

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ - UNIFEI**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE ENERGIA**

Lucas Ribeiro Fortes

Análise de perdas de água e relações energéticas em sistema de distribuição  
de água utilizando metodologia de balanço

**ITAJUBÁ, 2016**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM**  
**ENGENHARIA DE ENERGIA**

**LUCAS RIBEIRO FORTES**

**ANÁLISE DE SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE**  
**ÁGUA COM A APLICAÇÃO DE BALANÇO**  
**HÍDRICO ENERGÉTICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Energia da Universidade Federal de Itajubá, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Energia.

**Área de Concentração:** Energia e Meio Ambiente - ESMA

**Orientador:** Prof. Dr. Fernando das Graças Braga da Silva

**Agostode 2016**

**Itajubá - MG**

## DEDICATÓRIA

*Aos Familiares e amigos presentes em todos os momentos de minha vida.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a minha família que sempre foi minha base e amparo nos momentos de dúvida e dificuldades.

A esta universidade, seu corpo, direção, administração e funcionários que fizeram possível esta oportunidade de crescimento profissional e pessoal.

Ao meu orientador Fernando das Graças Braga da Silva pelos conhecimentos passados, incentivos e correções.

Aos colegas de trabalho pela companhia e ajuda mútua durante todo o processo de construção deste trabalho.

Ao SAAE da cidade de São Lourenço pelas informações e apoio logístico.

A CAPES pelo apoio financeiro através de bolsa de estudo.

Ao grupo de trabalho REDECOPE / FINEP - Desenvolvimento de tecnologias e procedimentos eficientes para a gestão hidroelétrica em sistemas de abastecimento de água - 983-10. À FINEP pelo grande projeto no qual este estudo é parte e pelo financiamento de equipamentos e viagens e à FAPEMIG pelo apoio a eventos científicos.

Enfim, gostaria de agradecer todos que de alguma maneira contribuíram para a conclusão deste trabalho.

## RESUMO

O abastecimento de água para a população de uma cidade em quantidade que supra a demanda com qualidade e que atenda os parâmetros exigidos é uma tarefa complexa. Levando-se em conta que a demanda por este recurso cresce junto com o aumento da população e sua renda, é necessário que se faça a captação, tratamento e distribuição de água da maneira mais eficiente possível. A perda de água por vazamentos devido ao excesso de pressão é um grande obstáculo no gerenciamento dos sistemas de abastecimento de água. Este trabalho tem como objetivo apresentar o balanço hídrico e energético de um setor do município de São Lourenço - MG, e tem como fronteiras do sistema a estação de bombeamento do setor até sua entrega aos consumidores finais. Os resultados demonstraram coerência e potencialidade de determinação de perdas reais e aparentes de água e energia mesmo apresentando taxas de perdas relativamente elevadas. Desta forma, concluiu-se que ações de caráter técnico, principalmente em termos de operação e investimentos, poderão garantir, através de programas na rede de distribuição, ações que reduziriam o vazamento e rompimento, além de não causar prejuízos aos consumidores e ao abastecimento.

**Palavras-chave:** perdas de água, rede de distribuição de água, sistemas de abastecimento, balanço hídrico, balanço energético.

## ABSTRACT

The water supply for the citizens in quantity that achieve the demand and the guidelines qualities is a hard work. Taking into account demand for this resource grow up together with the populations and revenues increase, it's necessary do the water abstraction, treatment and distribution more efficient possible. The loss of water through leaks due to excess pressure is a major obstacle in the management of water supply systems. This study has objective to present the water and energy balance of a sector's São Lourenço - MG, and has the system boundaries starting in the pump stations until the customer's delivery. The results showed consistency and capability of determining real and apparent loss of water and energy even with relatively high loss rates. Thus, it was concluded that technical character actions, especially in terms of operation and investments, will ensure, through programs in the distribution network, actions to reduce leakages and breakages, and does not cause harm to consumers and to supply.

**Key words:** water losses, water distribution network, supplies systems, hydric balance, energetic balance.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura1- Porcentagem de perda de água por tipo de componente da rede. (Fonte: PNCD, 2003)	19
Figura 2 - Ilustração do balanço hidroenergético proposto por Cabrera <i>et al.</i> (2010)	33
Figura 3	35
Figura 4 - Fase de medições e cálculos	36
Figura 5 - Fase de conclusões	36
Figura 6 - Cidade de São Lourenço com destaque para as áreas estudadas. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2015)	37
Figura 7 - Fluxograma do setor estudado	38
Figura 8 - <i>DATALOGger</i> em teste já ligado a torneira e ao computador.	39
Figura 9 - Sensores do medidor de vazão instalados para teste.	40
Figura 10 - Teste sendo realizado com detalhe para a vazão instantânea.	40
Figura 11- Estação de bombeamento do Vila Nova.	41
Figura 12 - Quadro de comando e proteção do motor	41
Figura 13 - Analisador de energia utilizando as medições.	42
Figura 14 - Instalação do medidor de nível	43
Figura 15 - Conexão do medidor de nível ao Datalogger	43
Figura 16 - Transdutores de pressão na entrada e saída da bomba	44
Figura 17 - Preparação e instalação do medidor ultrassônico	44
Figura 18 - Instalação de um dos <i>DATALOGgers</i> .	45
Figura 19 - <i>DATALOGger</i> instalado e protegido.	45
Figura 20 - Equipamentos instalados na estação de bombeamento Vila Nova	46
Figura 21 - Sensores do medidor de vazão já instalados	46
Figura 22 - Medidor de vazão instalado no Poço de Visita.	47
Figura 23 - Sensores do medidor de vazão instalado no Poço de Visita protegido contra umidade	47

Figura 24 - Pontos medidos com o DGPS. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2015)	48
Figura 25 - Fluxograma de energia aplicado	53
Figura 26 - Pontos de monitoramento de pressão ao longo de sete dias de medição (Fonte: SANTOS, 2016)	57
Figura 28 - Vazões monitoradas na estação elevatória Vila Nova ao longo de sete dias consecutivos	59
Figura 29 - Vazões monitoradas na estação elevatória Vila Nova na quinta feira, 25/09/2014	60
Figura 30 - Vazões da entrada do setor e da EE Vila Nova	60
Figura 31 - Nível do reservatório no dia 25/09/2014	61
Figura 32 - Nível do reservatório Solar dos Lagos ao longo de sete dias de medição	62
Figura 33 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - Nó 105	63
Figura 34 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - Nó 103	64
Figura 35 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - Nó 116	65
Figura 36 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - Nó 115	66
Figura 37- Consumo de água no setor ao longo de um ano	71
Figura 38 - Demanda de potência elétrica ao longo do dia 25/09/2014, quinta feira.	74

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Variação do coeficiente $N_I$ em relação ao tipo de tubulação	23
Tabela 2 - Matriz de balanço hídrico da IWA. (Fonte: Melato, 2010).	50
Tabela 3: Balanço de energia (Fonte: Baseado em Cabrera <i>et al.</i> , 2010)	54
Tabela 4: Variação de pressão (mca) ao longo do dia, dados monitorados por sete dias consecutivos nos bairros Palmela e Vale dos Pinheiros.	67
Tabela 5: Variação de pressão (mca) ao longo do dia, dados monitorados por sete dias consecutivos no bairro Morada da Serra e na entrada do setor.	68
Tabela 6: Dados obtidos para o cálculo da vazão de perdas (método mínimos noturnos)	69
Tabela 8: Balanço Hídrico do setor em estudo em São Lourenço-MG	72
Tabela 9: Balanço de energia do setor em estudo	75

