental importância conhecer o funcionamento de cada parte do sistema.

3.1.1.1 Manancial

Os mananciais de abastecimento que, segundo (TUCCI, 1997), “*são as fontes disponíveis de água, nas quais a população pode ser abastecida em suas necessidades*”. Expandindo-se este conceito, o manancial é o local onde se retira a água, podendo ser superficial (rios ou lagos) ou subterrânea (poços). Sua escolha é feita levando-se em consideração a qualidade da água, o relevo e a distância para unidades consumidoras.

Nestes são realizadas inúmeras ações de degradação (poluição e a retirada de vegetação) devido o aumento do crescimento populacional. Tanto o aumento de consumo quanto a contaminação causada por esgotos domésticos e industriais, ocorridos, principalmente, em áreas urbanas, afetam significativamente os mananciais.

Um levantamento realizado no ano de 1997 sobre a visão das companhias de saneamento em relação à conservação de mananciais, visto em (LARA & ANDREOLI, *et al.*, 1999), identificou que embora todos os entrevistados (23 de um universo de 27 empresas) considerem a questão importante e necessária, apenas 11 companhias possuem algum tipo de programa para a conservação de mananciais, que incluem desde projetos de limpeza até planos de ação integrados entre órgãos. As demais empresas relataram não possuir programas específicos. Sendo que destas, apenas uma estava iniciando um diagnóstico ambiental e elaborando um plano de conservação de mananciais. Esta informação retrata a forma como os recursos hídricos estão sendo tratados, apesar da existência da Política Nacional de Recursos

Hídricos. Neste sentido, vale ressaltar que são poucos os estados que instituíram sua política estadual sobre o tema e implantaram as medidas previstas.

No Estado do Paraná, segundo (SANTOS, 1998), já existiram algumas iniciativas para recuperar e/ou conservar os mananciais, mas, por dificuldades de articulação entre instituições ou de recursos financeiros, não foram concretizadas.

Atualmente entre as empresas de saneamento, pode-se destacar o caso da SENEPAR, que possui um Programa de Conservação de Mananciais que tem por objetivo implantar ações estruturais e não-estruturais com o objetivo de melhorar a qualidade das águas dos mananciais de abastecimento público. Para isso, a empresa conta com suporte financeiro próprio (SANEPAR, 1999).

3.1.1.2 Captação

Captação ou coleta de águas é o conjunto de estruturas e dispositivos construídos e/ou moldados junto a um manancial, para retirar a água utilizada pelo sistema de abastecimento.

Países pertencentes à União Européia realizam proteção de suas áreas de captação e seguem a “Directiva-Quadro da Água²”. Essa norma, segundo a (APRH, 2011), estabelece que as áreas de superfície e subsolo envolvente de uma ou mais captações destinadas ao abastecimento público são limitadas, proibidas, ou regulamentadas de modo progressivo (as restrições diminuem com o aumento da distância à captação).

No Brasil, a falta de investimentos no setor de saneamento no passado, somada à falta de fiscalização desta atividade, acarretou em sérios problemas ambientais. Um exemplo citado por (SANTOS, 2011) foi o bombeamento excessivo de águas subterrâneas para o abastecimento público no bairro de Boa Viagem, em Recife, o qual resultou na infiltração de água do mar no sistema de lençol freático.

Com o surgimento da ANA e de agencias estaduais, espera-se que ocorra uma maior fiscalização desta atividade no Brasil.

² Directiva-Quadro da Água é um documento publicado em outubro de 2000, estabelecendo ações comunitárias do domínio da água na política pública, indicando medidas para serem tomadas no âmbito do uso da água, legislando em relação à qualidade da mesma, obrigando os países a melhorar e reconstruir todas as bacias hidrográficas (JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPÉIAS, 2000).

3.1.1.3 Estações Elevatórias (EE's)

Estações elevatórias são unidades que elevam a energia potencial da água, utilizadas para transportar a água do local de captação até regiões mais distantes ou que apresentam desníveis topográficos. Como o uso destas unidades acarreta um elevado consumo energético, devido à utilização de conjuntos motor-bombas³, é recomendada a escolha de mananciais mais próximos ou com menores desníveis. Acontece que isso nem sempre é possível, pois nem sempre há mananciais próximos aos centros consumidores.

(ALBOQUERQUE, 2007) cita em seu trabalho que dentre as unidades de um sistema de abastecimento de água, as estações elevatórias são as que apresentam maior complexidade com relação às questões de custos, confiabilidade, benefícios hidráulicos e flexibilidade. Na figura 5 é apresentado o desenho de uma estação elevatória. O fluxo de água ocorre do poço de sucção, ganhando velocidade e/ou pressão de forma a conseguir recalque (altura) para o local de origem (poço de sucção de outra elevatória, reservatórios ou uma rede de distribuição). O conjunto motor-bomba para esgotamento⁴ é utilizado para retirar o excesso de água acumulado na unidade. Os motores (sucção/recalque e esgotamento) são ligados e desligados através do quadro de comando.

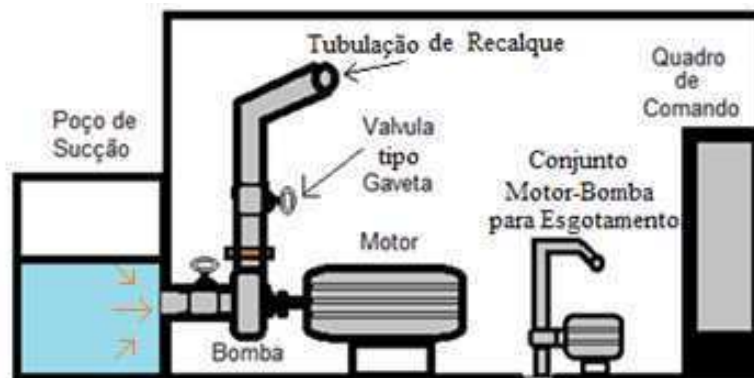


Figura 5-Corte lateral de estação elevatória

No quadro 1 estão contidas informações sobre o modo de utilização destas unidades, considerando suas necessidades específicas de uso.

³ Junção dos equipamentos para

⁴ Ver anexo, Dimensionamento de Bomba Centrífuga.

Quadro 1- Características das Estações Elevatórias

Quanto ao tipo da Água Transportada	Elevatória de Água Tratada	Utilizada no bombeamento de água em condições de uso para população.
	Elevatória de Água Bruta	Utilizada no bombeamento de água sem tratamento algum (bruta).
Quanto à função que desempenham nos sistemas	Elevatória de Recalque	Destina-se a elevação do potencial da água transportada, possibilitando atingir reservatório, canal ou uma cota mais elevada.
	Elevatória de Pressurização	Utilizada para aumentar a pressão na rede. Pode ser utilizada diretamente na rede (também chamada de <i>booster</i>) ou através de um reservatório intermediário.
	Elevatória de Drenagem	Funciona na retirada do excesso de água de uma área através de uma rede de drenagem para um local de destino (lagoa, esgoto ou outro local).
	Elevatória Mista	Quando desempenha duas funções anteriores (pressurização combinada com drenagem)

3.1.1.4 Adução

Adução é o transporte de água através de tubulações. As adutoras são o conjunto das peças que as compõem. Funciona como meio para a água, ligando unidades de chegada e destino, e possibilitando a operação do sistema. O dimensionamento correto pode aumentar a eficiência energética do sistema, através da diminuição das perdas por atrito nas paredes das tubulações, ou a entrada de ar, que dificulta bastante a condução do líquido. No quadro 2 são apresentadas as classificações de adutoras e a descrição de cada uma delas.

Quadro 2- Características das Adutoras

Quanto ao tipo da Água Transportada	Elevatória de Água Tratada	Utilizada no transporte de água em condições de uso para população.
	Elevatória de Água Bruta	Utilizada no transporte de água sem tratamento algum (bruta).
Quanto à função que desempenham nos sistemas	Adutora por Recalque	Destina-se ao transporte de água, possibilitando atingir reservatório, canal ou uma cota mais elevada.
	Adutora por gravidade.	Destina-se ao transporte de água, possibilitando atingir reservatório de distribuição, canal ou rede de distribuição.
	Adutoras mistas	Utilizam os princípios das adutoras por recalque e por gravidade.
Quanto à constituição física (material empregado para fabricação)	Adutora de Aço	Utilizadas em locais onde ocorre tráfego de veículos e em locais cujas diferenças de altura manométrica são significativas.
	Adutoras de Concreto	Utilizadas principalmente para transporte de águas brutas e efluentes.
	Adutoras de cimento amianto	Praticamente não ocorre mais utilização. Existentes em tubulações antigas.
	Adutoras de ferro fundido	Utilizadas em locais onde ocorre tráfego de veículos e em locais cujas diferenças de altura manométrica são significativas.
	Adutoras de plástico (PVC)	Utilizadas em locais onde não ocorre tráfego de veículos e em locais cujas diferenças de altura manométrica não são significativas. Apresenta custo reduzido.

3.1.1.5 Estação de Tratamento de Água (ETA)

O tratamento da água consiste em melhorar suas características organolépticas (características das substâncias que podem ser percebidas pelos sentidos humanos), físicas, químicas e bacteriológicas, tornando-a adequada para o consumo. Dentre as águas disponíveis na natureza, as de superfície são as que mais necessitam de tratamento, pois apresentam qualidades físicas e bacteriológicas impróprias.

Somente as águas de nascentes que, com uma simples proteção das cabeceiras, podem ser consumidas, algumas vezes, sem perigo. Ao longo do tempo, toda água de superfície, seja ela de rio, lagos naturais ou artificiais, tem suas qualidades modificadas, que varia de acordo com a época do ano e o regime de chuva.

Todo método de tratamento para uma água tem sua eficiência limitada. Cada método assegura um percentual de redução da poluição existente. É comum a utilização de dois ou mais métodos para se conseguir uma melhor qualidade da água desejada.

Na figura 6 é apresentado o diagrama do processo de tratamento de água típico, no qual se observa as etapas de clarificação (coagulação e floculação), decantação (sedimentação dos materiais sólidos e a retirada do lodo existente), filtração (retirada das partículas ainda existentes e que possuem menor volume) e desinfecção (eliminação de organismos nocivos a saúde, aplicando-se cloro, cal⁵ e flúor).

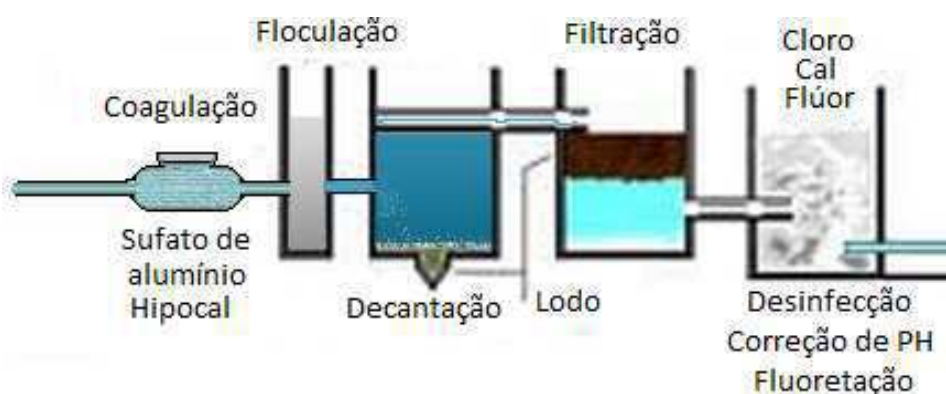


Figura 6-Diagrama esquemático de uma ETA

3.1.1.6 Reservatórios de Água

Os reservatórios são unidades hidráulicas de acumulação e passagem de água situados em pontos estratégicos do sistema, de modo a atenderem as seguintes situações (FILHO, 2004):

- Garantia da quantidade de água (demandas de equilíbrio, de emergência e de anti-incêndio);
- Garantia de adução com vazão e altura manométrica constantes;
- Menores diâmetros no sistema;

⁵ O cal só é utilizado no processo de tratamento da água quando o PH está bastante ácido.

- Melhores condições de pressão.

Estes são divididos em duas classes principais: Reservatório de Acumulação e Reservatório de Distribuição.

Unidades de acumulação são lagos, formados por barragens visando represar as águas e solucionar vários problemas, como:

- Abastecimento de água para cidades ou indústrias;
- Aproveitamento hidroelétrico;
- Irrigação;
- Controle de enchentes;
- Regularização de cursos d'água.

Já os reservatórios de distribuição são estruturas hidráulicas que estabelecem a transição entre a adução e a distribuição, tendo as seguintes finalidades:

- Reserva de equilíbrio (atender às variações de consumo);
- Reserva de emergência (atender ao consumo em situações de emergência);
- Reserva de incêndio;
- Reserva de água para outras contribuições como estações balneárias ou climáticas, para irrigação, etc.
- Melhoria das Condições de Pressão: A localização dos reservatórios de distribuição pode influir nas condições de pressão na rede, possibilitando uma melhor distribuição de água e melhores pressões nos hidrantes, devido à redução das oscilações de pressão na rede.

3.1.1.7 Rede de Distribuição de Água

Rede de distribuição é um conjunto de tubulações, reservatórios, estações elevatórias e acessórias para conexões entre estes elementos. Destinados a transportar água a ser distribuída aos consumidores, de forma contínua e em pontos tão próximos quanto possível de suas necessidades. Sendo as vazões de distribuição formadas pelo consumo destas unidades, somando-se as perdas nas tubulações.

O volume de água transportado e a pressão existente nas tubulações são fatores que determinam o diâmetro das tubulações e o tipo do material na qual são projetadas e instaladas

nestas redes. Porém as redes já existentes, em sua maioria, são formadas por peças já desgastadas pelo tempo de uso. Fazendo com que seja esta a etapa do SAA que necessita dos maiores investimentos no setor de abastecimento de água (MINISTÉRIO DAS CIDADES/SNSA, 2010).

3.1.1.8 Centro de Controle Operacional

O conhecimento da operação dos sistemas de abastecimento de água é algo importante para o direcionamento dos recursos hídricos. O papel do CCO é centralizar informações de operação de todas as unidades de um determinado sistema, como as descritas na tabela 1.

Tabela 1- Informações adquiridas no SAA

Informações do CCO	Descrição da tarefa
Comunicação de Vazões	Reúne informações das vazões de água em todas as unidades do sistema, possibilitando a distribuição correta do produto.
Falha de Unidades	Informa a gerência/coordenação responsável a possibilidade de falha em unidade, direcionando as ações.
Níveis de Reservatórios e Mananciais	Reúne informações dos níveis de Reservatórios e dos Mananciais existentes.
Manobras ocorridas no sistema	Direciona as manobras na rede de adução/distribuição para prover a água nos locais específicos.

No CCO estão reunidas as principais informações do sistema de abastecimento, necessárias ao direcionamento das ações de seu funcionamento.

3.1.2 Sistema de Energia Elétrica

Sistema de Energia Elétrica é o conjunto de equipamentos que operam de maneira coordenada para gerar, transmitir e fornecer energia elétrica aos consumidores, com o melhor padrão de qualidade possível (JUNIOR, 2011). Na figura 7 é apresentado um diagrama com as unidades que compõem o SEE.