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

ABENDE	Associação Brasileira de Ensaios não Destrutivos
ADM	Administração
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
DGPS	<i>Differential Global Positioning System</i>
EPANET	Simulador Hidráulico - <i>Environmental Protection Agency Software</i>
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
EUA	Estados Unidos da América
FAPEMIG	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
FND	Fator Noite/Dia
Fofo	Ferro fundido
GIS	<i>Geographical Information System</i> (Sistema de Informação Geográfica)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ID	Indicador de Desempenho
IDH	Índice de Desenvolvimento Humano
IPA	Índice de Perda de Água
IWA	<i>International Water Association</i> (Associação Internacional de Água)
MG	Minas Gerais
MMN	Método do Mínimo Noturno (Vazões Mínimas Noturnas)
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
NUMMARH	Núcleo de Modelagem e Simulação em Meio Ambiente e Recursos e Sistemas Hídricos
Pba	Ponta bolsa anel
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PVC	Cloreto de Polivinila
REDECOPE	Rede Cooperativa de Pesquisas
SAA	Sistema de Abastecimento de Água
SAAE	Sistema Autônomo de Água e Esgoto
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SL	São Lourenço
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNIFEI	Universidade Federal de Itajubá

## LISTA DE SÍMBOLOS

B1	Bomba 1
B2	Bomba 2
D	Diâmetro interno da tubulação
DN	Diâmetro nominal
$E_{atr}$	Energia perdida devido a atritos
$E_{bomb}$	Energia das bombas
$E_{dissip}$	Energia dissipada
$E_{ent}$	Energia de entrada
$E_{perd}$	Energia relativa às perdas
$E_{nat}$	Energia natural
$E_{saíd}$	Energia de saída
$E_{usu}$	Energia entregue aos usuários
f	Fator de atrito, obtido através do diagrama de Moody
g	Aceleração da gravidade
$H_p$	Perdas de carga
$\Delta h_i$	Perda de carga de cada trecho do setor
L	Comprimento da tubulação
n	Número de nós do setor
$\eta$	Rendimento do equipamento
$N_1$	Fator adimensional que correlaciona pressão e vazamento
P	Pressão
$P_{i24h}$	Pressão horária ao longo de 24h
$P_{mn}$	Pressão no horário de mínimo noturno
Pot	Potência
Q	Vazão
$Q_1$	Vazão legítima de consumo noturno
$q_i$	Vazão de cada trecho do setor
$Q_{mn}$	Vazão mínima noturna
$Q_{perdas}$	Vazão de perdas reais
t	Tempo
$\Delta t$	Intervalo de tempo
v	Velocidade de escoamento
$\gamma$	Peso específico da água

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	16
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	17
3.2. PERDAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	17
3.3. PERDAS REAIS.....	18
3.4. MÉTODO DOS MÍNIMOS NOTURNOS.....	21
3.5. DETECÇÃO DE PERDAS.....	23
3.6. PERDAS APARENTES.....	24
3.7. SOFTWARES E TECNOLOGIAS PARA MELHORIAS.....	26
3.8. EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA.....	29
3.10. BALANÇO HÍDRICO.....	31
3.11. BALANÇO DE ENERGIA.....	33
4. MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1. ETAPAS DO TRABALHO.....	35
4.2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	37
4.3. CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	39
4.4. TRABALHOS DE CAMPO.....	40
4.5. DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO BALANÇO HÍDRICO.....	49
4.6. BALANÇO ENERGÉTICO.....	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56

5.1 VAZÃO MONITORADA .....	58
5.2 NÍVEIS DOS RESERVATÓRIOS .....	61
5.3. PRESSÕES MONITORADAS .....	63
5.4 PERDAS REAIS ESTIMADAS PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS NOTURNOS .....	69
5.5 BALANÇO HÍDRICO .....	70
5.6 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS ELÉTRICOS.....	73
5.7 CONSUMO E BALANÇO DE ENERGIA .....	74
6 CONCLUSÕES .....	77
7 RECOMENDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS .....	78
8 REFERÊNCIAS .....	79

## 1. INTRODUÇÃO

O acesso à água não é somente um direito, mas também um recurso vital ao ser humano. Seu fornecimento está relacionado com aspectos ambientais, econômicos, sociais e também políticos. Sua importância é facilmente compreendida quando avalia-se a estreita ligação com a manutenção da saúde de seus consumidores, além do bem estar físico, mental e social.

Com o aumento da população global e conseqüente urbanização após a industrialização, os centros urbanos vêm se tornando cada vez maiores e densos, gerando uma demanda crescente para o abastecimento de água.

De posse destas informações e sabendo que a água para consumo é um recurso finito e que gera um grande custo financeiro e energético para dispormos deste produto em condições adequadas, é necessário que se faça a captação, tratamento e distribuição da maneira mais eficiente possível.

Porém, a perda de água existente desde a captação até o consumidor final ainda é muito grande. Existe praticamente com consenso nas fontes de pesquisa que as perdas no Brasil podem chegar a 40%. As causas para essa enorme perda são muito variadas e para melhorar a eficiência é necessário um estudo específico para cada setor e/ou cidade devido às particularidades de cada região.

Muitas variáveis são responsáveis pelas perdas de água nos sistemas de abastecimento como: excesso de pressão, idade da tubulação, profundidade da tubulação, tipo de tráfego na via sob a tubulação, material utilizado, etc.

Como principais métodos para reduzir-se as perdas, pode-se citar a medição zoneada, a gestão de pressão, a localização de fugas, a reparação do sistema e também o balanço hídrico.

O balanço hídrico é uma metodologia muito difundida e que tem grande aceitação para estudos em redes de distribuição de água em vários países. Este método consiste em medir e/ou estimar todas as entradas e saídas de água em um volume de controle previamente estipulado. Se bem feito, é uma poderosa ferramenta para avaliar a eficiência do sistema e quais são os pontos críticos a serem melhorados.

Neste trabalho foi utilizado o método do balanço hídrico devido a sua facilidade de aplicação e a quantidade de referências bibliográficas existentes sobre este método.

A região de estudo é um setor isolado da cidade de São Lourenço – MG, combairros totalmente residenciais e com alta diferença de cotas altimétricas (região montanhosa).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1.OBJETIVO GERAL**

O objetivo geral deste trabalho é estudar a aplicação do método do balanço hídrico e energético em um setor isolado da rede de distribuição de água da cidade de São Lourenço – MG.

### **2.2.OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Pode-se também dividir o objetivo deste trabalho em objetivos específicos que são:

- Caracterizar a área de estudo e do setor em questão;
- Realizar campanha de campo para obtenção de parâmetros necessários para o estudo: pressão, vazão, cota;
- Avaliar as perdas reais e aparentes do setor.
- Avaliar a aplicação e adaptação de metodologias para balanço hídrico e energético.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1.SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Segundo Porto (2006) um sistema de distribuição de água tem a finalidade de atender a população em qualidade e quantidade suficientes, destacando as pressões e vazões convenientes aos diversos pontos de consumo do sistema. Definido então como um conjunto de equipamentos dentre eles, tubulações, acessórios, reservatórios, etc.

Atualmente, as redes de distribuição de água são planejadas para suprir atuais e futuros picos de demanda. Isso gera pressões excessivas que danificam a rede e causam vazamentos. Porém, quando se estipula a pressão mínima de saída para abastecimento de todo o sistema, tem-se uma redução notável nos danos causados tubulações devida a alta pressão, o que reduz bastante as perdas reais (VINCIGUERA, 2009).

#### **3.2 PERDAS NO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Ao longo dos anos e com o aumento da população global, os centros urbanos se tornaram cada vez maiores e densos, aumentando a demanda para o abastecimento de água. Devido à expansão das redes, muitas vezes feitas sem o devido planejamento, os resultados são redes com grandes problemas de controle, e altas taxas de perdas.