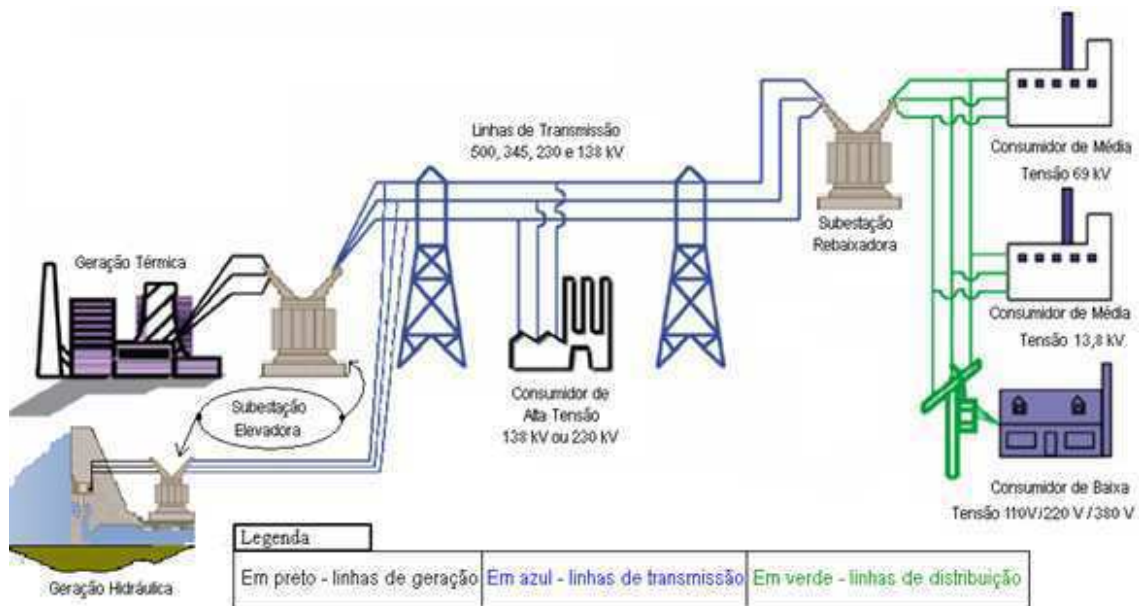


Figura 7-Diagrama Representativo de Sistema de Energia Elétrica

3.1.2.1 Geração da Energia Elétrica

Com o passar dos anos, a madeira, o carvão e o gás, respectivamente, foram reduzidos como fontes de energia. Segundo (VECCHI, 2004), o desenvolvimento da eletricidade trouxe, já no século XIX, importantes mudanças no interior das residências e prédios.

Com o aparecimento dessa energia possibilitou-se o uso de lâmpadas com dissipação diminuída de calor, devido a não existência de combustão. Antes disto, o gás natural era o alimento dos sistemas de aquecimento, refrigeração e iluminação das moradias (VECCHI, 2004).

No início (século XIX), a geração de energia ocorria predominantemente sob a forma de corrente contínua. No século XX foram, em sua maioria, substituídas por alternadas que permitiram o uso de transformadores, facilitando assim o seu transporte por distâncias maiores.

A força motriz (rotação e torque de um eixo) para acionamento dos geradores ocorreu logo em seguida de duas formas (SEVÁ, 2005):

- *Através da chamada hidroeletricidade, que ocorre por meio do aproveitamento das quedas d'água nos cursos dos rios, geleiras, e de lagos de altitude;*
- *Através da termoeletricidade, que ocorre por meio da expansão dos gases quentes ou dos vapores d'água, obtidos a partir da queima controlada de combustíveis.*

Hoje, a geração de energia ocorre predominantemente através da força motriz, sendo que em sua maioria a geração possui forte dependência da água no seu processo produtivo. Segundo (WORLD ENERGY COUNCIL , 1996), Canadá, Estados Unidos, Brasil, China e Rússia, são os maiores produtores mundiais de hidroeletricidade e também os maiores dependentes dessa fonte de energia.

No entanto, países pobres, como Cabo Verde⁶, sofrem a falta de energia, por não possuírem recursos naturais que possibilitem a sua geração. A geração de energia elétrica deste país é caracterizada pelo consumo em excesso de combustíveis fósseis e da utilização dos ventos (eólica) para prover de pequena quantidade de energia. O pior é que este país necessita de energia para obtenção de água (processo de dessalinização) para consumo humano (MINISTÉRIO DA ECONOMIA CRESCIMENTO E COMPETITIVIDADE, 2008).

No Brasil, a principal forma de geração de energia elétrica é através de hidroelétricas, o que correspondeu a 85,6% da produção no ano de 2007 (EPE, 2008).

3.1.2.2 Subestações de Energia Elétrica

Segundo (DUAILIBE, 1999), *uma subestação de energia elétrica é um conjunto de equipamentos de manobra e/ou transformação e ainda eventualmente de compensação de reativos usados para dirigir o fluxo da energia em um sistema de potência e possibilitar a sua diversificação através de rotas alternativas, possuindo dispositivos de proteção capazes de detectar diferentes tipos de faltas que ocorrem no sistema.*

Estas unidades possibilitaram o transporte seguro da eletricidade às regiões distantes do local de produção, servindo de entrada e saída de linhas de transmissão. No quadro 3 é apresentada a classificação dessas unidades quanto à função que desempenham e quanto a sua forma de instalação.

⁶ País composto por arquipélago (10 ilhas) situado no continente africano e oceano pacífico. Foi colonizado assim como o Brasil por portugueses. Sua independência ocorreu no ano de 1975.

Quadro 3-Tipos de Subestações

Quanto à sua função	Subestação Transformadora	Utilizada na conversão da tensão. Podendo ser: SE Transformadora Elevadora e SE Transformadora Abaixadora.
	Subestação Seccionadora, de Manobra ou de Chaveamento.	Integra circuitos de suprimento do nível de tensão, seccionamento e energização de trechos menores.
Quanto à sua instalação	Subestação externa ou ao tempo	São aquelas que são instaladas em condições sujeitas às condições atmosféricas desfavoráveis de tempo, chuva, entre outras.
	Subestação Abrigada	São protegidas das condições atmosféricas, podendo ser isoladas em cubículos metálicos ou protegidas por gás a SF ₆ .

3.1.2.3 Linhas de Transmissão

Segundo (LEÃO, 2010), “*Linhas de Transmissão (LT) são condutores através dos quais a energia elétrica é transportada de um ponto transmissor a um terminal receptor*”, beneficiando a sociedade desde o ponto de geração de energia, onde já é utilizada, até os centros consumidores.

É possível encontrar as linhas de transmissão de várias formas, sendo as mais comuns (LEÃO, 2010):

- Linha aérea em corrente alternada ou contínua com condutores separados por um dielétrico;
- Linha subterrânea com cabo coaxial, isolado com condutor externo coaxial de retorno;
- Trilha metálica, em placa de circuito impresso ou microtrilha.

3.1.2.4 Sistema de Distribuição de Energia Elétrica

O sistema de distribuição é parte do sistema elétrico situado entre a transmissão e a entrada de energia dos consumidores. Sua concepção depende das características dos

consumidores, sendo as regiões desenvolvidas os locais que possuem a maior complexidade deste sistema, devido o fato de demandas diferentes de energia, tensões e cargas. O diagrama simplificado de um sistema de distribuição, mostrado na Figura 6, apresenta a integração do sistema de distribuição com a Rede Básica, os níveis usuais de tensão de distribuição e os agentes envolvidos do setor de energia elétrica (LEÃO, 2010).

3.1.2.5 Operador Nacional do Sistema Elétrico

No âmbito do Setor Elétrico Brasileiro, o órgão responsável pela coordenação e controle da operação dos sistemas de Geração e de Transmissão de Energia Elétrica no Sistema Integrado Nacional - SIN é o Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS (www.ons.gov.br).

Em termos organizacionais, o ONS é uma associação civil, cujos integrantes são as empresas de geração, transmissão, distribuição, importadores e exportadores de energia elétrica, e consumidores livres, tendo a União, por meio do Ministério de Minas e Energia como membro participante, com poder de veto em questões que conflitem com as diretrizes e políticas governamentais para o setor. Também tomam parte nessa associação dois representantes dos Conselhos de Consumidores.

O ONS opera o Sistema Interligado Nacional - SIN por delegação dos agentes (empresas de geração, transmissão e distribuição de energia), seguindo regras, metodologias e critérios codificados nos Procedimentos de Rede — aprovados pelos próprios agentes e homologados pela ANEEL- Agência Nacional de Engenharia Elétrica (www.aneel.gov.br).

3.1.3 Similaridade e diferenças entre os Sistemas

Com o conhecimento das etapas para prover água no SAA e das existentes no SEE para a oferta de energia é possível comparar estes sistemas. A partir desse conhecimento é possível utilizar o mesmo manancial tanto para o provimento de água quanto para a oferta de energia. Como exemplo tem-se o rio São Francisco (manancial), que serve de fonte de abastecimento de água e de energia para várias cidades do nordeste. Na tabela 2 e figura 8, é realizada a comparação entre os esses dois sistemas.

Tabela 2- Descrições comparativas (SAAxSEE)

Etapa	Descrição da tarefa
Captação de Água	Sua função é mover um eixo de máquina com o fluxo de água, consumindo (SAA) ou gerando (SEE) energia elétrica.
Estação Elevatória e Subestação de Energia Elétrica	A EE do SAA utiliza energia elétrica na alimentação dos CMB's para aumentar o potencial da água e possibilitar o seu transporte. A SE aumenta o nível da tensão elétrica para que o transporte ocorra com menor quantidade de perdas.
Adutora e Linhas de Transmissão	Utilizadas para ligar as demais unidades do sistema. Funciona como meio de transporte do produto (energia elétrica).
Estação de Tratamento de Água e Subestações de Energia	As ETA's são utilizadas para retirar as impurezas e organismos nocivos presentes na água, e as SE's possuem filtros para remoção de ruídos presentes na energia elétrica.
Redes de distribuição	Utilizadas para transportar os produtos até os consumidores finais. Podendo, tanto no SAA quanto no SEE ocorrerem de maneira intermediária, sendo no SAA, através das derivações realizadas na adutora e no SEE, por meio de redes de subtransmissão.
Centro de Controle Operacional e Operador do Sistema Elétrico	Para os SAA's, as informações de operação (fluxo de água) de todo o sistema são concentradas no CCO, do mesmo modo, o OSE concentra informações gerais do SEE (fluxo da energia).



Figura 8-Diagrama de Equivalência (SAAxSEE)

3.2 Perdas de Água

Um dos maiores problemas enfrentados pelas concessionárias ligadas ao abastecimento de água se encontra na perda de grandes volumes produzidos. O Brasil está contido nesta triste realidade e, segundo reportagem publicada por (SIMÃO, 2011): “O País perde cerca de R\$ 7,4 bilhões por ano, por falta de investimentos em manutenção, fiscalização e atualização de redes antigas de abastecimento de água para impedir vazamentos, ligações clandestinas - conhecidas como "gatos" - e erros de medição”, sendo deste total, 4,4 bilhões recuperáveis com medidas de gestão e investimentos.

O conceito de perdas de água no SAA é toda perda física ou não física, ou todo consumo autorizado ou não, que cause prejuízo na receita operacional, causando ineficiência do sistema (ENNES, 2003). Na figura 9, foi realizada a adaptação do diagrama de Ishikawa para estudo das perdas no SAA (ENNES, 2003). Já na figura 10 é apresentado o diagrama para perdas no sistema de energia elétrica, que são comparadas com as anteriores sob vários aspectos.

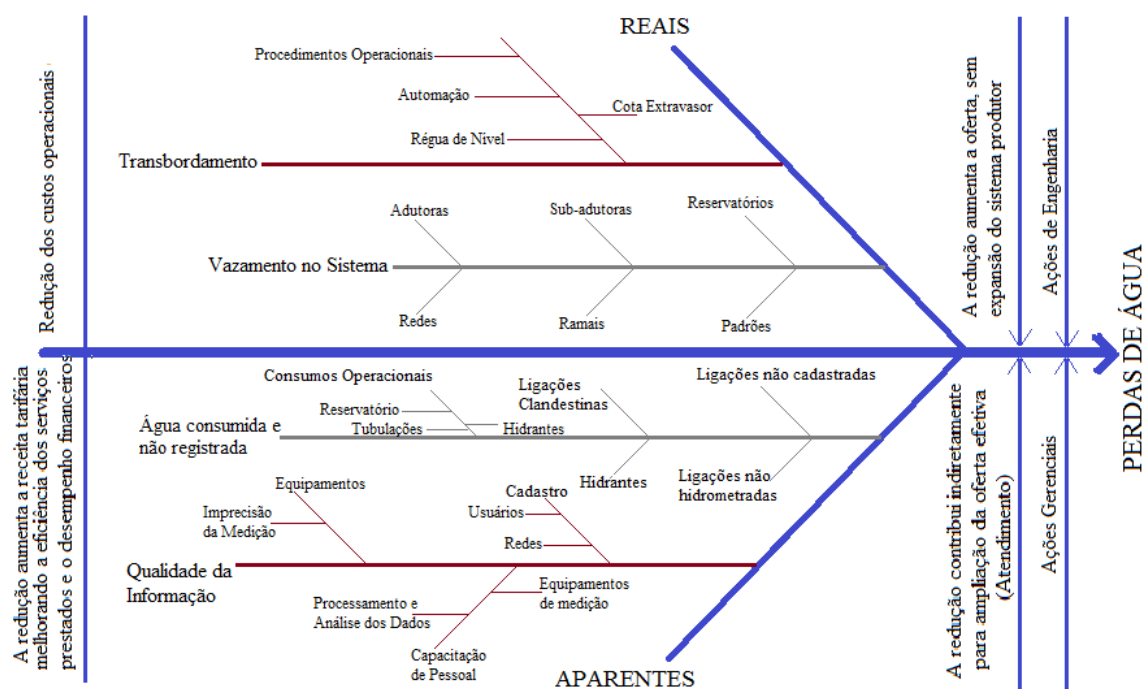


Figura 9-Diagrama de Ishikawa para perdas no SAA

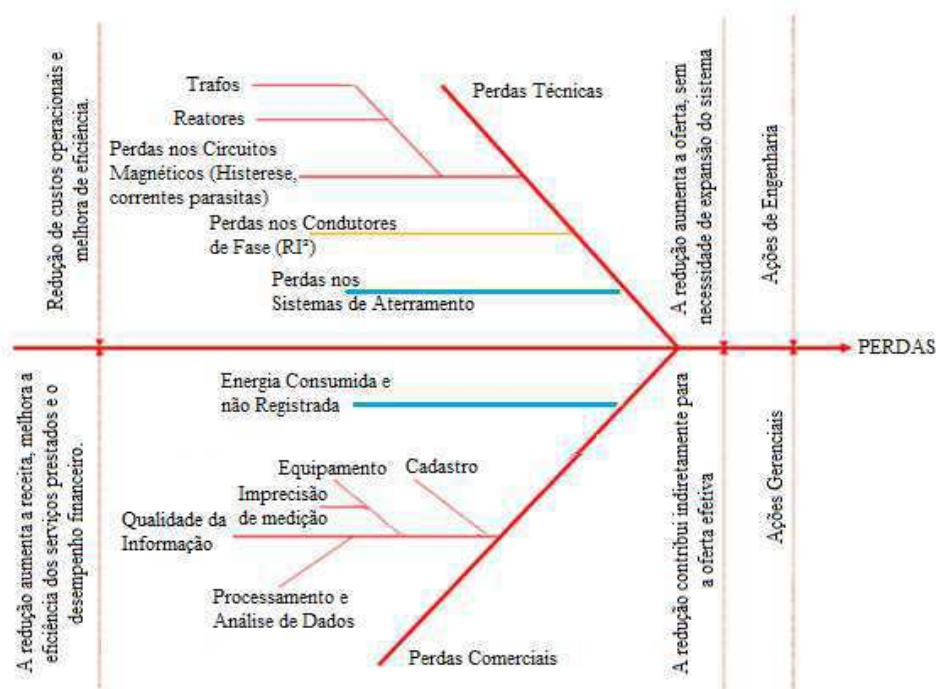


Figura 10-Diagrama de Ishikawa para perdas no SEE (Elaborado pelo prof. Benedito Luciano)

E, conforme dados contidos em (MINISTÉRIO DAS CIDADES/SNSA, 2010), 10 companhias⁷ de água do país possuíam perdas na distribuição da água superiores aos 50%. Algumas destas com perdas superiores a 1000 litros de água por dia para cada ligação do seu sistema.