O desperdício de água (estimado em aproximadamente 39,8% de acordo com dados do SNIS, 2013) é um grande problema, e umas das maneiras de minimizá-lo é a redução de desperdício por parte dos consumidores, assim como também, a redução de perdas no sistema.

As perdas são divididas em duas categorias, reais e aparentes, sendo que as reais são as perdas que ocorrem basicamente através de vazamentos, e as aparentes, aquele volume de água que é consumido, porém não medido e faturado pela distribuidora.

Há uma grande preocupação das companhias de saneamento, conforme Nazaré & Souza (2011), na busca pela implantação de processos gerenciais e operacionais mais eficientes e precisos. Estes auxiliam os gestores das companhias de saneamento nas tomadas de decisões que podem minimizar as perdas de faturamento, vinculadas tanto

às perdas reais de água quanto às perdas aparentes advindas da fragilidade administrativa dos métodos gerenciais e das ingerências políticas a que essas companhias estão normalmente sujeitas.

Segundo Miranda (2010), uma das soluções seria realizar os procedimentos por setorização de sistemas de distribuição de água e gestão de perda de água que, embora não permita diretamente o controle de perdas, são cruciais no que concerne à sua detecção, caracterização e distribuição espacial. Na prática, a setorização baseia-se em procedimentos mais ou menos empíricos, ou em experiências de campo limitadas, para a qual nem sempre é possível encontrar a solução mais adequada.

Recentemente têm surgido algumas metodologias direcionadas especificamente para a setorização de sistemas de distribuição de água, que permitem analisar um número bastante alargado de soluções admissíveis e, assim, aumentar a probabilidade de encontrar a melhor solução para a setorização de um determinado sistema. Porém, verifica-se que este assunto é relativamente recente, visto que mais estudos sobre isso devem e deverão surgir em breve.

### **3.3 PERDAS REAIS**

O PNCDA (2003) mostrou os resultados de um estudo no qual é especificado em qual local da rede de distribuição é perdida a água tratada em termos percentuais de água total, como mostra aFigura1.

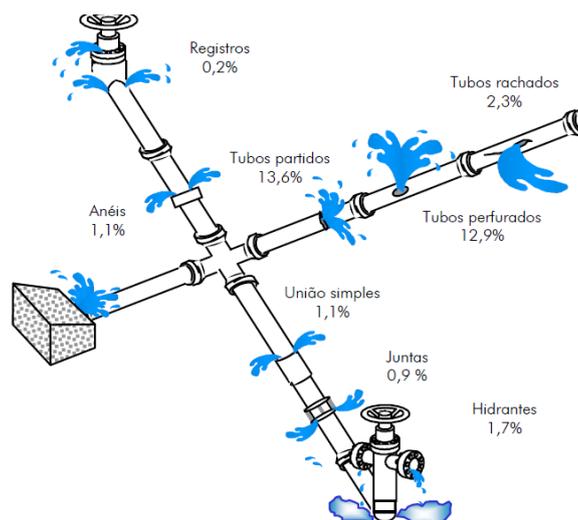


Figura1- Porcentagem de perda de água por tipo de componente da rede. (Fonte: PNCDA, 2003)

Uma das maneiras de se estudar o perfil de perdas nestes sistemas é aplicando um balanço hídrico energético, no qual se define o volume de controle a ser estudado e computam-se todas as entradas e saídas de água e energia envolvidas no sistema a fim de se diagnosticar onde estão as perdas mais expressivas.

Para a redução das perdas reais, o estudo de Melato (2010) propõe 4 ações que devem ser executadas simultaneamente, para que se atinja o nível máximo de eficiência das redes, sendo que estas ações são: controle de pressão, gerenciamento da infraestrutura, agilidade e qualidade dos reparos e controle ativo de vazamentos.

O controle de pressão visa adequar as pressões de uma rede para o menor valor possível e estável, porém mantendo o bom funcionamento. As soluções mais utilizadas são a instalação de válvulas redutoras de pressão, chamadas de VRP, para diminuir a pressão das redes, e a correta instalação de *boosters*, que permitem elevar as pressões nos pontos mais altos, sem elevá-las em uma grande extensão da rede.

O controle ativo de vazamentos consiste em detectar o vazamento antes de aflorar através da pesquisa acústica de vazamentos não visíveis, sendo que a eficiência do processo dependerá da frequência dessas pesquisas. Quando o vazamento é detectado, deve ser rapidamente tratado para que cesse, e evitar a reincidência e retrabalho.

Para que o controle de perdas e vazamentos possa realmente funcionar e ser eficaz, é fundamental um eficiente gerenciamento da infra-estrutura, através do conhecimento da rede, possibilitando o direcionamento de cuidados onde é realmente necessário, a fim de otimizar as ações da rede.

Para se reduzir as perdas de água, Fonseca (2011) apresentou um método onde primeiro divide-se as redes em setores que são chamados de zonas pitométricas e depois se realiza a diminuição da pressão hídrica no sistema para que a pressão esteja o mais baixa possível, mas ainda suficiente para fazer com que a água chegue com qualidade para todos os clientes, facilitando o controle efetivo das vazões de água em toda a extensão da rede.

Em alguns lugares, os gestores resistem à implantação da técnica, pois ela exige estudos, e por vezes, substanciais investimentos. Como algumas redes são muito grandes, a supervisão remota, autonomia e redundância automática dos dispositivos que as compõem se tornam imprescindíveis para os sistemas de controle, possibilitando gerenciamento com reduzida intervenção humana e contenção automática dos eventuais defeitos que venham aparecer.

A automação do processo consiste em basicamente coletar, concentrar e analisar as informações do processo com o uso das tecnologias de informação. Com as informações coletadas, criam-se parâmetros que inseridos nos dispositivos, possibilitam ao sistema agir de forma autônoma.

Dentre os benefícios de se dividir o sistema em zonas pitométricas, está o domínio sobre o consumo de cada zona de forma individual, facilitando seu controle, e possibilitando um acompanhamento mais próximo e eficaz. Fornece também uma maior flexibilidade no direcionamento dos recursos hídricos para áreas que apresentem pressões abaixo do demandado para o seu abastecimento ou de regiões que apresentem pressões acima do necessário.

Também, possibilita aos gestores uma visão mais estruturada, sistêmica e organizada da rede de abastecimento e dos seus componentes, ajudando em se ter uma maior rapidez no descobrimento das necessidades de intervenção no sistema, por meio da rápida detecção de rompimento ou obstrução de linhas de abastecimento.

Assim, tem-se a economia de recursos financeiros com a minimização dos danos causados pelas perdas hídricas e usos excedentes indicados pelo levantamento do perfil de consumo de cada setor.

Stokes *et al.* (2013), através de seu estudo realizado na Escócia, analisou o ciclo de vida do uso da energia e as emissões através do gerenciamento das zonas de pressão em três cidades, com a finalidade de reduzir os custos e aumentar a eficiência dos sistemas de distribuição de água. Foi comparada a economia de água utilizando saídas pré-determinadas e controle da pressão para medir o desempenho do sistema considerando a eletricidade embutida e o consumo de materiais químicos para a quantidade de água perdida. Os resultados mostraram economias significantes. Para duas das cidades estudadas, estimou-se uma economia de 130 milhões de litros de água anualmente, devido à utilização de válvulas moduladoras de pressão. A energia economizada pode ser relacionada a menos emissões de gases de efeito estufa, sendo considerada uma significativa característica nos tempos atuais.

### 3.3.1 MÉTODO DOS MÍNIMOS NOTURNOS

Dentre as diversas metodologias utilizadas para determinação de perdas reais, pode-se destacar a metodologia da vazão mínima noturna ou método dos mínimos noturnos, por ser muito conhecida e utilizada no meio científico, pois consiste em realizar medições durante a madrugada (período de consumo nulo ou consumo mínimo). Com os valores de consumo mínimo disponíveis, são subtraídos deste montante os consumos legítimos estimados, por exemplo, indústrias ou hospitais que funcionem durante a madrugada. Para um resultado mais preciso, é necessário aplicar um fator de correção nas vazões obtidas durante a madrugada, chamado Fator Noite-Dia (FND), calculado com base na variação de pressão ao longo do dia.

De acordo com Cheung *et al.* (2009), as perdas reais (vazamentos) podem ser obtidas pela multiplicação da vazão mínima noturna pelo número de horas do dia (24h), considerando a correção através do FND, conforme apresentado na sequência de equações. A Equação 1 expressa as vazões de perdas.

$$Q_{perdas} = (Q_{mn} - Q_l). FND$$

Equação 1

Onde:

$Q_{perdas}$  = Vazão de Perdas Reais (m<sup>3</sup>/dia);

$Q_{mn}$  = Vazão Mínima Noturna (m<sup>3</sup>/h);

$Q_l$  = Vazão Legítima de Consumo Noturno (m<sup>3</sup>/h);

$FND$  = Fator Noite-Dia (h/dia).

Para calcular o  $FND$ , é necessário determinar o somatório de pressão ao longo do dia e dividi-los pelas pressões durante o horário de consumo mínimo noturno, apresentado a seguir.

$$FND = \sum \left( \frac{P_{i24h}}{P_{mn}} \right)^{N_1}$$

Equação 2

Onde:

$FND$  = Fator Noite-Dia (h/dia);

$P_{i24h}$  = Pressões horárias ao longo de 24 horas (mca);

$P_{mn}$  = Pressões no horário de mínimo noturno (mca);

$N_1$  = Fator adimensional, que correlaciona pressão e vazamento e varia de acordo com o tipo de material da tubulação.

De acordo com Gonçalves & Lima (2007 apud ANDRADE, 2016), os valores de  $N_1$  podem variar de 0,5 a 1,5, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Variação do coeficiente  $N_I$  em relação ao tipo de tubulação

$N_I$	Características
0,5	Seção do tubo não se altera com vazamentos (ex: ferro fundido e aço)
1,0	Avaliação simplificada (ex: na redução de 1% na pressão de um sistema, haverá redução de 1% no vazamento)
1,15	Condições gerais da rede de distribuição de água composta de diferentes materiais (ferro fundido, PVC, aço, PEAD, etc)
1,5	Seção do tubo se altera com vazamentos (ex: PVC e PEAD)

Fonte: Baseado em Gonçalves & Lima, 2007 apud Andrade, 2016

### 3.3.2 DETECÇÃO DE PERDAS

Zaniboni (2009) apresenta os principais equipamentos utilizados na detecção acústica de vazamentos não visíveis, as vantagens e desvantagens de cada um, ajudando assim gestores a escolher o melhor para seu problema. Os procedimentos da ABENDE (Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos) para a detecção dos vazamentos não visíveis permitem observar que a produtividade e a eficiência sofreram uma melhoria em índice de acertos. Este trabalho permitiu um melhor planejamento dos responsáveis pelos vazamentos, aumentando a qualidade e diminuindo o custo. Então foi possível concluir que o sucesso de localização dos vazamentos é melhor quando se utiliza a metodologia adequada. Os equipamentos devem ser criteriosamente avaliados para o objetivo. As tecnologias não acústicas devem ser utilizadas com bastante critério, pois são de alto custo e difícil aplicação. Quanto mais os responsáveis souberem sobre os equipamentos e as metodologias existentes, melhor será o resultado e o sucesso da operação.

Com o objetivo de reduzir o tempo de detecção, caracterização e distribuição espacial das perdas de água, Sempewoet *al.* (2008) propuseram uma nova abordagem para setorizar sistemas de distribuição de água, baseada na teoria dos grafos e no princípio da computação distribuída usada na programação paralela – diferentes

processadores representam diferentes setores da rede. A dimensão de cada sector baseia-se no comprimento, consumo ou pressão dentro de cada setor da rede. No entanto, este processo é sensível ao número de setores criados, à topologia e complexidade da rede e ao algoritmo usado para repartição do esforço computacional (programação paralela).

Com relação à análise de vazamentos em sistemas hidráulicos, Gamboa-Medina & Reis (2011) citam que diversos trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos na procura de formas de detecção e localização de vazamentos com o suporte da modelagem hidráulica associada à coleta de informações que podem ser medidas na rede automaticamente, em particular de vazões e pressões. Essa abordagem tem várias linhas de pesquisa com resultados parciais positivos e promissores, mas a sua implantação efetiva apresenta dificuldades devido, em parte, as limitações que a envolvem.

### **3.4 PERDAS APARENTES**

Muitas vezes, apesar das entidades de distribuição disporem de excelentes ferramentas para a medição, estas não conseguem explorá-las devidamente, seja por um medidor não desempenhar sua função corretamente, ou mesmo desempenhando e sua leitura não sendo recolhida, forçando assim com que se recorra a métodos de estimativas, e a precisão destes métodos também contribuem para a eficácia ou não das medições.

Os primeiros aparelhos de medição e vazão para micromedição se baseavam no conceito de contar quantas vezes um recipiente de volume previamente conhecido era preenchido. Apesar da evolução tecnológica, ainda existem várias barreiras que fazem com que os medidores instalados no consumidor final ainda não sejam aqueles que usam a mais avançada tecnologia de medição, fazendo com que se não conheçam bem os medidores de cada parte do sistema de distribuição, para que se possam combater as perdas aparentes com maior eficácia.

É importante que se atente para a idade de um medidor, e também, saber o momento em que este deve ser substituído por um modelo mais avançado, pois as

perdas que se evitam com isto, podem pagar o investimento realizado obtendo-se os novos aparelhos.

Com estes cuidados, é possível resolver e diminuir a parcela das perdas aparentes referentes a erros de medição, porém ainda restam os erros humanos e o consumo não autorizado. Para a redução de erros humanos, é importante que as distribuidoras tenham cuidado especial com os leitores dos medidores, fornecendo treinamento técnico, de modo a capacitá-los a fazer as leituras da maneira mais correta possível, além de motivá-los, já que seu desempenho tem um impacto direto nas finanças da empresa. É importante também a implantação de metodologias de trabalho, como por exemplo, manter os leitores geralmente em apenas uma área, onde estes passarão a conhecer os melhores percursos e também os clientes o que facilita o acesso às leituras, e comunicação sobre qualquer problema.

De acordo com Malheiro (2011), para combater o consumo não autorizado, onde os consumidores fazem ligações nas tubulações antes que estes passem pelo medidor, pode se retirar o medidor após ser fechado o abastecimento, e se houver retorno de água, medir a pressão e verificar se esta se encontra no nível da pressão da rede. Também pode obstruir o medidor e verificar se irá faltar água, caso não falte, confirma-se a eficiência da obstrução, e caso realmente deveria ter isolado a rede, porém a água continua sendo fornecida, confirma-se a existência de fraude.

Porém, existem casos em que a dificuldade em exercer a leitura é tão grande, que esta pode levar até mais de um ano para ser feita, deixando a gestão da rede sem a menor percepção do consumo do cliente. Um método de lidar com estas situações é a telemedição, que possibilita conhecer as leituras a cada instante e que se devidamente analisada, pode tornar-se útil das mais variadas formas, como possibilitando a detecção de irregularidades, o balanço hídrico da rede, faturamento de consumos reais do cliente.