3.2.1 Tipos de perdas

No setor de saneamento existem dois principais tipos de perdas de água: as perdas físicas e não físicas. As perdas físicas ou reais são aquelas que ocorrem entre a captação da água bruta e a entrada da unidade consumidora, envolvendo perdas na captação; adução; tratamento; vazamento em reservatórios, em adutoras, nas elevatórias de água, nas redes de distribuição e nos ramais das unidades consumidoras. As perdas não físicas de água são decorrentes da submedição nos macromedidores⁸ e micromedidores⁹, fraudes e falhas no cadastro comercial.

⁷ As 10 companhias que possuem as maiores perdas de água na distribuição são: CAER/RR (52,3%), CAERD/RO (67,5%), COSAMA/AM (75,0%), DEAS/AC (80,7%), AGESPISSA/PI (52,7%), CAEMA/MA (70,3%) CAERN/RN (53,1%), CASAL/AL (54,6%) e a COMPESA/PE (57,3%).

⁸ A macromedição é o conjunto de medições realizadas no SAA nos sistemas produtores e nos sistemas de abastecimento. Exemplos deste tipo de medição são encontrados principalmente entre os grandes volumes de captação e adução.

Segundo (RECESA, 2008), na avaliação para perdas de água são utilizados dois métodos:

- Balanço de águas: consiste em avaliar as perdas pelo volume que entra no sistema menos o volume de água consumido, de modo que neste método as perdas calculadas são as perdas totais resultantes das várias partes da infra-estrutura (Quadro 4);
- Pesquisa em campo: as perdas são determinadas através de pesquisas, testes e inspeções em campo de cada componente de perda real ou aparente. Com a soma das parcelas de volumes perdidos, consegue-se calcular o volume total das perdas.

Quadro 4 - Itens do Balanço de Água Fonte: (FILHO, 2004) e (ALEGRE & BATISTA, *et al.*, 2006)

Volume que entra no sistema	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo medido faturado (incluindo água exportada)	Água faturada
			Consumo não medido faturado (estimado)	
		Consumo autorizado não faturado	Consumo medido não faturado (usos próprios, caminhão pipa e outros)	Água não-faturada
			Consumo não medido, não faturado (combate a incêndios, favelas e outros)	
	Perdas de água	Perdas aparentes	Consumo não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	
			Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais	Vazamentos nas adutoras e nas estações de tratamento de água bruta	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
	Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro			
	Vazamentos e extravasamentos nos reservatórios de distribuição			

O quadro de balanço hídrico traz informações que servem como base para o entendimento e verificação de perdas e consumo.

⁹ A micromedição consiste na utilização de medidores de vazão na entrada das unidades consumidoras residenciais, comerciais e industriais.

3.2.2 Perdas Reais

Conforme exposto na seção 3.2.1, estes tipos de perdas compreendem os vazamentos de água existentes no sistema até o medidor do consumidor

Para cada sistema, existe um conjunto de fatores que restringe as possibilidades de gerir as perdas de água reais, que deverá ser o mais bem identificado possível quanto à escolha dos indicadores de desempenho técnico.

Assim, tem-se uma série de fatores que influenciam as perdas reais. Os principais deles são:

- Quantidade de tempo que o sistema está despressurizado;
- Pressão média de serviço, quando o sistema está pressurizado;
- Densidade de ramais;
- Localização do medidor domiciliar no ramal;
- Comprimento total dos condutores;
- Estado dos condutores e outros componentes - o seu material, a frequência de fugas e rupturas;
- Tipo de solo e as condições do terreno.

Estes fatores influenciam de maneira diferente os vários subsistemas dos SAA's.

3.2.3 Perdas físicas por subsistemas no SAA

Cada subsistema possui características específicas, que podem mudar em função da configuração das unidades, dos materiais utilizados e da sua configuração operacional. Na tabela 3 pode-se observar o resumo das perdas por subsistema, e verificar o que pode modificar a sua magnitude.

Tabela 3-Composto das Perdas Físicas por Subsistema (WERDINE, 2002)

SUBSISTEMA	ORIGEM	MAGNITUDE
Adução de Água Bruta	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamento nas tubulações; • Limpeza do poço de sucção; 	Variável, função das tubulações e da eficiência operacional.
Tratamento	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamentos estruturais • Lavagem de filtros • Descarga de lodo 	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional
Reservação	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamentos estruturais • Extravasamentos • Limpeza 	Variável, função das tubulações e da eficiência operacional.
Adução de Água Tratada	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamento nas tubulações • Limpeza no poço de sucção • Descargas 	Variável, função das tubulações e da eficiência operacional.
Distribuição	<ul style="list-style-type: none"> • Vazamento na rede • Vazamento em ramais • Descargas 	Significativa, função do estado das instalações e da eficiência operacional

As redes de distribuição e os ramais prediais são as partes do sistema onde ocorrem o maior número de vazamentos e o maior volume perdidos ramais prediais. Isso ocorre devido às suas condições de implantação e extensão (RECESA, 2008). Levantamentos realizados na cidade de São Paulo, no período noturno (00h às 05h), estimam a frequência de vazamentos que ocorrem nestas redes, segundo dados contidos na figura 11.

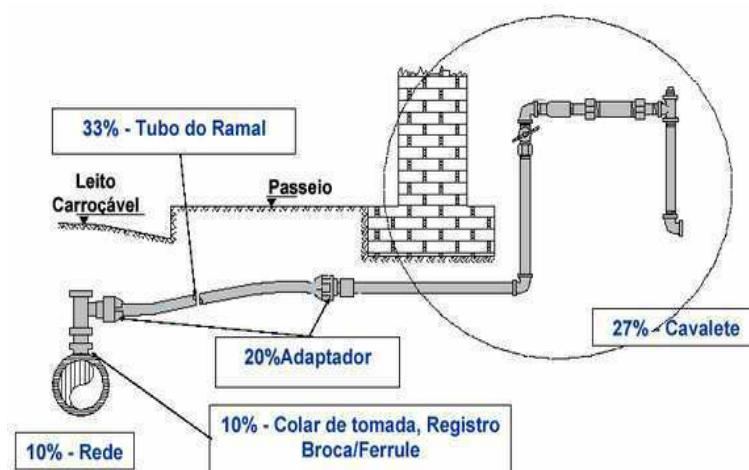


Figura 11-Indicação da frequência dos vazamentos em redes, ramais prediais e cavaletes.

Conforme é apontado em (PADILHA & NIIDA, 2003) é grande a preocupação das concessionárias quando estas perdas são imperceptíveis e modificam ou não a pressão média de serviço, afetando significativamente ou não a vazão média nas tubulações. Daí se torna necessária a utilização de equipamentos ultra-sônicos para a detecção, figura 12.

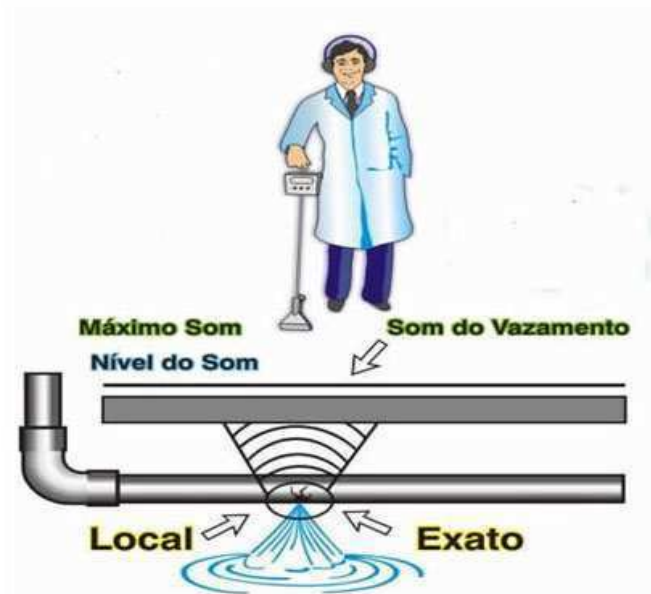


Figura 12-Detecção de Vazamentos com Equipamentos Ultra-som (ATAQTERMS, 2011)

Vazões pequenas e de longa duração representam um grande volume de água perdido e os prejuízos, muitas vezes, afetam às construções em geral. Exemplo disto foi percebido na cidade de Caruaru, no agreste pernambucano, quando parte da tubulação (joelho de PVC) apresentou uma rachadura figura 13, causando infiltração no solo de pequena quantidade de água. Após um longo período de tempo, percebeu-se o problema de vazamento que, por seu desconhecimento, agravou-se conforme demonstrado na figura 14.



Figura 13-Fotografia de residencia apresentando rachaduras



Figura 14- Fotografia indicando infiltração em residência.

3.2.4 Perdas Aparentes

Denominadas também de perdas não físicas, estas acontecem em fraudes, ligações clandestinas, erros na macromedição, na micromedição, desperdício de água pelos consumidores com ligações sem hidrômetros, falhas no cadastro, entre outras. Pode-se observar na figura 15 (ENNES, 2003) uma metodologia com o objetivo de reduzir essas perdas:

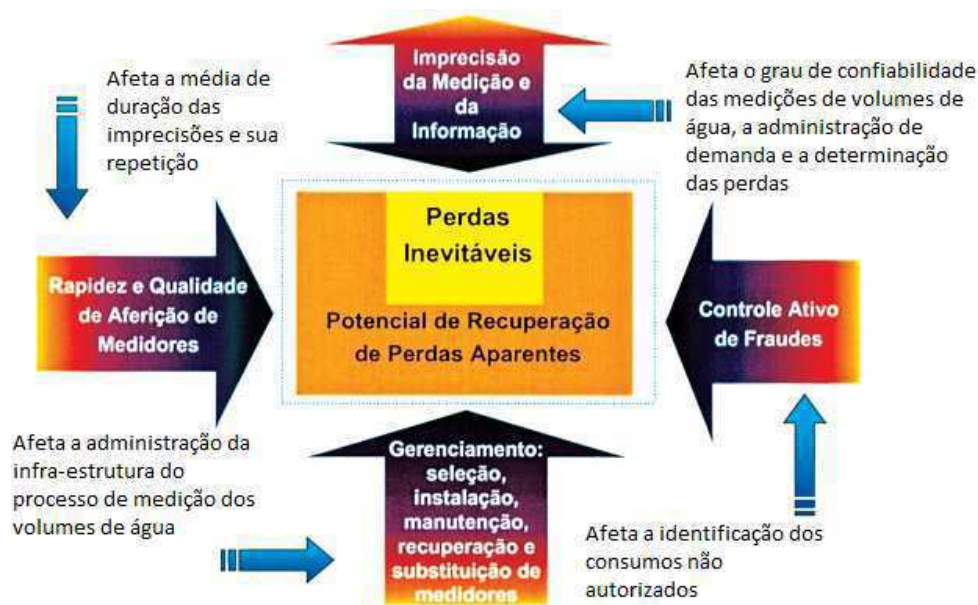


Figura 15-Diagrama com as principais soluções para redução de perdas aparentes

Na tabela 4 são apresentadas informações importantes sobre ação relativas às perdas não-físicas e os resultados adquiridos:

Tabela 4- Informações de Perdas Aparentes

Ações	Resultados
Diminuição da Imprecisão de Medições e Informações	Irá melhorar o grau de confiabilidade das medições de volumes de água na administração da demanda e da determinação das perdas, incluindo as “perdas de água” devido às praticas e rotinas operacionais.
Rapidez e Qualidade de Aferição de Medidores	Diminuição da média de duração das imprecisões e as suas repetições.
Gerenciamento: seleção, instalação, manutenção, recuperação e substituição de medidores.	Melhoria na administração da infra-estrutura do processo de medição do volume de água.
Controle Ativo de Fraudes	Identificação dos consumos não autorizados de água.

3.3 Equipamentos para Aferição de Vazões

A deficiência na coleta dos dados de vazão é fator determinante para o aumento das perdas físicas e não físicas, já que assim é possível ter o conhecimento detalhado dos volumes consumidos, e sua ausência camufla os problemas existentes na rede de abastecimento, o que impossibilita ações no intuito de minimizar as perdas no SAA.

Então, somente com o mapeamento das vazões em todo o sistema é possível decidir a melhor forma de gerir os recursos existentes. Diante disto, as empresas de saneamento têm aumentado os seus investimentos na instalação de macromedidores e micromedidores.

3.3.3 Macromedição

Para os Sistemas de Abastecimento de água, a macromedição é o conjunto de medições de vazão, pressão e níveis de reservatórios realizados, desde a captação no manancial até, imediatamente, antes do ponto final de entrega para o consumo (RECESA, 2008).

O conceito supracitado indica vários parâmetros que são investigados, mas se tratando de perdas de volumes com pressões consideradas constantes, o principal deles para verificação é o volume.

A utilização da macromedição na medição de vazões é fundamental no controle das perdas de um sistema de abastecimento, pois possibilita o conhecimento dos volumes disponíveis em todas as unidades e a gestão dos recursos hídricos.

Os equipamentos utilizados para este fim não conseguem realizar tal medida diretamente, sua maioria utiliza a conversão da sua velocidade multiplicada pela área do tubo, ou ainda, utilizam a avaliação do volume dividido pelo intervalo de tempo.

Os principais tipos de medidores utilizados com a finalidade de verificar vazões no sistema de saneamento básico são (FRANGIPANI, 2007):

- Medidores velocimétricos

Medidores que possuem como princípio a verificação da velocidade. São exemplos destes os medidores tipo Woltmann, os medidores tipo turbina ou turboélice e as microturbinas.

- Medidores deprimogêneos

São medidores que possuem como características a verificação da pressão diferencial, esta por sua vez é associada à velocidade do fluido, segundo a Equação de Bernoulli (equação 1). Medidores que utilizam este princípio são os Tubos de Pitot, Tubos de Venturi e as Placas de Orifício.

$$\rho \times \frac{v^2}{2} + p + \rho \times g \times z = \text{constante} \quad (1)$$

Em que,

ρ – massa específica (em kg/m³);

V – velocidade do fluido (em m/s)

p – pressão (em Pa)

g – gravidade (em m/s²)

z – altura (em m)

Tubo de Pitot é um instrumento de medição da pressão de estagnação (devido à velocidade ser nula) no ponto onde é introduzido, utilizado para medir a velocidade de fluidos, sendo comum no setor de saneamento. O mais difundido no Brasil é o tubo do tipo Cole. A equação 1 pode ser reescrita para facilitar a verificação dos valores (Equação 2).

$$V_o = Cc \times (2 \times \Delta P)^{0,5} \quad (2)$$

Em que,

ΔP : é a diferença de pressão, entre a pressão de estagnação e pressão estática;

V_o : é a velocidade do fluido no ponto de referência;

Cc : é a constante de correção entres os líquidos do equipamento e o medido.

Estes equipamentos são utilizados para realizar a aferição e a calibração dos macromedidores neste trabalho. A facilidade de uso, baixo custo, e por sua instalação poder ocorrer nas proximidades de outros acessórios da tubulação, esse equipamento se se torna para ser instalado nas proximidades dos macromedidores (VIANA & BORTON, *et al.*, 2006).