A telemedição é constituída de quatro elementos principais. O primeiro é a unidade local que faz a coleta das leituras, o seu registro e a transmissão. Esta unidade é formada pelo medidor, por um emissor de impulsos e por um módulo de comunicação remota. Outra unidade, que poderá designar-se de intermédia, é composta por um concentrador-totalizador que recebe as leituras de um conjunto de medidores, armazena-as e transmite-as para a unidade remota de processamento de dados com uma frequência pré-definida. A terceira unidade é destinada a recolher e processar os dados. É

conveniente que esteja integrada no sistema de faturamento e gestão de clientes. É chamada de unidade remota. O sistema de comunicações, que constitui o quarto elemento do sistema, é responsável pela transmissão de dados em diferentes momentos. Primeiramente entre a unidade local e o concentrador, numa segunda fase faz-se do concentrador para a unidade remota de obtenção e processamento de dados (MALHEIRO, 2011).

Ainda segundo Malheiro (2011), a telemedição surge então como uma solução para combater o consumo não autorizado, e evitar erros humanos, já que automatiza o problema de leituras, e facilita em monitorar a rede com seus mais diversos tipos de consumidores. Apesar dos seus benefícios, é uma tecnologia ainda não muito utilizada, e que ainda tem um longo caminho a ser percorrido, não apenas na implantação da telemedição de maneira mais abrangente, como também fazer um uso total de todas suas possibilidades.

### **3.5 TECNOLOGIAS DE MONITORAMENTO**

Rocha, et al. (2011) descrevem o EPANET como um programa de uso livre (desenvolvido pela U.S. Environmental Protection Agency (USEPA), dos Estados Unidos da América) e robusto, porém bastante eficaz e utilizado em projetos de redes de distribuição de água. Sendo assim, é capaz de promover a fusão das rotinas de otimização e do cálculo hidráulico pelo fato de ser incorporado a outros programas, adaptando-se assim às necessidades do usuário. Para que isto ocorra, deve-se dispor das rotinas de cálculo presentes em uma biblioteca (Epanet2.dll) que são adaptadas para a implantação de programas específicos. Outras vantagens do uso do EPANET são: flexibilidade quanto às alterações de consumo e mudanças de níveis do reservatório.

Lamoglia et al. (2011) utilizou o software EPANET com o objetivo de avaliação hidráulica da rede de distribuição de água na cidade de Passos-MG, obtendo valores de pressão nos nós e vazão nos trechos. Em linhas gerais dos trabalhos que utilizam o EPANET, o domínio desta ferramenta está incluso dentre os itens aplicados no desenvolvimento.

Odan (2013) realizou um estudo sobre a confiabilidade aplicado à otimização da operação de sistemas de abastecimento de água em tempo real no qual se almeja a utilização de técnicas que considerem as incertezas inerentes a um SAA real. Para tal utilizou-se um previsor de demandas futuras e também o EPANET como simulador hidráulico. O modelo desenvolvido foi aplicado em 3 setores de abastecimento diferente, os quais foram calibrados através de dados de vazão e pressão coletados em campanhas de campo. Os resultados mostraram que as estratégias sugeridas pelo modelo comparadas com as já praticadas pelo sistema autônomo de abastecimento, geraram reduções no custo com energia elétrica na ordem de 14 a 30% para todos os setores estudados.

Com aumento das exigências, tanto no quesito de legislação quanto do cliente, e a necessidade da redução de custos, o Sistema Municipal de Água e Saneamento de Albergaria Velha (Portugal) se viu obrigado a investir em um sistema de monitoramento e controle remoto das infra-estruturas existentes. Foram desenvolvidos 3 projetos: o primeiro um projeto elétrico para controle das unidades remotas; o segundo um software de controle, supervisão e aquisição de dados; e o último a ligação dos dois primeiros utilizando comunicações móveis. A implantação de um sistema de telegestão possibilitou monitorar e controlar, remotamente, as principais instalações do sistema, permitindo uma melhor qualidade do serviço prestado e uma maior eficiência na gestão técnico-operacional, econômica e estatística de tais sistemas. Melhorando a gestão econômica, melhora também a rentabilidade, a otimização dos recursos humanos e também a gestão estatística que fornece indicações sobre o tempo de uso de cada equipamento e a necessidade de remodelação e ampliação de zonas específicas. O desenvolvimento deste projeto permitiu aumentar a capacidade das captações: 57% em São João de Loure, 21% na Captação de Rendo e 32% na Captação do Sorrego (CUNHA et al., 2007).

Quevedo et al.(2011) apresenta uma metodologia para detectar e reconstruir dados de vazão, que foram perdidos ou calculados erroneamente. A metodologia é baseada em dois modelos, um modelo baseado em uma medição diária e outra de 10 em 10 minutos, ambos baseados no algoritmo chamado LAMDA. Em uma rede complexa, como por exemplo, a de Barcelona, um sistema de telecomando deve receber,armazenare validar muitos dados de medidores de vazões. Os resultados do modelo diário foram considerados satisfatórios, pois a porcentagem de erro entre o valor

real e o estimado foi de apenas 5%. Os resultados obtidos pelo modelo de 10 minutos, que é baseado a cada 10 minutos uma previsão de vazão diária, a margem de erro para esse modelo foi menor do que 5%.

Outras ferramentas bastante usadas para reduzir as perdas em redes de distribuição de água são os algoritmos genéticos. Os algoritmos genéticos são considerados uma ótima técnica de otimização de sistema de abastecimento de água, sendo capazes de encontrar, a ótimos custos, soluções para os atuais problemas encontrados.

Santos (2016) realizou simulações com algoritmos genéticos (implantados no FORTRAN) e aplicações utilizando o EPANET na mesma rede de estudo de São Lourenço-MG, obtendo coeficientes de perdas e simulações do setor que refletem a realidade do sistema. Alguns dados simulados por Santos (2016) foram utilizados neste trabalho, como a rugosidade e vazão dos trechos.

O trabalho de KedwelleKhu (2004) propõe um método, conhecido como CANDGA, que utiliza algoritmos genéticos como ferramentas para melhorar os valores gerados. O tempo reduzido para otimizar redes de água é uma das vantagens da utilização deste algoritmo, assim como permitir os testes em modelos considerados muito complexos. Este método se mostrou muito eficaz nos testes realizados, além de ter sido considerado uma opção barata e com grande potencial.

Sitzenfrei *et al.* (2013), apresentou um novo algoritmo que otimiza o funcionamento dos sistemas de distribuição de água através de softwares do tipo GIS, utilizando como dados de entrada a densidade populacional, a densidade de residências e a elevação. Este tipo de algoritmo soluciona dois grandes problemas nos SAA, o elevado custo e o tempo necessário para tal. Este estudo mostrou que os resultados gerados pelos algoritmos são muito similares aos sistemas reais em termos de desempenho hidráulico e propriedades da rede. Entretanto, elementos como válvulas e bombas não estão inclusas neste estudo. Este estudo pode ser bastante útil para estimar os custos de construção e planejamento de novos sistemas de distribuição de água com diferentes cenários de crescimento populacional e diferentes estratégias de expansão em corredores de crescimento.

### **3.6 EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA**

Associado em paralelo à perda de água temos também a perda de energia que é utilizada em todo o processo como bombeamento, fabricação de produtos químicos e combustíveis utilizados nos automóveis para reparo de vazamentos.