- Medidores eletrônicos

São equipamentos que convertem a vazão em impulsos elétricos. Exemplos destes são os medidores ultra-sônicos, Magnéticos e os do tipo Vórtice.

Os medidores ultra-sônicos contêm diferentes projetos para medição de uma velocidade média em um sistema de escoamento. Todos eles são baseados na interação de um

sinal ultra-sônico com o meio em movimento. Para isso utilizam transmissores e receptores de sinal baseados em cristais piezoelétricos (UPP & LANASA, 2002).

Existem medidores ultra-sônicos, nos quais os transdutores são presos à superfície externa da tubulação que, dependendo da instalação, podem apresentar erros grosseiros. Também há outros transdutores em contato direto com o fluido. Estes não são indicados para águas com grande quantidade de impurezas.

Os medidores Magnéticos, por apresentarem versatilidade de uso (utilizado tem águas limpas ou turvas), são bastante difundidos para verificação de volumes de água em companhia de abastecimento. Estes possuem boa precisão, e exatidão menor ou igual a 1% do valor medido (VETTORI & SASAKI, *et al.*, 2003).

Sendo que os medidores de vazão eletromagnéticos são equipamentos desenvolvidos utilizando o princípio básico da equação (3) conforme apresentado por (ROUSEMOUNT INC. MEASUREMENT DIVISION, 1995).

$$U = \frac{k \times B \times d}{A} \times Q \quad (3)$$

Em que,

U : é a diferença de potencial;

Q : é a vazão medida;

k : constante de ajuste para tubulação;

B : é a densidade de campo magnético;

d : é o diâmetro do tubo (ou distância entre os eletrodos);

A : é a área do tubo;

- Medidores volumétricos

Têm seu princípio de funcionamento baseado na “contagem” de volumes em compartimentos contidos no equipamento. Por contribuir com a adição de perdas de carga no fluido, seu transporte não poder conter partículas sólidas e ter um elevado custo com manutenção, este medidor é pouco utilizado.

3.3.4 Micromedição

Conforme verificado em (JÚNIOR & SILVEIRA, 2008) a medição e cobrança de água pelas Companhias de Saneamento tem importância econômica e ambiental (CAESB, 2010). Estas servem como uma ferramenta essencial de controle no processo produtivo, e é um mecanismo eficaz contra o desperdício, pois estimulam o consumidor a utilizar a água de maneira racional.

O instrumento utilizado para realizar esta medição imediatamente antes da entrega ao consumidor final é o hidrômetro. Conforme a (NBR 8009/97, 1997), o hidrômetro é um “instrumento destinado a indicar e totalizar, continuamente, o volume de água que o atravessa”. A medição de água pode ser feita de forma direta, lançando um volume em um reservatório de capacidade conhecida. Como também pode ser de forma indireta, por meio das medições de grandezas influenciadas pela passagem de água (ALVES & PEIXOTO, et al., 2004). Ou seja, os princípios de medição são semelhantes àqueles utilizados em macromedidores.

A classificação destes equipamentos de medição é devido as suas características construtivas, princípio de funcionamento, capacidade de medição ou classe metrológica. O conjunto dessas características deve ser considerado para a escolha de um medidor adequado (SILVA, 2008).

Os tipos de hidrômetros encontrados comercialmente são os volumétricos, taquimétricos e velocimétricos. Cada um destes possuem características que influenciam em seu custo, sua exatidão e na sua vida de funcionamento.

Hidrômetros do tipo turbina vertical (taquimétricos) são quase a totalidade dos hidrômetros utilizados no Brasil, segundo (SANCHEZ, 1997). Mas a forma no qual estes medidores são dimensionados podem conduzir a erros nas suas medidas.

Estes erros podem ocorrer por vários fatores, como o modelo utilizado, o seu tempo de uso, o volume já totalizado pelo instrumento, a qualidade da água que o mesmo mede, entre outros (ALVES & PEIXOTO, et al., 2004). Sendo que o valor relativo do erro calculado pela equação (4), não deve ultrapassar os valores previstos em (MDIC/INMETRO, 2000).

$$E = \frac{(L_f - L_i) - V_e}{V_e} \times 100 \quad (4)$$

Onde,

E = erro relativo percentual (%)

L_f, L_i = leitura final e inicial do hidrômetro; e,

V_e = volume escoado, recolhido na medida de capacidade aferida.

Utilizando-se os dados de vazões e o resultado da equação 3, é possível construir uma “Curva de Erros”, para os hidrômetros, conforme figura 16 (ALVES & PEIXOTO, *et al.*, 2004).

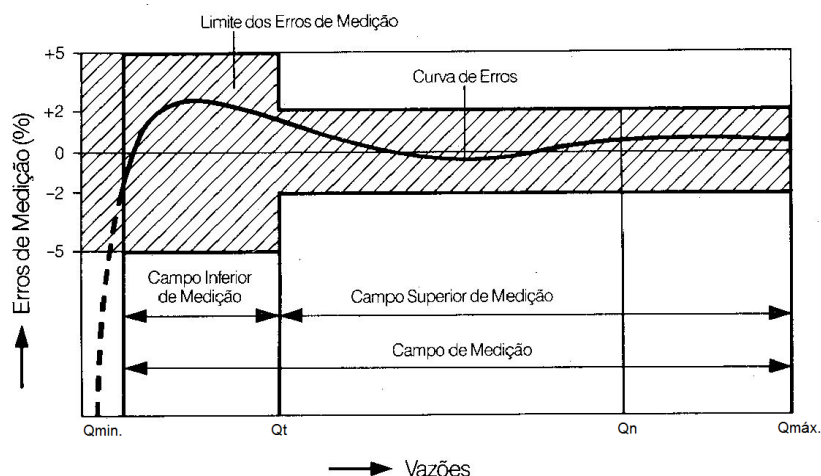


Figura 16-Curva de Erros nos Hidrômetros

Segundo (MDIC/INMETRO, 2000), os erros máximos admissíveis na indicação do volume escoado dos hidrômetros são:

- $\pm 5\%$ entre Q_{min} , inclusive e Q_t , exclusive; e,
- $\pm 2\%$ entre Q_t , inclusive e Q_n , exclusive.

3.4 Eficiência Energética

A racionalização do uso da energia possibilita uma melhor qualidade de vida, e gera crescimento econômico e desenvolvimento sustentável.

A efficientização, em geral, consiste em: “redução de perdas e eliminação de desperdícios”. Para isso, deve-se utilizar práticas que otimizem o processo, produto ou ação. Dessa forma, consegue-se diminuir ao máximo suas perdas (ESTEVEES & MOURA, 2010).

Ações de conservação da energia tomaram foco no mundo, no Brasil e em todos os estados. Diversas pesquisas relatam trabalhos em eficiência energética, já que este insumo consome boa parte dos recursos de empresas e governos.

Segundo (THE INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION, 2006), o Japão¹⁰ apresentou no ano de 2000 um pico no consumo de energia elétrica. O governo preocupado pela escassez de recursos energéticos internos, publicou o *Energy Master Plan* (plano energético) três anos após, focando dois aspectos:

- Energia custa dinheiro;
- As tecnologias de produção da eletricidade poluem o meio ambiente.

No Brasil, desde a metade da década de 1980, esforços são realizados para tratar o tema eficiência energética. Para isso foram criados o PROCEL (eletricidade) e o CONPET (derivados do petróleo). Além destes programas, foram dados incentivos à pesquisa em eficiência energética (1% da receita operacional líquida das empresas de distribuição de energia), (JANNUZZI, 2005).

São várias as ações (dimensionamento correto dos conjuntos, utilização de motores de alto rendimento, diminuição dos desequilíbrios trifásicos, pois o desequilíbrio de 3,5% pode aumentar as perdas do motor em 20%. Já um desequilíbrio de 5%, ou mais, pode danificá-lo rapidamente (REINALDO, 2002). Devem ser tomadas medidas tanto nos contratos de fornecimento de energia elétrica, como no monitoramento do seu uso para melhorar de forma contínua o uso da energia e dos recursos financeiros.

A utilização de equipamentos e/ou pessoas para medição e controle dos consumos é importante. E é possível a criar um banco de dados com informações precisas sobre a situação, visando tornar a gestão, a mais confiável possível.

¹⁰ Segundo (EBR_EBDAILY, 2010), o Japão é o país que possui um setor industrial com performance de eficiência dos recursos energéticos mais alta do mundo.

Os benefícios que geralmente são percebidos com a prática de efficientização estão resumidos na tabela 5 (VTI, 2011):

Tabela 5- Benefícios das práticas de efficientização no mundo

Local	Resultados
Na Sociedade	<ul style="list-style-type: none"> • Mais benefícios para a população, pois haverá maior disponibilidade de energia; • O Estado evitará o desperdício de energia e, dessa forma, obterá mais recursos para investir em outras áreas.
No Meio Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Redução dos impactos ambientais, entre os quais: queima de combustíveis fósseis, emissão de CO₂ (dióxido de carbônico), compostos nitrogenados e enxofre, chuvas ácidas, efeito estufa, alagamentos, desmatamentos, radiação nuclear.
Nas Empresas (Estatais e Privadas)	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento no suprimento de energia para atender necessidades futuras das empresas, sejam elas particulares ou estatais. • Impactos de marketing junto ao mercado e aos clientes, decorrentes da melhoria da imagem. • Redução das despesas diretas referentes ao consumo ineficiente de energia. • Incremento da motivação e participação dos colaboradores devido à melhoria do ambiente, com adequação de instalações e equipamentos aos novos processos de trabalho.
No Estado	<ul style="list-style-type: none"> • Menos investimentos em usinas hidrelétricas e termelétricas, contribuindo para o menor endividamento e ganho de competitividade. • Atração de novos investimentos e geração de emprego e renda. • Garantia do suprimento de energia elétrica.

São estes benefícios que ajudam no desenvolvimento e sustentabilidade da sociedade e conseqüentemente de uma instituição. É visando atender a alguns destes objetivos que novas práticas de eficiência vêm sendo aplicadas em sistemas de abastecimento de água.

4 Materiais e Métodos

O presente trabalho de dissertação foi desenvolvido sob a orientação dos professores Dr. Raimundo Carlos Silvério Freire e Dr. Benedito Antonio Luciano. O mesmo teve início com uma ampla revisão bibliográfica para subsidiar dados teóricos imprescindíveis ao projeto.

4.1 Materiais

Foram utilizados equipamentos de medição da vazão possibilitando adquirir os valores aduzidos nos sistemas, bem como equipamento (tubo de *Pitot*) para calibração destes equipamentos de vazão. Na manutenção destes equipamentos foram utilizados materiais no intuito de limpar e/ou consertar equipamentos (tabela 6).

Tabela 6-Materiais Utilizados na Manutenção

Objeto	Descrição	Unidade	Quantidade
<i>Signet 2551</i> (Macromedidor)	• Transdutor magnético inserido verticalmente à tubulação, modelo PVDF.	und	8
<i>Signet 8550</i> (Transmissor)	• Transmissor de dados utilizados pelo transdutor <i>Singnet 2551</i> , utiliza saídas proporcionais (vazão x corrente) de corrente de 4 a 20mA.	und	8
<i>Sitans F M</i> <i>Magflow</i>	• Transdutor tubular inserido em série com a tubulação, com diâmetros de 250mm a 900mm.	und	8
<i>MAG 5000</i>	• Transmissor para visualização dos dados utilizados pelo <i>Sitrans F M</i> .	und	8
<i>Tubo de Pitot tipo</i> <i>Cole</i>	• Equipamento utilizado na calibração dos macromedidores eletromagnéticos.	und	1
<i>Maleta do tubo de</i> <i>Pitot</i>	• Maleta utilizada para conversão das grandezas de pressão.	und	1
<i>Jogo de chaves</i> <i>Allen (1/16" a 3/8")</i>	• Utilizado para retirada e fixação do macromedidor <i>singnet</i> .	und	

Álcool etílico	• Utilizado na limpeza dos macromedidores e desinfecção.	litros	2
Detergente líquido	• Utilizado na limpeza dos macromedidores.	litros	0,4

4.2 Métodos

O trabalho foi realizado em três diferentes etapas. Na primeira etapa, o trabalho consistiu em visitas a campo no Sistema Produtor Jucazinho - COMPESA, objetivando a confiabilidade dos dados obtidos pelos macromedidores eletromagnéticos, realizando manutenções e indicando falhas.

Na segunda etapa, o trabalho consistiu em realizar um estudo sobre as ações que visam reduzir as perdas aparentes (furtos e medições erradas) nos Sistema Produtor Jucazinho-COMPESA/Tramo Sul, analisando o gasto desnecessário de energia no sistema em estudo.

Na terceira e última etapa ocorreu à realização da micromedição de parte do sistema, verificando o fluxo de água através do balanço hídrico. Foram verificadas as perdas físicas de água, na cidade de Caruaru, bem como o reflexo destas perdas no consumo de energia elétrica de todo o sistema.

5 Resultados e Discussão

Neste capítulo são abordados aspectos relacionados ao desenvolvimento do trabalho como um todo, bem como os resultados obtidos com a metodologia proposta. Na seção 5.1 são apresentadas ações de manutenção, para calibração e indicação de substituição dos macromedidores eletromagnéticos utilizados no Sistema Adutor Jucazinho; Na seção 5.2 são apresentados dados de ações em campo visando à redução de perdas por furto, bem como a análise dos dados indicando a redução no consumo de energia ou oferta no aumento de água; Na seção 5.3 são mostradas como com a diminuição das perdas físicas de água, pode-se reduzir as perdas de energia elétrica, verificando a rede de abastecimento da cidade de Caruaru-PE.

5.1 Confiabilidade dos Dados Macromedidos

No SAA, a incerteza das informações de vazão depende dos macromedidores, sendo a falta de calibração dos equipamentos, muitas vezes, tão danosa quanto a sua ausência. Diante dessa incerteza não é possível avaliar o volume que realmente é utilizado, dificultando a detecção de perdas aparentes de água e não havendo possibilidade de confirmação das perdas físicas de água.

Existem vários tipos de macromedidores conforme já descrito no capítulo 3. Neste trabalho foram utilizados dois com transdutores que utilizam o princípio eletromagnético e o tubo de *Pitot* tipo *Cole* para verificação da calibração.

5.1.3 Macromedidor Eletromagnético de Tipo Tubo

O princípio de funcionamento deste macromedidor ocorre devido a um fluxo de fluido eletricamente condutivo no interior de um tubo isolante (com velocidade \bar{v} , por meio de um campo magnético. Este campo magnético é gerado através de uma corrente, que flui por um par de bobinas de campo (B) e gera no fluido uma diferença de potencial (U), conforme apresentado na figura 17.

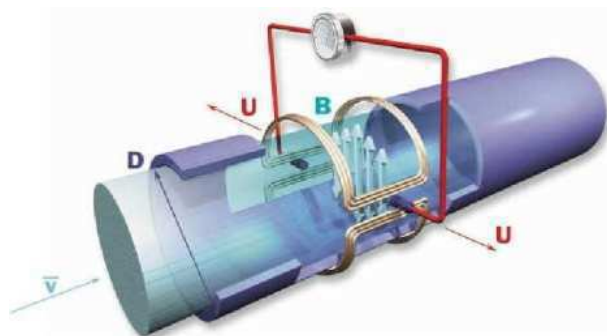


Figura 17-Imagem do macromedidor eletromagnético tipo tubo.