Os custos de energia consumida por estes sistemas de distribuição de água, em conjunto com os custos de pessoal, tendem a ser uma das parcelas mais representativas dos custos de operação dos sistemas de abastecimento de água. Por esta razão, o uso eficiente da energia é crítico para a eficiência econômica global das entidades gestoras. Além disso, assume uma relevância cada vez maior em termos ambientais. Devem ser implementadas soluções de projeto e de operação que reduzam as perdas de energia, atenuem os picos de consumo e minimizem as emissões de poluentes para o meio ambiente (ALEGRE, COELHO e LOUREIRO, 2006).

Os consumos de energia relacionados à captação, tratamento e adução da água implicam em uma enorme quantidade de custos. Quanto se trata de perda de água em escala global este montante gira em torno de 30% do valor total mensurado, sugerindo que uma quantidade similar de energia também pode ser perdida. Múltiplos fatores contribuem para essas perdas de energia no setor como: ineficientes estações de bombeamento, projetos pobres de sistema de distribuição, instalação e manutenção, estratégias de operação ineficientes, tubulações antigas com perdas de carga, gargalos nas redes, pressões excessivas, entre outros (COELHO e CAMPOS, 2014).

A ineficiência dos sistemas em geral é explicada por duas razões:

- Os custos de investimentos para a redução das perdas não parecem atrativos para os gerenciadores das redes, visto que os gastos decorrentes das perdas, são cobrados na conta de água;
- Na maioria dos casos, os desperdícios só acontecem onde existem com abundancia tanto água como energia e por isso acabam não sendo, de maneira errônea, tratados como prioridades.

Além das perdas de água, desperdício com o dinheiro gasto no tratamento, a redução do consumo elétrico envolvido no processo é uma das principais preocupações. Desta forma, Nazaré & Souza (2011) afirmam:

“Mais de 90% dos gastos de uma empresa de saneamento devem-se ao consumo elétrico das estações elevatórias, motivo pelo qual as ações de efficientização nessas empresas estão quase sempre focadas na redução do consumo energético mantendo o atendimento pleno da demanda”. (NAZARÉ e SOUZA, 2011)

Ramos *et al.* (2011) propuseram, em seu estudo, três práticas e soluções de gerenciamento ambientalmente mais amigáveis, com o propósito de economizar energia nos sistemas de abastecimento de água. A primeira destas consiste na instalação de turbinas nas tubulações com o intuito de controlar a pressão na tubulação e também gerar energia elétrica. A segunda solução é a otimização da escala operacional das bombas considerando as tarifas de energia elétrica e a demanda de água padrão. Por último, o estudo propõe que seja usada energia gerada através do vento, através de um sistema híbrido com energia elétrica tradicional, para a alimentação das bombas nas estações de tratamento e distribuição de água. Este estudo concluiu que ao usar estas três tecnologias combinadas pode resultar em uma redução significativa de energia, além de menos emissões de CO<sub>2</sub>, deixando os sistemas de abastecimento de água menos dependentes de energias geradas a partir de combustíveis fósseis.

### **3.7 INDICADORES DE DESEMPENHO**

De acordo Alegre *et al.* (2004), os indicadores de desempenho (ID) para serviços de abastecimento de água constituem um instrumento de uso comum em muitos setores das companhias de distribuição de água. A IWA (International Water Association) especifica vários grupos de indicadores, separados por afinidades e utilizados para diversos fins. São considerados um total de 158 indicadores, incluindo Indicadores de recursos hídricos, indicadores de recursos humanos, indicadores de infra-estrutura, indicadores operacionais, indicadores de qualidade de serviço, indicadores econômicos financeiros, dentre outros.

Outra fonte de dados atual sobre indicadores é o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), que apresenta uma grade extensa de informações e indicadores capazes de possibilitar uma visão abrangente, de forma a se obter avaliações sobre o desempenho dos serviços em todo o país.

Os Planos Municipais de Saneamento são fontes de dados riquíssimas para o abastecimento dos indicadores nacionais de desempenho, disponibilizados no SNIS. O objetivo dos planos é acompanhar a ampliação progressiva dos serviços de saneamento básico e avaliar a atual condição dos municípios brasileiros.

Vale ressaltar que um indicador isolado não é suficiente para apontar um problema ou falha na rede de distribuição de água. Para ter uma noção mais precisa do sistema, é necessária a combinação de diversos indicadores e dados históricos para, a partir disso, efetuar o diagnóstico, prognóstico e planejamento futuro do contexto.

### 3.8 BALANÇO HÍDRICO

O balanço hídrico é um método muito utilizado mundialmente para a determinação das perdas de água em redes de distribuição de água. A “*International Water Association*”- IWA é uma associação que busca a padronização das nomenclaturas, conceitos e métodos para todo o mundo a fim facilitar a troca de informação entre diferentes estudos da área. A metodologia da IWA é uma referência internacional sobre o assunto. Muitos trabalhos encontrados na literatura tratam de aplicações desta sistemática em estudos de casos, por isso limitou-se a apresentá-la e detalhar nos materiais e métodos.

Melato (2010) sugere que o balanço hídrico consiste em uma maneira estruturada de avaliar e mensurar os fluxos usos e perdas de água em um sistema. É uma ferramenta poderosa de gestão, pois pode gerar diversos indicadores de desempenho para o acompanhamento das ações técnicas, operacionais e empresariais.

O método utilizado neste estudo é conhecido como *top-down*, pois consiste em avaliar o sistema através da água que entra no sistema menos o volume que é consumido. Todas as perdas são estimadas através de hipóteses e/ou métodos específicos geralmente obtidos ou adaptados da bibliografia existente. É recomendado utilizar o período de um ano para avaliar os volumes.

Alegre, Coelho e Loureiro (2006) analisaram que um balanço hídrico é fundamental para a avaliação de perda de água, ele requer estimativas dos volumes de água em cada ponto de controle de vazão. Sempre que possível deve-se recorrer a medidores calibrados e na sua ausência, será necessário utilizar estimativas baseadas em outros dados disponíveis ou aplicar outras de técnicas de engenharia viáveis.

Santos e Pereira (2010) definem o balanço hídrico como uma forma estruturada de avaliar os componentes dos usos da água e seus valores absolutos e relativos, além de proporcionar o estabelecimento de diversos indicadores de desempenho.

O balanço hídrico é importante nas determinações de perdas reais, faturamento, identificação dos grupos predominantes dessas perdas, como ligações clandestinas, vazamentos, uso excessivo de água de serviço. A associação dessas informações permite que o gestor analise o desempenho do sistema, percebendo as fragilidades e tendo embasamento para as suas decisões (CONDURÚ e PEREIRA, 2010).

Cheung *et al.* (2010) cita o balanço hídrico como uma das ferramentas para o desenvolvimento de uma estratégia para controle de perdas. O balanço hídrico faz parte de uma das etapas como solução para definir o quanto está sendo perdido através de metodologias de pitometria e técnicas para estimação de perdas, procedimentos de calibração de medidores, verificação contínua de medidores e melhoria nos procedimentos de leitura. No mesmo trabalho ainda apresenta-se um exemplo de balanço hídrico e aplicação da metodologia da IWA no setor piloto do sistema de distribuição de água do município de Campo Grande, MS. Os dados obtidos no balanço hídrico revelaram que o sistema de estudo apresentou um índice de perda real na distribuição de aproximadamente 59%.

Vicentini (2012) elaborou o passo a passo dos balanços hídricos de três setores de abastecimento da região metropolitana de São Paulo, distintos entre si. Devido à dificuldade de medição e obtenção de alguns dados, foram utilizadas estimativas baseadas em bibliografia existente. Foram comparados os três estudos e apontados pontos de melhorias.

No Brasil, algumas adequações são necessárias para a aplicação do balanço hídrico, visto não haver distinção entre volumes consumidos e volumes faturados. Na maioria dos casos estes volumes são diferentes, principalmente nas faixas de consumo mínimo, onde a tarifa mínima pode corresponder a um volume normalmente não consumido na íntegra (PNCDA, 2003).