Nestes tipos de macromedidores devem ser tomados alguns cuidados em sua instalação, a considerar:

- Devem-se colocar juntas mecânicas¹¹ à jusante e à montante do medidor, procurando-se evitar esforços mecânicos de dilatação/retração da tubulação;
- Não pode ocorrer acúmulo de ar na região do medidor. Isto causa distorções nas medições do equipamento;
- Deve-se instalar o medidor respeitando-se a distância mínima de 10 vezes o diâmetro da tubulação em relação a qualquer interferência presente a montante e a jusante do medidor (FRANGIPANI & GOMES, 2007);
- É necessário realizar um bom aterramento elétrico (cerca de 6 Ω), incluindo o medidor, a tubulação e o líquido, para poder evitar correntes parasitas.

No quadro 5 são apresentadas as vantagens, desvantagens e características de exatidão do macromedidor eletromagnético tipo tubo.

Quadro 5- Características do Macromedidor Tipo Tubo

Vantagens	Desvantagens	Exatidão
Apresentam grande precisão de suas medidas.	Grande cuidado na instalação do medidor, bem como no seu aterramento elétrico	Medidores magnéticos quando corretamente instalados e aterrados apresentam EMA na faixa de 0,5 % do valor instantâneo, nas velocidades de fluxo acima de 0,3 m/s.
Não possuem peças móveis (transdutor), o que diminui a necessidade de realizar manutenções.	Necessidade de fonte de energia próxima, para alimentação do equipamento.	

¹¹ São elementos metálicos utilizados em redes de adução com o intuito de minimizar esforços de compressão/extensão.

5.1.4 Macromedidor Eletromagnético de Inserção

Estes tipos de macromedidores possuem funcionamento similar ao macromedidor do tipo tubo, com a diferença de serem inseridos na tubulação através de registros de derivação (TAP).

O funcionamento da sonda magnética é semelhante ao macromedidor que utiliza como princípio o movimento de uma microturbina, este mede a velocidade pontualmente e valores diferentes são percebidos a medida que o sensor é introduzido no tubo. Isto ocorre devido ao perfil de velocidades no interior da tubulação, conforme apresentado na figura 18.

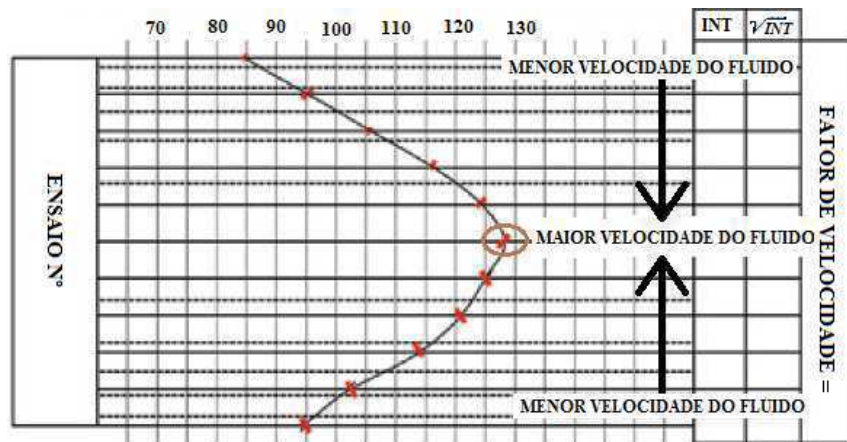


Figura 18 - Curva indicativa de perfil de velocidades

O equipamento gera um campo eletromagnético que realiza a separação dos íons presentes na água. Efeito que é similar ao apresentado pelo macromedidor tipo tubo. Como o MI possui uma única bobina, os eletrodos são posicionados logo abaixo dela, obtendo-se desta forma uma maior concentração de íons nos eletrodos. A representação do funcionamento é apresentada na figura 19.

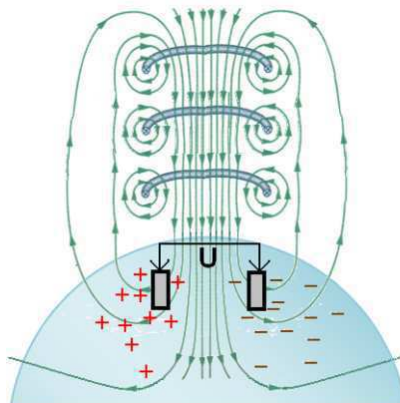


Figura 19- Representação do funcionamento do macromedidor de inserção eletromagnético.

A escolha destas sondas ocorre muitas vezes pela dificuldade de se interromper o abastecimento de água, pois sua instalação pode ser realizada com a rede em funcionamento.

No quadro 6 são apresentados as vantagens e desvantagens do macromedidor eletromagnético de inserção:

Quadro 6- Características do macromedidor de inserção.

Vantagens	Desvantagens	Exatidão
Seu custo independe do diâmetro da tubulação.	Grande cuidado na instalação do medidor, bem como no seu aterramento elétrico	Não indicado no catálogo do fabricante a precisão quanto a valores de vazão.
Pequeno custo de instalação.	Necessidade de fonte de energia próxima.	

5.1.5 Verificações dos Dados Medidos no Sistema (Análise dos Erros)

Foram utilizados três equipamentos no sistema: um tubo de Pitot tipo Cole móvel, utilizado como ferramenta de aferição e dois fixos, sendo estes os macromedidores eletromagnéticos, do tipo tubo e outro de inserção na rede (sonda).

O macromedidor tipo tubo é introduzido em série com a rede adutora de água, na horizontal, evitando-se instalar registros e válvulas em suas proximidades. Sua desvantagem é a necessidade de paralisação da adução de água para introduzi-lo no sistema.

Já o tubo de *Pitot* e o macromedidor eletromagnético de inserção são medidores que possuem partes introduzidas em pontos perfurados na tubulação que conduz a água, cuja vazão ou velocidade deseja-se medir. Esses medidores permitem verificar a velocidade em locais específicos da seção transversal de escoamento e, aplicando técnicas de integração, permitem determinar a vazão (SNSA, 2003).

A verificação da calibração é algo fundamental para a qualidade das informações coletadas por estes equipamentos nos sistemas. O erro verificado (erro percentual) é um comparativo do valor apresentado pelo equipamento com relação ao tubo de *Pitot* do tipo *Cole*, conforme equação (5), onde o erro percentual ($E\%$) é igual a diferença entre a velocidade medida utilizando-se o tubo de Pitot (V_{Pitot}) e a velocidade verificada no macromedidor ($V_{Macromedidor}$), dividida pela velocidade verificada com o tubo de Pitot, multiplicando-se tudo por 100 (visando obter o valor percentual).

$$E_{\%} = \frac{V_{Pitot} - V_{Macromedidor}}{V_{Pitot}} \times 100 \quad (5)$$

No quadro 7 são apresentados: o tipo de equipamento, sendo macromedidor de inserção (MI) ou macromedidor do tipo tubo (MT); o erro da medida; diâmetro da rede; a estação elevatória (EE), onde foi coletado o dado e a data da coleta.

Quadro 7- Resultados aferidos dos macromedidores

Equipamento Utilizado	Erro (%)	Vazão (l/s)	Diâmetro (mm)	Local	Data da Medição
MI	-2,46	848,62	900	EE 03	08/2010
MI	-25,79	833,50	900	EE 03	09/2010
MI	-2,00	924,83	900	EE 02	09/2010
MI	+ 25,36	907,36	900	EE 02	10/2010
MT	< ± 2,00	126,24	400	EE 06	05/2010
MT	< ± 2,00	122,86	400	EE 06	10/2010
MT	+2,70	357,61	400	EE 06	11/2010

Partindo dos dados apresentados no quadro 7, pode-se verificar a necessidade de realizar aferições e também manutenções nos equipamentos. O prazo para estas manutenções depende das características do equipamento. Além de outros fatores, existe a influência da qualidade da água transportada, como a presença de partículas sólidas, sais, entre outras.

Constatando-se desvios de medição (anormalidades) com relação à vazão média que é coletada em intervalos de uma hora, é solicitada a ação da equipe de pitometria e nos casos onde ocorrerem erros percentuais expressivos (acima de 2%) é realizada manutenção do macromedidor. Para realização da manutenção destes macromedidores é necessário o diagnóstico do tipo de problema apresentado. Nos macromedidores de inserção é retirado o seu transdutor onde se apresenta a deposição de material sobre os eletrodos, o que dificulta a passagem da corrente elétrica, conforme verificado na figura 20.



Figura 20-Imagem do transdutor do macromedidor de inserção com deposição de materiais.

Diante disto deve ser realizada a manutenção (limpeza e lubrificação) de seus contatos, conforme apresentado na figura 21.



Figura 21-Imagem do transdutor do macromedidor de inserção com deposição de materiais.

Em seguida, o sensor é novamente inserido na tubulação e o equipamento instalado. Sempre após este procedimento a equipe de pitrometria é acionada para novamente realizar sua calibração.

O mesmo não ocorre nos macromedidores eletromagnéticos tipo tubo e, conforme resolução CONAMA, este não possui partes móveis, o que dificulta a deposição de materiais. Além disso, os eletrodos ficam protegidos pela parede do tubo e a ação do eletroímã não sofre interferências.

Esta deposição de materiais pode ser mais severa, devido às características físico-químicas da água transportada por este sistema. Segundo a resolução nº357/05 do CONAMA, a água de classe 02 é considerada “bruta” e deve receber tratamento convencional.

5.2 Análise de Perdas Aparentes (não físicas)

A incompatibilidade dos dados medidos na chegada das ETA's ocorre devido aos volumes autorizados não medidos, perdas físicas na rede de adução ou ainda pela existência de fraudes.

Sendo as fraudes normalmente furto de água, e segundo (CAGEPA, 2011), *“O furto de água é uma prática criminosa passível de penalidade. Infelizmente, muitas pessoas ignoram a lei e cometem irregularidades no consumo, chegando, inclusive, a danificar as tubulações para se abastecer de forma fraudulenta. Esse procedimento pode resultar em cadeia para os infratores.”*

No código penal brasileiro, o furto é citado no artigo 155: *“Subtrair, para si ou para outrem, coisa alheia móvel onde a pena é de reclusão, de 1 (um) a 4 (quatro) anos, e multa.”*. Podendo ser ainda agravada dependendo da forma no qual foi cometido o delito.

As fraudes ou furtos estão presentes em todo o sistema de abastecimento de água, sendo muito prejudiciais à população abastecida que se encontra a jusante do local onde a água é retirada.

Quando o furto ocorre nas redes de adução, há diminuição da altura manométrica do sistema. Esta ação faz com que se tenha a necessidade de modificar as características dos CMB's existentes (quando ocorre antes ou após EE), introduzir uma elevatória no local ou retirar o desvio introduzido. Com isso é apresentado uma diminuição na altura manométrica do sistema, conforme equação (6), ver anexo altura manométrica.

$$H_{man_mod} = H_{man_sistema} - \Delta H_{furto} , \quad (6)$$

Onde,

H_{man_mod} – Altura manométrica do sistema modificada (em metros)

$H_{man_sistema}$ – Altura manométrica para o sistema sem furto (em metros)

ΔH_{furto} – Corresponde à altura manométrica devido a um volume furtado na rede (em metros).

A variação da altura manométrica devido ao furto é obtida através da equação (7).

$$\Delta H_{furto} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (7)$$

Onde,

f – fator de atrito da tubulação inserida;

L – comprimento da tubulação (do ponto derivado até o final da tubulação)

D – diâmetro da tubulação utilizada na fraude;

V – Velocidade de escoamento;

g – Gravidade no local.

5.2.3 Ações de combate as fraudes (Estudo de Caso)

A verificação dos desvios de água nas redes de adução é confirmada quando existe conhecimento das vazões do sistema (utilização de macromedidores precisos). As ações descritas no ítem 5.1 conduzem à confiabilidade dos dados e, com a observação de vazões nos sistemas, verifica-se locais da rede onde possivelmete ocorrem os desvios.

A diminuição das vazões e as dificuldades no transporte de água são parâmetros indicadores que motivam ações de combate aos desvios de água. Na figura 22 é exibido o diagrama representativo de duas unidades do Sistema Jucazinho, com informações de fluxos de águas da EE08 à EE09.

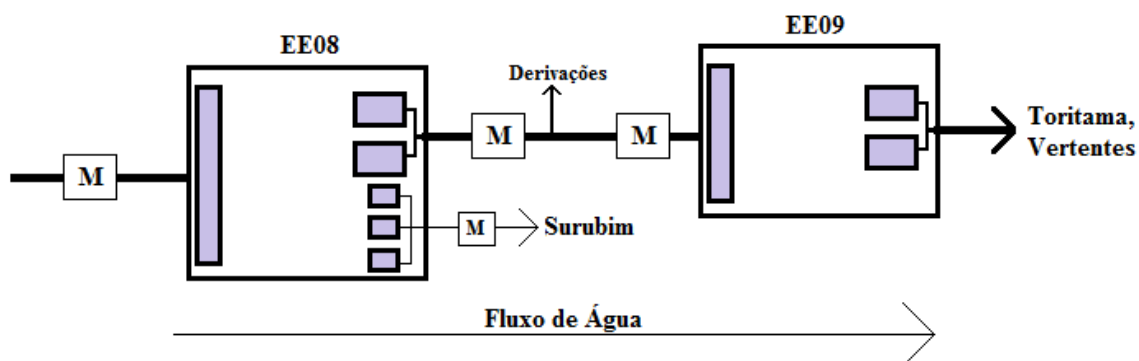


Figura 22-Diagrama Representativo Fluxo de Água

Na adutora que liga as duas unidades foram realizadas manutenções nos macromedidores e, juntamente com a equipe de pitometria, verificou-se o volume de água na tentativa de avaliar fraudes existentes no sistema. Na figura 23 são representados os volumes de água entre estas localidades, com os valores macromedidos na saída da EE08 e na entrada da EE09, antes e após as ações. A média das vazões verificadas (linha tracejada), representa a indicação da vazões verificadas em um período chuvoso.

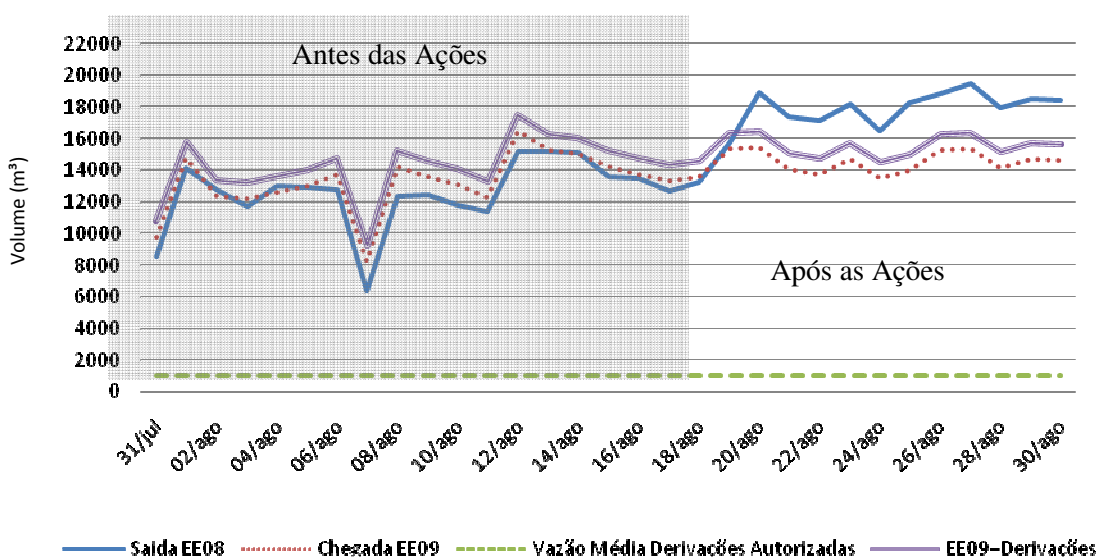


Figura 23-Gráfico Representativo das Vazões em Unidades Durante Período de Manutenção

Neste gráfico é possível verificar que a diferença entre os volumes nas duas elevatórias (saída EE08 subtraída da chegada na EE09) é muito grande, mesmo somando-se ao volume de chegada da EE09 o volume das derivações. Isto indica a possibilidade de fraudes entre as duas estações elevatórias. Ações de combate a fraude foram realizadas com o intuito de quantificar as fraudes e eliminá-las, mesmo que provisoriamente.