Alegre *et al.* (2005) apresentou alguns casos reais de aplicação de balanço hídrico em Portugal. Os autores alertaram que os casos de estudo apresentados não pretenderam cobrir o universo de entidades portuguesas com atividade nesta área, apenas foram resultados de um convite. Os casos citados foram dos seguintes locais: Cascais, Gaia, Lisboa, Mafram, Oeiras e Santo Tirso.

### 3.9 BALANÇO DE ENERGIA

O estudo de Cabrera *et al.* (2010) é um exemplo de metodologia para aplicação de balanço de energia em um sistema de abastecimento de água no qual é utilizada a equação integral da energia aplicada a um volume de controle com quantidades conhecidas de água e energia que flui através de suas fronteiras. Então, é resolvido o balanço energético e o modelo matemático de um sistema. Os seus limites definem quais elementos são externos (contribuindo para o fluxo de energia) ou internos (armazenando ou dissipando energia). Para ilustrar a diferença entre elementos internos e externos, é apresentada a Figura 2 que inclui ambos os tipos de elementos, um reservatório externo e um tanque de regulamento interno. As bombas são elementos externos, proporcionando trabalho do eixo, enquanto ligações de serviço e vazamentos representam a superfície do sistema de controle de saída. O modelo matemático é necessário para quantificar os fluxos de energia (inerentes aos fluxos de água) através dos limites.

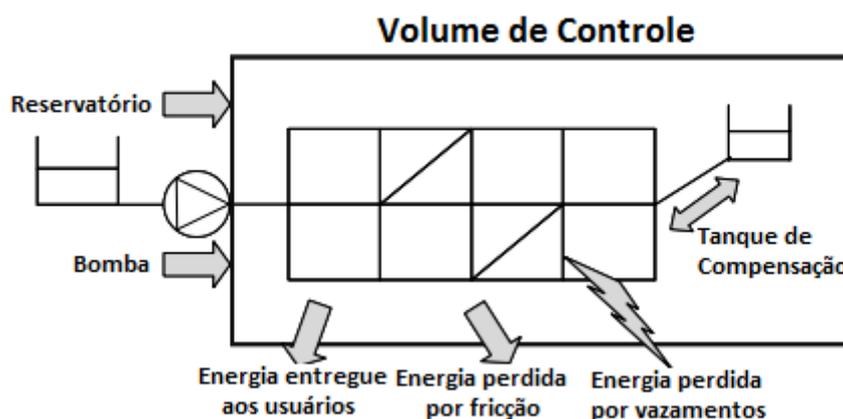


Figura 2 - Ilustração do balanço hidroenergético proposto por Cabrera *et al.* (2010)

Vilanova *et al.* (2010) realizou um balanço hídrico simplificado, considerando o volume macromedido nas captações e os volumes consumidos micromedidos. A subtração destes volumes forneceu o volume de água perdido, que multiplicado pelo consumo específico ( $\text{kWh/m}^3$ ), foram obtidas as perdas energéticas decorrentes das perdas de água.

Hernández *et al.* (2010) executaram a primeira aplicação de balanço energético em uma rede real de água, utilizando a metodologia de Cabrera *et al.* (2010). Foi realizado um estudo de caso para avaliar a rede a partir de um ponto de vista energético. A rede de abastecimento avaliada pertence à cidade de Denia (Alicante, Espanha) e zonas circundantes, cidade turística montanhosa na costa do Mediterrâneo a leste da Espanha, com aproximadamente 100.000 pessoas, que passam por escassez de água e elevado consumo de energia. Como resultados, obtiveram elevados valores de perdas de energia devido a fugas (em torno de 16%) e devido a atritos (em torno de 46%), além de obter esclarecimentos sobre a relação entre água e energia.

Como mencionado acima, a metodologia de Cabrera *et al.* (2010) ainda é recente e pouco aplicada na prática. Normalmente e na maioria dos casos práticos, o balanço de energia é realizado baseando-se nos dados do balanço hídrico, conforme realizado por Vilanova *et al.* (2010). O grande desafio é desenvolver e aplicar uma metodologia que possa aferir o comportamento de energia em redes de distribuição de água que sejam compatíveis com a realidade.

Andrade (2016) também aplicou a metodologia aqui citada, baseada em Cabrera *et al.* (2010), porém no município de Cambuí-MG, utilizando dados reais e estimativas. Os valores encontrados relativos às perdas de energia foram de 27,6%, a energia entregue aos usuários foi de 69,6% e a energia perdida devido a atritos foi de 2,8%.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 ETAPAS DO TRABALHO

Para melhor visualizarmos e desenvolvimento do projeto, este foi dividido em 3 fases. A primeira fase pode ser chamada de fase de planejamento onde foi escolhida a área de estudo, feito contato com o SAAE do município e fez-se treinamento para uso dos equipamentos.

Já na fase dois foi executadoo trabalho de campo e feito todos os cálculos e análises pertinentes. Reuniões semanais em grupo para verificar o andamento das atividades desempenhadas pelos pesquisadores.

A fase três é considerada a fase final, pois é onde são apresentados todas as conclusões e produtos resultados deste estudo. A **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, Figura 4 e Figura 5 ilustram de forma simples cada uma destas fases.