Nos povoados do Manduri e do Mocotó, localizados na zona rural, entre a EE08 e EE09, foram localizadas duas derivações sem autorização da companhia de abastecimento, configurando furto de água (figuras 24 e 25 respectivamente).



Figura 24-Furto de Água no Povoado do Manduri



Figura 25-Furto de Água no Povoado Mocotó

As tubulações ilegais foram retiradas e quantificadas as vazões destes furtos. Para isso, utilizou-se um reservatório com capacidade de 10 litros e um cronômetro para verificação do tempo dado em segundos (quadro 8).

Quadro 8-Intervalo de tempo para quantificação dos furtos

Localidade	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Manduri (s)	5,1	5,3	5,8	5,5	5,4	5,3	5,6	5,3	5,3	5,7
Mocotó (s)	6,3	6,4	6,8	6,9	6,8	6,5	6,5	6,3	6,3	6,5
Volume 10 litros										

Sendo a vazão obtida através da equação (8):

$$Q = \frac{V \pm \Delta V}{\Delta t \pm \varphi_{padr\tilde{a}o}} \quad (8)$$

Onde,

Q – Vazão da localidade

V – Volume do reservatório (em litros);

ΔV – 0,5 litros (menor medida dividida por 2);

Δt – Intervalo de tempo para encher o reservatório (em segundos);

$\varphi_{padr\tilde{a}o}$ – Desvio padrão das medidas.

Portanto, as vazões destas duas localidades são obtidas pela equação (9), obtida através da equação (8):

$$Q = Q_{m\acute{e}d\tilde{a}t\tilde{a}} \pm \Delta Q \quad (9)$$

Onde,

$Q_{m\acute{e}d\tilde{a}t\tilde{a}}$ – É a vazão média (em l/s);

ΔQ – O desvio da vazão, propagado das medidas diretas (em l/s).

Assim,

$$Q_{Manduri} = \frac{10,0 + 0,5}{5,40 \pm 0,22} = 1,52 \pm 0,17 \text{ l/s}$$

$$Q_{Mocotó} = \frac{10,0 + 0,5}{6,80 \pm 0,23} = 1,47 \pm 0,12 \text{ l/s}$$

Estas vazões representam um volume acumulado aproximado para os povoados do Manduri e Mocotó de 47.278,08 m³/ano e 45.722,88 m³/ano, o que representa um consumo maior do que o volume total consumido na da ilha de Fernando de Noronha¹² entre os meses de setembro e dezembro do ano de 2010 (COMPESA, 2010).

Esta perda não física de água representa um maior consumo de energia em duas unidades do sistema jucazinho (EE01 e EE08), bem como no desperdício de produtos químicos devido à água, que é tratada. O esquema do fluxo de água até estas localidades é representado na figura 26.

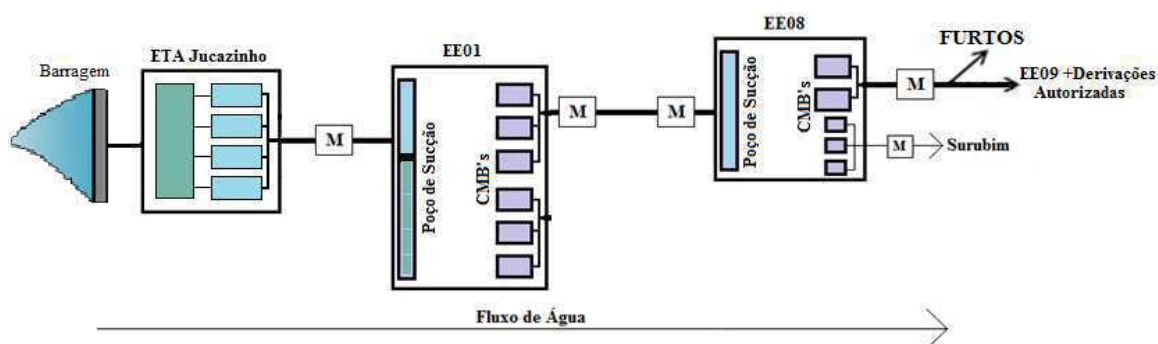


Figura 26-Esquema Representativo do Fluxo de Água com Indicação dos Furtos

Como para estas duas unidades não ocorre modificação no funcionamento dos conjuntos motobombas (vazão bombeada e altura manométrica), utiliza-se a equação (10) para realizar a aproximação da potência mecânica consumida.

$$BHP = \frac{Q \times H \times \gamma}{2,7 \times \eta} \quad (10)$$

Onde,

BHP (*Break Horse Power*) – Potência consumida (em cv);

Q – Vazão (em m³/h);

H – Altura manométrica (m);

γ – Peso específico da água (em kgf/dm³);

¹² O consumo de água na ilha de Fernando de Noronha foi de 91.070,22 m³, nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro de 2010.

η – Rendimento da Bomba (adimensional).

No quadro 9 são apresentados os rendimentos das bombas e dos motores das EE's 01 e 09.

Quadro 9-Rendimentos dos Motores e Bombas Avaliados

Tipo de equipamento	Unidade	Rendimento (%)
Bomba	EE01	72,00
	EE08	70,00
Motor	EE01	95,00
	EE08	93,50

A equação (11) relaciona a potência mecânica do sistema de abastecimento com a potência elétrica fornecida pela rede elétrica para conjuntos motobombas de estações elevatórias.

$$P_{elétrica} = \frac{BHP}{\eta_s} \quad (11)$$

Onde,

$P_{elétrica}$ – potência elétrica fornecida pelo sistema (em cv);

$P_{mecânica}$ – potência mecânica requerida (em cv);

η_s – rendimento dos conjuntos motobombas (adimensional).

Portanto, a energia elétrica consumida é diretamente proporcional à potência mecânica requerida e inversamente proporcional à eficiência dos CMB's. Sendo assim, a energia elétrica consumida também é diretamente proporcional à vazão no sistema em análise. No quadro 10 é apresentado o resumo da soma dos consumos de energia nas EE01 e EE08, a percentagem da energia gasta nestes sistemas para bombear a água para a região onde ocorrem os furtos, bem como as perdas de água e energia provenientes destes furtos.

Quadro 10-Resumo de Consumos e Perdas (Análise das Fraudes)

Unidade	Consumo médio de Energia da Unidade (kWh/mês)	Consumo da Unidade (%)	Transporte de Água (m³/mês)	Perda de Água (m³/mês)		Perda de Energia (kWh)
				Max	Med	
EE01	1931474,00	40,00	827162,00	Max	8501,76	6536,68
				Med	7750,08	7238,76
				Min	6998,40	7940,85
EE08	447609,67	80,00	361077,00	Max	8501,76	6940,46
				Med	7750,08	7685,92
				Min	6998,40	8431,38

5.3 Análise de Perdas na Rede de Distribuição dos SAA

As redes de distribuição, na maioria das vezes, são consideradas locais do sistema de abastecimento de água que apresentam maior complexidade do ponto de vista operacional. E isto se dá pelo fato de suas tubulações se apresentarem enterradas e espalhadas nas áreas urbanas.

As perdas existentes nesta parte do sistema ocorrem de várias formas, sendo as principais destas apresentadas na figura 27 (COELHO, 2001).

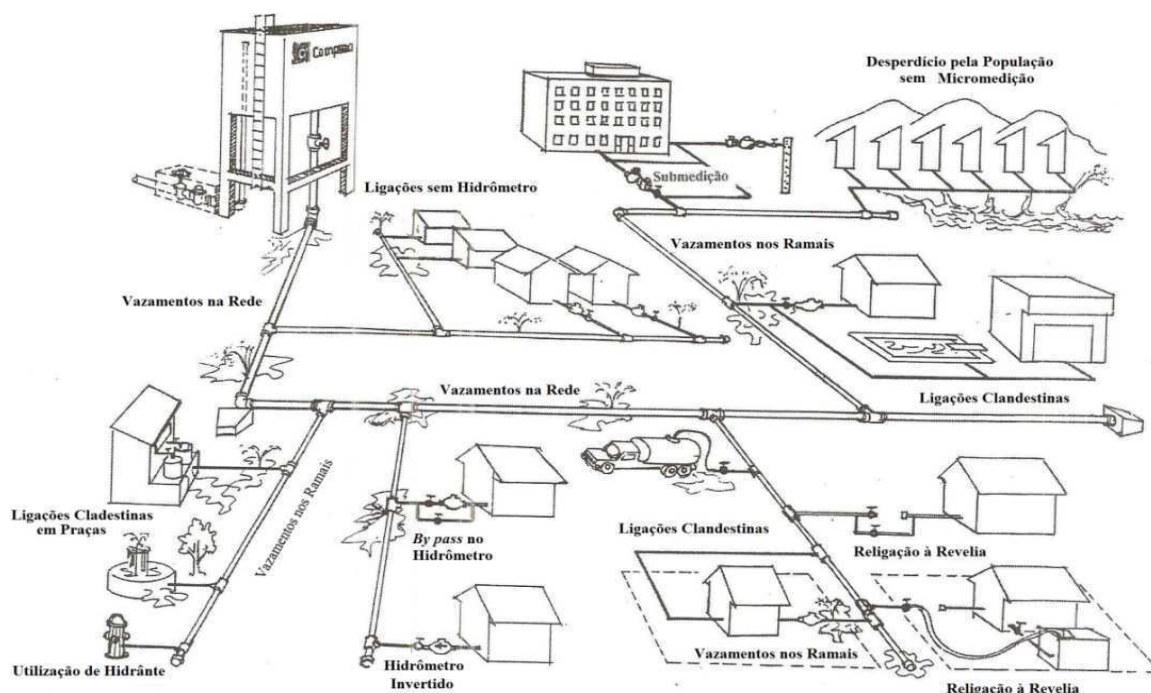


Figura 27-Perdas Típicos em Redes de Distribuição

Ainda segundo (COELHO, 2001), os principais motivos que influenciam no aumento das perdas de água nos sistemas de distribuição são:

- Projetos inadequados de rede de distribuição, com deficiências em aspectos que facilitam a operação e que não possibilitam a construção de um balanço hídrico confiável;
- Falha na especificação e no controle de qualidade dos materiais utilizados nos ramais prediais e nas redes de distribuição de água;
- Altas pressões, pois os materiais são especificados para suportar uma pressão máxima, e o seu monitoramento pode minimizar os vazamentos;
- Efeito do tráfego elevando a fadiga de tubulações e conexões da rede;
- A corrosividade do solo e da água;
- Qualificação da mão de obra que realiza os serviços;
- Intermitência do abastecimento;
- Falta de setorização e de um controle operacional seguro.

Na tentativa de minimizar as perdas de água, surgiram várias pesquisas em empresas privadas, universidades e setores do governo. Sendo alguns destes trabalhos realizados nas redes de distribuição, utilizando a redução da pressão, a modelagem de rede e o controle da gestão. Além destes estudos, ainda foram observadas dificuldades para detectar as perdas, que na maioria das vezes, exige uma análise de dados detalhada (vazão, pressão, consumo, entre outros), para gestão das ações.

(PATRÍCIO, 2007) afirma em seu trabalho que:

“Para que as metas de redução de perdas sejam atingidas é essencial que o sistema possua distritos pitométricos com macromedidores confiáveis, aferidos periodicamente, e um parque de hidrômetros atualizado constantemente através de substituição dos avariados e dos antigos.”

5.3.1 Análise dos dados de vazão na cidade de Caruaru

A cidade de Caruaru, localizada no Agreste pernambucano possui características que dificultam a obtenção de água potável para o consumo da população. O solo cristalino

dificulta a retirada de água do subsolo, e o principal afluente que corta o município, o rio Ipojuca, é bastante poluído.

A obtenção da água ocorre principalmente através de duas barragens localizadas em outros municípios pernambucanos. Uma localizada na cidade de Bonito, a barragem do Prata¹³ e a outra localizada na cidade de Surubim, a barragem de Jucazinho¹⁴. Por causa desta distância é necessário um alto consumo energético para o transporte da água.

A produção de água tratada no município de Caruaru ocorre por duas estações de tratamento, e a soma de seus volumes correspondem à produção mensal da companhia de abastecimento na cidade. O volume de entrada destas unidades é 99,43% medido, sendo o restante estimado pela vazão média de suas tubulações.

O volume de água consumido pela população é verificado em sua maioria pela utilização de hidrômetros com classe de medição B (82,24%), conforme quadro 11 (INMETRO, 2000).

Quadro 11-Classes de hidrômetros e correspondentes valores de vazões mínimas e de trabalho

Classes Metrológicas		Vazão nominal – Qn (m ³ /h)									
		0,6	0,75	1,0	1,5	2,5	3,5	5,0	6,0	10,0	15,0
A	Q _{minimo}	0,024	0,03	0,040	0,040	0,100	0,140	0,20	0,24	0,40	0,60
	Q _{trabalho}	0,060	0,075	0,100	0,150	0,250	0,350	0,50	0,60	1,00	1,50
B	Q _{minimo}	0,012	0,015	0,020	0,030	0,050	0,070	0,10	0,12	0,20	0,30
	Q _{trabalho}	0,048	0,060	0,080	0,120	0,200	0,280	0,40	0,48	0,80	1,20
C	Q _{minimo}	0,006	0,0075	0,0010	0,0150	0,0250	0,035	0,050	0,06	0,10	0,15
	Q _{trabalho}	0,009	0,0110	0,0150	0,0225	0,0375	0,053	0,075	0,09	0,15	0,23

Os volumes consumidos e produzidos mês a mês na cidade de Caruaru foram avaliados no período de um ano. Com o início do período chuvoso (maio, junho, julho, agosto

¹³ O principal afluente desta barragem é o rio do Prata, cuja captação está a aproximadamente 35 km de distância da cidade de Caruaru.

¹⁴ A barragem de Jucazinho está localizada no rio Capibaribe e encontra-se a aproximadamente 60 km de Caruaru.

e setembro) ocorreu uma diminuição do consumo de água, tendo como exceção o mês de junho. É época em que a cidade apresenta maior movimentação turística devido às festividades juninas (figura 28).

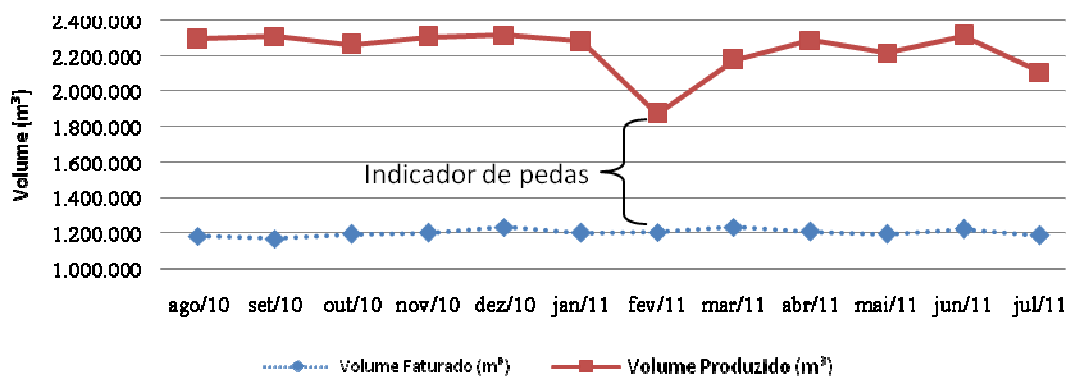


Figura 28- Volumes produzidos e faturados no município de Caruaru

No mês de fevereiro do ano de 2011 ocorreram problemas de abastecimento em um dos sistemas que abastecem a cidade, reduzindo sua produção em 25%, mesmo assim, o volume de água faturado (consumido e medido) permaneceu constante. No quadro 12 são apresentadas as perdas no faturamento, bem como as perdas de água para a cidade de Caruaru, no período de um ano.

Quadro 12-Informações de Abastecimento de Caruaru

Mês / ano	Volume Faturado (m³)	Volume Produzido (m³)	Consumo Medido (m³)	Consumo Estimado (m³)	Ind. Perdas no Faturamento (%)	Ind. Perdas de Água (%)
ago/2010	1.185.339	2.295.268	730.442	153.976	49,31%	56,91%
set/2010	1.169.938	2.311.746	724.723	154.754	49,42%	56,63%
out/2010	1.197.461	2.262.758	748.769	156.789	47,08%	54,44%
nov/2010	1.204.948	2.306.099	747.932	160.392	46,14%	53,67%
dez/2010	1.236.629	2.317.435	782.133	161.983	46,64%	53,67%
jan/2011	1.202.484	2.280.477	721.610	163.723	47,27%	55,43%
fev/2011	1.208.352	1.873.994	735.233	159.623	35,52%	45,43%
mar/2011	1.236.863	2.179.077	768.692	163.853	43,24%	51,19%
abr/2011	1.211.858	2.289.402	749.999	158.285	46,76%	54,80%
mai/2011	1.196.732	2.217.471	710.383	155.230	46,03%	55,36%
jun/2011	1.224.577	2.314.194	747.278	155.246	47,08%	55,63%
jul/2011	1.189.057	2.109.658	707.366	153.419	43,64%	53,38%

No mês de fevereiro do ano de 2011 ocorreu a interrupção no funcionamento de um dos sistemas que abastecem a cidade (Sistema do Prata), fazendo com que o volume produzido diminuísse drasticamente. Mesmo com esta diminuição no consumo, ainda foi verificado que o volume faturado (consumido e micromedido) não sofreu alteração (quadro 12). Fato que indica grande quantidade de perdas na distribuição.

A quantificação destas perdas ou o índice de perdas em redes de distribuição é determinada resumidamente pela equação (12).

$$I_{perdas} = \frac{\sum V_{entrada} - \sum V_{consumido}}{\sum V_{entrada}} \quad (12)$$

Onde,

I_{perdas} – Índice de Perdas na rede de distribuição;

$\sum V_{entrada}$ – Somatório de todos os volumes que entram na rede de distribuição (em m^3);

$\sum V_{consumido}$ – Somatório de todos os volumes que são consumidos (em m^3).

5.3.2 Consumo Energético para Fornecimento de Água

Conforme já exposto no ítem 5.3.1, a produção de água da cidade de Caruaru depende de dois sistemas: o sistema do rio Prata e o sistema de Jucazinho. O transporte da água destes mananciais necessita de grande quantidade de energia elétrica para ultrapassar as grandes diferenças de cotas e distâncias até o centro consumidor.

O consumo energético destas unidades no mês é de aproximadamente 6074 MWh, o que dá para abastecer cerca de 203000 residências de classe média com consumo mensal de 30 kWh/mês. Este município apresenta maior custo pelo volume produzido em todo estado de Pernambuco, com relação ao insumo energia.

Na figura 29 é exibido o consumo energético dos dois principais sistemas de abastecimento, e também a soma do consumo de energia para cidade de Caruaru.

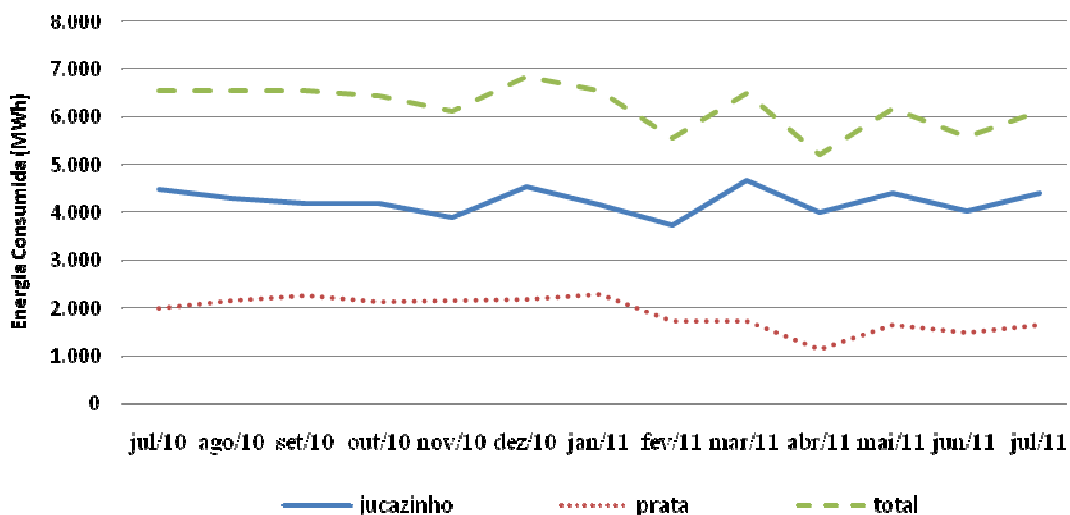


Figura 29-Consumo energético da cidade de Caruaru no período de um ano.

O consumo de energia relativo ao período de um ano (figura 29) foi de aproximadamente 81000 MWh, sendo o seu consumo mensal médio 6715 MWh. Este é o consumo de aproximadamente 134.000 moradias de consumo mensal médio de 50 kWh.

5.3.3 Balanço Hídrico da cidade de Caruaru

A quantificação dos volumes de água pode ocorrer de várias formas. Segundo (WERDINE, 2002) existem dois métodos internacionais mais complexos para levantamento das informações e construção de indicadores, sendo um elaborado pela *Association Générale des Hygiénistes et Techniciens Municipaux – AGHTM* e outro formulado pela *International Water Association – IWA*. O método desenvolvido por este segundo órgão é o Balanço Hídrico, utilizado e adaptado por várias empresas de saneamento do país.

Então, com o intuito de quantificar os volumes distribuídos no sistema de abastecimento de Caruaru, utilizou-se o software *WB-EasyCalc V300* (LIEMBERGER & PARTNERS GMBH, 2009), utilizado pela COMPESA. Sendo necessário, no entanto o conhecimento de algumas grandezas (volumes) que possibilitem sua construção. As grandezas levadas em consideração para o cálculo do Balanço Hídrico são apresentadas no diagrama da figura 30.

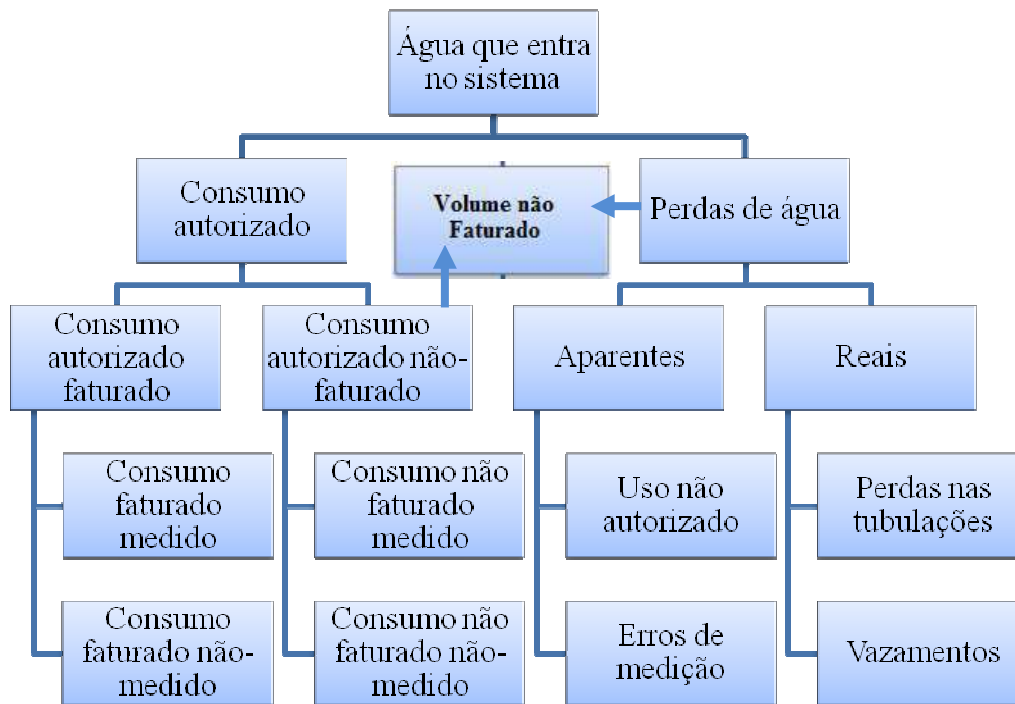


Figura 30-Diagrama do Balanço Hídrico de um SAA (GIROL, 2008)

Os passos utilizados para a construção do balanço hídrico foram descritos por (WERDINE, 2002) no seu trabalho.

“Passo 1: Definição do Volume de Entrada no Sistema e colocá-lo na coluna A;

Passo 2: Definição do Consumo Medido Faturado e Consumo Não Medido Faturado na Coluna D; entre com este valor no Consumo Faturado Autorizado e a Água Faturada;

Passo 3: Cálculo do volume de Água Não Faturada a partir da diferença entre Volume de Entrada no Sistema menos a Água Faturada;

Passo 4: Estabelecimento do Consumo Medido Não Faturado e Consumo Não Médio Não Faturado na coluna D; transferência do total de Consumo Autorizado Não Faturado para a coluna C;

Passo 5: Adicionamento dos volumes de Consumo Autorizado Faturado e Consumo Autorizado Não Faturado da coluna C; entre com este valor em Consumo Autorizado;

Passo 6: Cálculo das perdas de água como a diferença entre o Volume de Entrada no Sistema e Consumo Autorizado;

Passo 7: Estabelecimento dos componentes de Consumo Não Autorizado e “Imprecisões” de Medição da melhor maneira possível, soma e entre com este valor em Perdas Aparentes;

Passo 8: Cálculo da Perda Real como Perdas de Água menos Perdas Aparentes;

Passo 9: Estabelecimento dos vários componentes das Perdas Reais através das melhores técnicas disponíveis (medições de vazões noturnas, modelização, etc.) adição e comparação destes com o volume Perdas Reais na coluna C, conforme calculado até o passo 8.”

Diante disso é possível fazer o balanço hídrico do fluxo de água para cidade de Caruaru (quadro 13). Foram utilizados, no software *WB-EasyCalc* V300, dados de entrada idênticos àqueles do algoritmo anterior. Sendo introduzida também a incerteza de cada medida, e realizado o cálculo do desvio quadrático dos erros, para os valores calculados.

Quadro 13- Balanço hídrico da cidade de Caruaru de Agosto 2010 a Julho 2011

A	B	C	D	E		
Volume anual de entrada no sistema 28.149.912 m3/ano Margem de erro [+/-] 5,0%	Consumo autorizado 14.625.941 m3/ano 51,96 % Margem de erro [+/-] 5,2%	Consumo autorizado faturado 10.791.687 m3/ano	Consumo medido faturado 8.874.560 m3/ano Consumo não medido faturado 1.917.127 m3/ano	Água faturada 10.791.687 m3/ano 38,34 %		
	Perdas de água 13.523.971 m3/ano 48,04 % Margem de erro [+/-] 11,8%	Consumo autorizado não faturado 3.834.254 m3/ano Margem de erro [+/-] 20,0%	Consumo medido não faturado 0 m3/ano Consumo não medido não faturado 3.834.254 m3/ano Margem de erro [+/-] 20,0%	Consumo não autorizado 1.341.733 m3/ano Margem de erro [+/-] 15,9% Imprecisões dos medidores e erros de manipulação dos dados 1.952.492 m3/ano Margem de erro [+/-] 18,2%	Água não faturada 17.358.225 m3/ano 61,66 % Margem de erro [+/-] 8,1%	
		Perdas comerciais 3.294.225 m3/ano 24,36 % Margem de erro [+/-] 12,6%	Perdas físicas 75,64 % 10.229.746 m3/ano Margem de erro [+/-] 16,1%			

No balanço hídrico é confirmado grande quantidade de perdas na cidade no período analisado. Onde, 75,64% de todo o desperdício são perdas físicas de água. Isto correspondeu a uma perda de 10229746 m³, com um erro¹⁵ de 16,1%, nesta estimativa.

¹⁵ Este erro é o erro quadrático ponderado, onde os pesos da ponderação são os volumes.

O consumo adicional de energia para o período, caso seja utilizado para manter estas perdas físicas, é verificado através das equações (10) e (11). Este valor corresponde a cerca de 36% de toda a energia consumida para fornecer água ao município, o que equivale a uma perda de energia de 30000 MWh/ano.

6 Conclusões

Nesta dissertação foram apresentadas características de unidades componentes dos SAA's e SEE's. Foram demonstradas as similaridades entre os sistemas para explicitar a interdependência dos insumos, indicando equivalência entre as perdas existentes nos dois sistemas. Fazendo uso do Diagrama de Ishikawa e, através deste, procurou-se introduzir os tipos de perdas e ações para possibilitar a efficientização dos sistemas.

Para isso, foram propostas três etapas com o desenvolvimento de ações que se iniciaram nos trabalhos de confiabilidade dos dados de vazão (1ª etapa). No estudo, executaram-se ações em macromedidores eletromagnéticos de vazão, minimizando as perdas não físicas. Os resultados estão contidos no quadro 7.

Na análise, verificou-se na aferição dos macromedidores que aqueles do tipo inserção apresentam desvios em pequenos intervalos de tempo (6 meses). Já outros equipamentos utilizados com o mesmo propósito apresentam intervalos maiores. Foram indicadas manutenções em um intervalo de tempo bem inferior aos macromedidores do tipo tubo. Por isso, deve-se evitar o uso de MI em águas brutas e com grande quantidade de sujeira.

Na segunda etapa foram realizadas ações no combate a perdas aparentes por furto, e mediu-se as vazões de duas ligações irregulares. Com a utilização de expressões físicas foram demonstradas as relações de proporcionalidade entre as grandezas volume e energia consumida por conjuntos motobombas.

A partir da verificação dos volumes foram estimados os volumes desperdiçados, sendo grande estas quantidades de água e energia elétrica necessárias para alimentar tais irregularidades. Por exemplo, a quantidade de água desviada daria para abastecer 1500 residências de baixo consumo, ou ainda, aumentar a eficiência energética (elétrica) do sistema.

Na terceira etapa, trabalhou-se nas vazões da rede de distribuição. Fazendo uso de metodologia do IWA, realizou-se o balanço de água para a cidade de Caruaru, demonstrando

que as perdas físicas representam a maior parcela no período analisado. E, com o estudo, foi possível detectar desperdícios enormes de água e energia elétrica.

7 Referências

ALBOQUERQUE, A. A. D. **Análises e Métodos de Otimização para Eficiência Energética de Estações Elevatórias em Sistemas de Abastecimento de Água**. Campina Grande. 2007.

ALEGRE, H. et al. **Performance Indicators For Water Supply Services**, London, n. 2ª Edition, 2006.

ANEEL. ANEEL. **Agencia Nacional de Energia Elétrica**, 2009. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/15.htm>>. Acesso em: 15 março 2011.

APRH. APRH. **Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos**, 2011. Disponível em: <http://www.aprh.pt/pdf/triptico_CEAS.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2011.

ATAQTERMS. Dedetizadora Ataqterms. **ataqterms**, 2011. Disponível em: <<http://www.ataqterms.com.br/cupim-cupins/deteccao-de-vazamento/>>. Acesso em: 02 ago. 2011.

AZEVEDO, F. C. **Projeto elétrico do sistema de esgoto sanitário da cidade de Camalaú**. UFCG. Campina Grande, p. 51. 2010.

BRASIL ESCOLA. A Era Apocalíptica. **Brasil Escola**, ago. 2011. Disponível em: <<http://www.brasilecola.com/geografia/era-apocaliptica.htm>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

CAESB. **Individualização da medição: Cartilha para orientação de clientes**. Brasília. 2010.

CAGEPA. Furtos: Companhia de Água e Esgotos da Paraíba. **Site: CAGEPA**, 2011. Disponível em: <<http://www.cagepa.pb.gov.br/portal/?p=423>>. Acesso em: 18 ago. 2011.

CAMPOS, A. D. **Gerenciamento Pelo Lado da Demanda: Um Estudo de Caso**. São Paulo. 2004.

COÊLHO, A. C. **Manual de Economia de Água**. Olinda: Comunigraf, v. XVI, 2001. 264 p.

COMPESA. **Sistema de informações operacionais**. COMPESA. Recife, p. 490. 2010.

DUAILIBE, P. **Consultoria para Uso Eficiente da Energia**. UFF. Rio de Janeiro, p. 85. 1999.

DUTRA, J. B. D. A. **Eficiência Energética no Controle da Vazão em Sistemas de Bombeamento de Água - Uso de Válvula e Controle de Velocidade**. Paraíba do Sul. 2005.

EARTHTRENDS. World Resources Institute - EarthTrends. **EarthTrends Environmental Information**, 2011. Disponível em: <<http://earthtrends.wri.org/index.php>>. Acesso em: 17 ago. 2011.

EBR_EBDAILY. Japan Energy Conservation. **Energy Business Daily**, 23 June 2010. Disponível em: <<http://energybusinessdaily.com/power/japan-energy-conservation/>>. Acesso em: 13 Junho 2011.

ENNES, Y. M. **Programa de redução de perda de água no sistema de distribuição**. Belo Horizonte: COPASA, 2003.

EPE. **Mercado de Energia de 2006-2015**. Rio de Janeiro: EPE, v. I, 2005.

EPE. **Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007: Resultados Preliminares**. Empresa de Pesquisas Energéticas. Rio de Janeiro, p. 43. 2008.

EPE. **Balanço Energético Nacional-Ano Base 2008**. Empresa de Pesquisas Energéticas. Rio de Janeiro, p. 276. 2009.

ESTEVES, E. F.; MOURA, L. S. Avaliação de Desperdícios e Perdas de Matéria-Prima no Processo Produtivo de uma Fábrica de Bebidas. **Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**, Resende, VII, n. 7ª, 2010.

FILHO, J. T. Controle e redução de perdas. In: _____ **Capítulo 10: Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São, 2004.

FIRMINO, M. B. M. et al. Método de Eficiência Energética no Bombeamento de Água, Via Programação Linear e Inteira. **Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, João Pessoa, 2006.

FIZON, J. T.; MACHADO, T. T. **Política Pública de Saneamiento Brasileña: Notas sobre sus efectos ambientales. Medio Ambiente y Urbanización**. Rio de Janeiro. 1992.

FRANGIPANI, M. **Guias práticos - Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água**. Brasília: SNSA, v. 5 V, 2007.

FRANGIPANI, M.; GOMES, A. S. **Técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água**. 1ª Edição. ed. Brasília: SNSA, v. V, 2007. 81 p.

GIROL, G. **Análise de Perdas Reais em um setor do Sistema de Abastecimento de Água no Município de Capinzal - SC**. Florianópolis. 2008.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **IBGE**, 2003. Disponível em: <www.ibge.com.br>. Acesso em: 2011 ago. 16.

INMETRO. **Portaria 246/2000**. INMETRO. Rio de Janeiro, p. 12. 2000.

JANNUZZI, G. D. M. UNICAMP, 09 janeiro 2005. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/Comciencia12-040.pdf>>. Acesso em: 13 junho 2011.

JORNAL OFICIAL DAS COMUNIDADES EUROPÉRIAS. Directiva-Quadro da Água:que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. **Jornal Oficial das Comunidades Europérias**, Portugal, 2000.

- JUNIOR, C. A. D. C. **Sistema de Energia Elétrica I**. Unicamp. Campinas, p. 18. 2011.
- JÚNIOR, W. C. C.; SILVEIRA, A. Sistema de medição individualizado de água-Análise de viabilidade de implantação, Estudo de caso: Edifício Residencial New York, Cuiabá/MT. **Encontro de Engenharia e Tecnologia dos Campos Gerais**, Ponta Grossa, n. 4º, 2008.
- LARA, A. I.; ANDREOLI, C. V.; ANDREOLI, F. N. Conservação de mananciais: Visão das companhias de saneamento. **Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental**, Rio de Janeiro, n. 20, 1999.
- LEÃO, R. P. S. **GTD - Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica**. UFC. Fortaleza, p. 111. 2010.
- LIEMBERGER & PARTNERS GMBH. WB- EasyCalc. **L&C**, 2009. Disponível em: <<http://www.liemberger.cc>>. Acesso em: 31 ago. 2011.
- LIMA, J. R. D.; MARIOTONI, C. A. A relação entre água, energia e ambiente no semi-árido brasileiro: uma proposta metodológica. **Encontro de Energia no Meio Rural**, Campinas, n. 4ª, 2002.
- MDIC/INMETRO. Portaria nº 246 de 17 de outubro de 2000. **Hidrômetros utilizados para medição de consumo de água fria devem atender as exigências do INMETRO**, Rio de Janeiro, 17 set. 2000. 12.
- MEDEIROS Fº, C. F. D. **Abastecimento de Água**. UFCG. Campina Grande, p. 154. 2009.
- MINISTÉRIO DA ECONOMIA CRESCIMENTO E COMPETITIVIDADE. **Construindo um Futuro Energético Seguro e Sustentável**. Ministério da Economia Crescimento e Competitividade. Praia, p. 24. 2008.
- MINISTÉRIO DAS CIDADES/SNSA. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2008, Tabelas de Informações e Indicadores**. Brasília. 2010.
- MOURA, G. N. P. D. **A RELAÇÃO ENTRE ÁGUA E ENERGIA: GESTÃO ENERGÉTICA NOS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DAS COMPANHIAS DE SANEAMENTO BÁSICO DO BRASIL**. Rio de Janeiro. 2010.
- NBR 8009/97. Define os termos empregados em hidrômetros taquimétricos, destinados à medição de água fria., 30 set. 1997. 3.
- OHIRA, T. H.; TUROLLA, F. A. **Economia e Regulação do Setor de Saneamento Básico**. Rio de Janeiro. 2007.
- OLIVEIRA, A. L. S. D. **Saneamento Básico no Brasil: LIMITES E POSSIBILIDADES DE ATUAÇÃO DO SETOR PRIVADO**. Salvador. 2004.
- PADILHA, P. S.; NIIDA, O. I. Formação, Treinamento, Qualificação e Certificação de Pessoal em End de Estanqueidade - Detecção de Vazamentos Não-Visíveis em Redes Pressurizadas. **Pan-American Conference for Nondestructive Testing**, Rio de Janeiro, III, n. 3ª, 2003.
- PATRÍCIO, R. J. D. O. **Análise de perdas na rede de distribuição de água em um subsetor da cidade de Presidente Prudente-SP**. UNESP. Ilha Solteira, p. 123. 2007.
- RECESA. **Gerenciamento de Perdas de Água e Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento: nível 2**. Salvador: NURENE, v. I, 2008.

- REINALDO, S. **Manual Técnico- Procel - Motor de Alto Rendimento**. Brasília: Cepel e Eletrobrás, 2002.
- REZENDE, F. D. C. Políticas públicas e saneamento básico: a Compesa entre o Estado e o mercado., Rio de Janeiro, v. 30, n. 4, 1996.
- ROUSEMOUNT INC. MEASUREMENT DIVISION. Magnetic Flowmeter Fundamentals, Chanhassen, v. I, p. 10, Setembro 1995.
- SANCHEZ, J. G. Dimensionamento de hidrômetro e análise de traço. **Congresso da Associação Brasileiro de Engenharia Sanitária**, n. 19º, 1997.
- SANEPAR. Os mananciais de abastecimento do sistema integrado da região metropolitana de Curitiba - RMC, Curitiba, v. XII, n. 12, 1999.
- SANTOS, F. S. D. fernandosantiago. **Portal de Fernando Santiago dos Santos**, ago. 2011. Disponível em: <<http://www.fernandosantiago.com.br/freatico.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2011.
- SANTOS, R. J. R. Programa de conservação de mananciais, Curitiba, IX, n. 9, 1998.
- SEVÁ, O. **Usinas hidrelétrica e termelétricas: Roteiro experimental sobre as concepções e o modo de funcionamento e sobre algumas consequencias**. Campinas, p. 14. 2005.
- SILVA, N. R. D. **Estudos de Metodologias para Avaliação de Submedição de Hidrômetros Domiciliares em Sistemas de Água**. Brasília. 2008.
- SIMÃO, E. País perde R\$ 7,4 bi por ano com água. **Folha de São Paulo**, São Paulo, 08 março 2011. Disponível em: <HYPERLINK "<http://economia.estadao.com.br/noticias/economia%20brasil,pais-perde-r-74-bi-por-ano-com-agua,57788,0.htm>" <http://economia.estadao.com.br/noticias/economia%20brasil,pais-perde-r-74-bi-por-ano-com-agua,57788,0.htm> >. Acesso em: 04 ago. 2011.
- SNSA. DTA - Documento Técnico de Apoio nº D2 Macromedição. **PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPÉRDIO DE ÁGUA**, Brasília, setembro 2003. 82.
- THE INTERNATIONAL COPPER ASSOCIATION. The Business Case for Electrical Energy Efficiency, New York, 2006.
- TUCCI, C. E. M. Água no Meio Urbano. In: TUCCI, C. E. M. **Água no Meio Urbano**. São Paulo: Escrituras Editora, 1997. Cap. 14, p. 40.
- TUROLLA, F. A. **Provisão e Operação de Infra-Estrutura no Brasil: Setor de Saneamento**. EAESP/FGV. São Paulo, p. 98. 1999.
- UFMS. Ferramentas Computacionais para auxiliar o gerenciamento de perdas em sistemas urbanos de distribuição de água. **Finep**, 2011. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/5_consumo_ufms.htm>. Acesso em: 05 ago. 2011.
- UPP, E. L.; LANASA, P. J. **Fluid Flow Measurement - A Practical Guide to Accurate Flow Measurement**. Boston: Butterworth-Heinemann, v. II, 2002.

US DEPARTMENT OF ENERGY. **Energy Demands on Water Resources**. Congress on the Interdependency of Energy & Water. Washington D.C.: [s.n.]. 2006.

VECCHI, T. P. B. **Uso de Modelos Matemáticos para Expansão de Redes de Distribuição de Energia Elétrica**. Setor de Ciências Exatas e Setor de Tecnologia. Curitiba, p. 144. 2004.

VETTORI, C. L.; SASAKI, E.; RUBIO, C. L. T. DIRETRIZES PARA MACROMEDIÇÃO PERMANENTE NA SANASA CAMPINAS SELEÇÃO DE MEDIDORES E CONDIÇÕES DE INSTALAÇÃO. **Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento S/A.**, Campinas, 2003.

VIANA, A. N. C.; BORTON, E. D. C.; CAMPINHO, C. B. UNIDADE MÓVEL HIDRÁULICA PARA AVALIAÇÃO DE EFICIÊNCIA EM INSTALAÇÕES DE BOMBEAMENTO. **SEREA - Seminário Iberoamericano sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água**, João Pessoa, 2006.

VTI. Vti - Eficientização Energética. **Vti - Tecnologia para uma vida melhor**, 2011. Disponível em: <http://www.vti.com.br/index.php?option=com_content&view=article&id=56&Itemid=82>. Acesso em: 20 abr. 2011.

WERDINE, D. **Perdas de Água em Sistemas de Abastecimento**. Itajubá. 2002.

WORLD ENERGY COUNCIL. **Technological options for Electricity Generation**. New Delhi, p. 45. 1996.

8 Anexos

8.1 Dimensionamento de Bombas Centrífugas

A definição ou escolha de uma bomba centrífuga é feita essencialmente através de vazão de bombeamento e da altura manométrica total capaz de ser produzida pela bomba a essa vazão. Outras grandezas também consideradas são a altura manométrica de sucção, a rotação, a potência absorvida e a eficiência. Na Figura 17 são demonstradas informações de dimensionamento de bomba para transporte de água em direção ao reservatório em um ponto mais elevado (recalque).

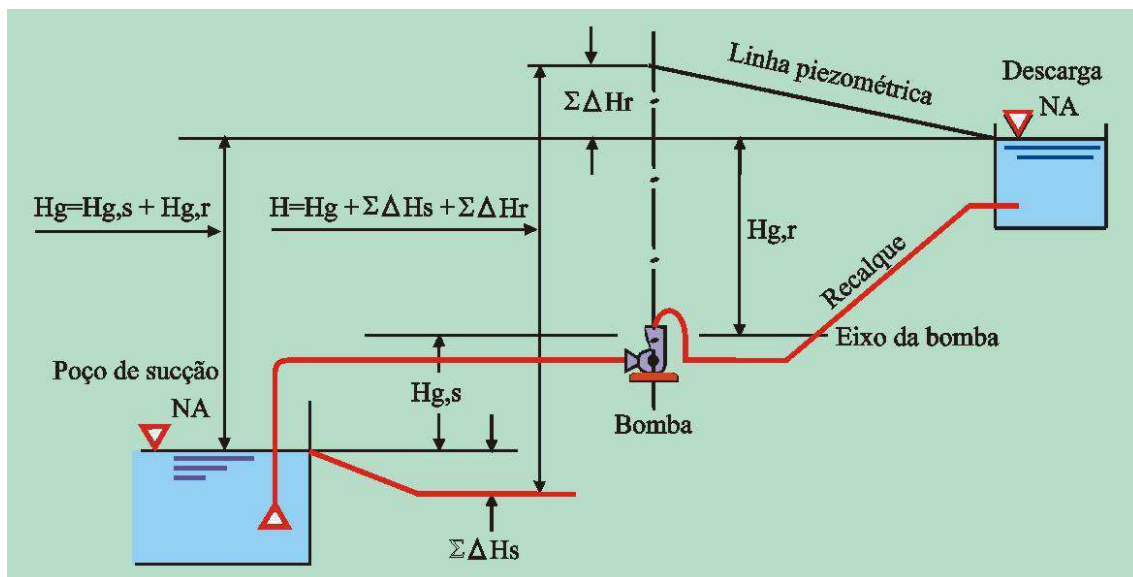


Figura 31