Figura 3 - Fase de preparação e planejamento

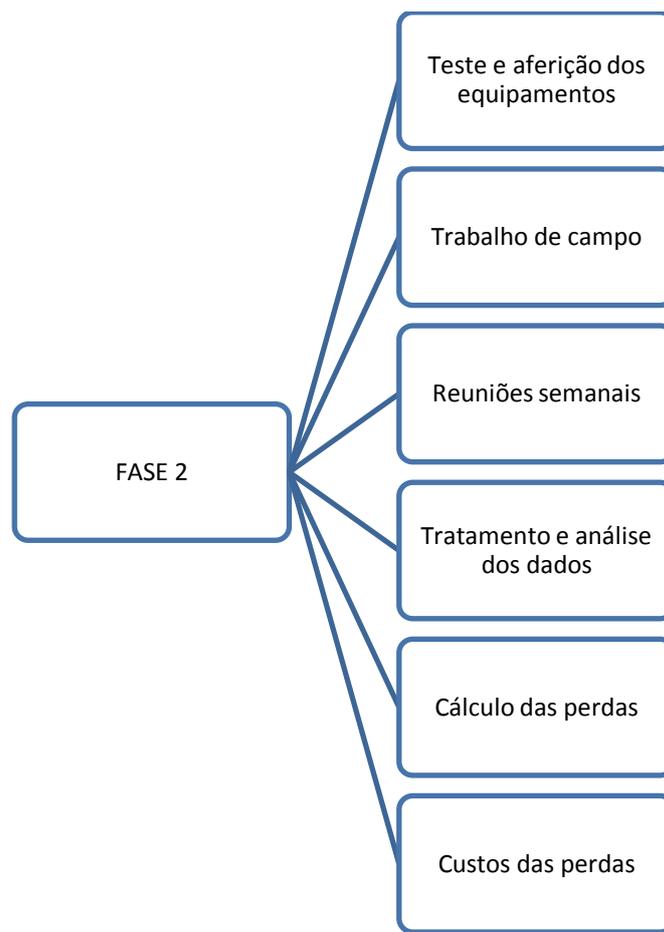


Figura 4 - Fase de medições e cálculos

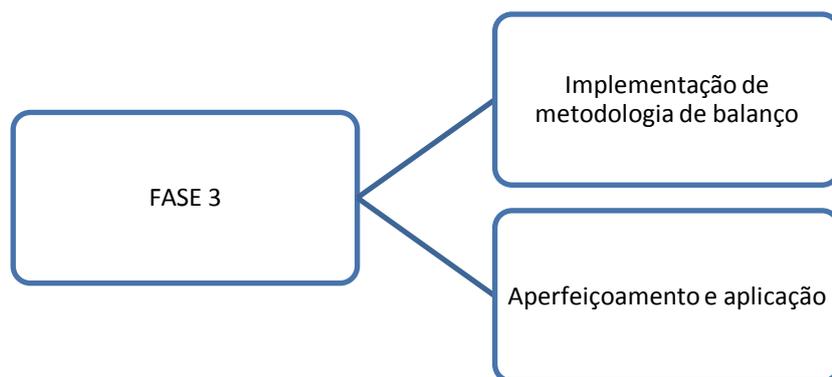


Figura 5 - Fase de conclusões

## 4.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O setor de rede de distribuição de água em estudo se encontra na cidade de São Lourenço – MG, localizada no sul do Estado. Possui uma população de 41.657 habitantes em 2010 (IBGE, 2015) e IDH de 0,759 e faz parte do Circuito das Águas. Por essa razão, possui significativa população flutuante que vai para a cidade nos fins de semana, férias e feriados. Fica localizado a aproximadamente 75 km de Itajubá – MG e a 393 km de Belo Horizonte. Possui como atrativos ao turista boa infra-estrutura, tranquilidade, clima agradável e o Parque das Águas.

Na Figura 6, podemos ver os setores que foram estudados neste projeto. Em amarelo temos os bairros Vale dos Pinheiros e Morada da Serra e em vermelho temos o bairro Palmela.

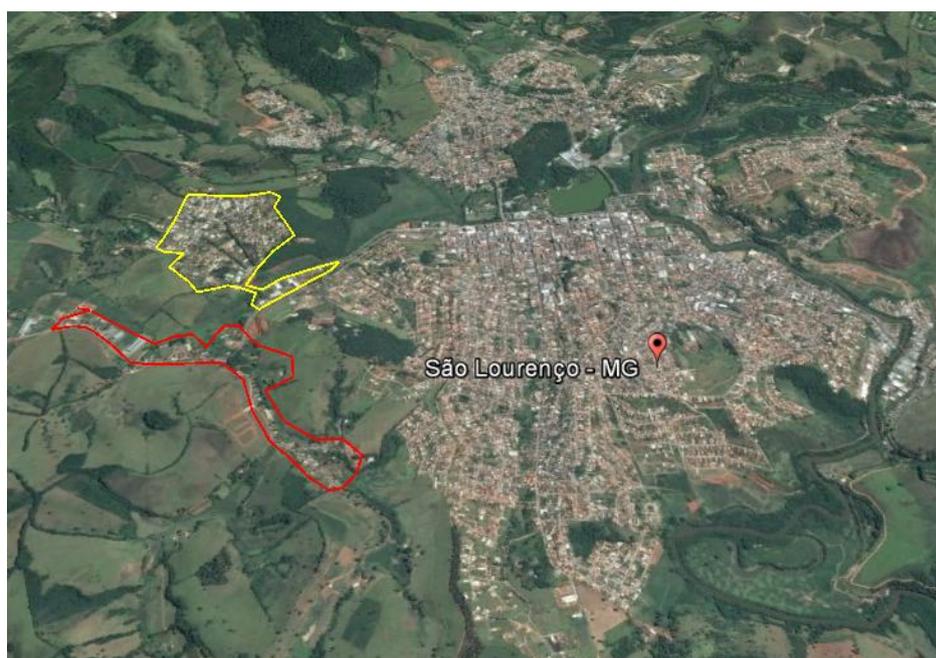


Figura 6 - Cidade de São Lourenço com destaque para as áreas estudadas. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2015)

De acordo com o SAAE, a água que abastece a cidade é captada no Rio Verde e passa por um sistema de tratamento convencionantes de ser distribuída para a população.

A rede de distribuição estudada é pertencente aos municípios de São Lourenço e Carmo de Minas, porém ambas são abastecidas pelo SAAE (Serviço Autônomo de Água e Esgoto) de São Lourenço-MG. Isto ocorre devido a maior proximidade e facilidade no abastecimento. Pertencem a São Lourenço os bairros Vale dos Pinheiros e Morada da Serra e à Carmo de Minas o bairro Palmela que é um bairro praticamente rural e com poucos moradores.

A água captada após passar por tratamento é bombeada para a Estação de Bombeamento Vila Nova e depois para o Reservatório Solar dos Lagos. A partir daí, é distribuída por gravidade para os bairros estudados. Na Figura 7 é mostrado um fluxograma do setor estudado.



Figura 7 - Fluxograma do setor estudado

Dentre os motivos para a escolha deste setor para estudo podemos citar:

- ✓ Ser um sistema isolado, no qual não há influencia de outras partes da rede;
- ✓ Ser um setor relativamente pequeno facilitando os trabalhos de campo e análises de resultados;

- ✓ Ter facilidade de acesso as informações dentro dos SAAEs escolhidos.

### 4.3 CALIBRAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Para a realização das atividades de campo, todos os equipamentos foram testados e calibrados nos laboratórios da UNIFEI. Desta forma, pode-se garantir a confiabilidade dos dados obtidos em campo sem o risco de ter que refazer este, visto que demanda muito mais tempo da equipe e recursos financeiros. Na Figura 8, Figura 9 e Figura 10 são mostrados os equipamentos sendo aferidos. A equipe trabalhou com 23 *DATA*Loggers, que fazem a medição de pressão em um ponto a ser escolhido da rede, e mais três medidores de vazão, que medem a vazão através de ultrassom em pontos estratégicos.



Figura 8 - *DATA*Logger em teste já ligado a torneira e ao computador.



Figura 9 - Sensores do medidor de vazão instalados para teste.



Figura 10 - Teste sendo realizado com detalhe para a vazão instantânea.

#### 4.4 TRABALHOS DE CAMPO

A medição de 7 dias consecutivos foi a campanha mais importante para este trabalho final visto que nos permite avaliar e analisar uma maior quantidade de dados e nos mostra o perfil de consumo, vazão e pressão durante uma semana inteira, além de medidas de parâmetros elétricos. Este tipo de informação é muito importante já que o consumo varia muito de acordo com a hora do dia e dia da semana.

Os dados de vazão foram medidos na estação de bombeamento do Vila Nova e no Poço de Visita (localizado na entrada do setor estudado). Já os parâmetros elétricos foram medidos apenas na estação de bombeamento Vila Nova. A estação elevatória

Vila Nova possui dois conjuntos moto-bomba, trabalhando em sistema de revezamento realizado diariamente.

Na semana de monitoramento um dos motores estava em manutenção, assim apenas um conjunto moto-bomba foi utilizado. A Figura 11 e Figura 12 mostram o arranjo dos conjuntos e a saída da estação elevatória.



Figura 11- Estação de bombeamento do Vila Nova.



Figura 12 - Quadro de comando e proteção do motor

As grandezas elétricas foram medidas utilizando analisadores de energia com exatidão de 0,50%. Além da demanda de potência e da energia elétrica consumida, os analisadores registram outras grandezas, tais como: fator de potência, corrente, níveis de

tensão, distorções harmônicas e frequência. Estes dados foram monitorados durante uma semana, com intervalos de medição de 10 minutos.

Devido a obras de manutenção no painel de comando do conjunto moto-bomba, a instalação do analisador de energia foi realizada no quadro de distribuição geral, como mostra a Figura 13.



Figura 13 - Analisador de energia utilizando as medições.

Durante sete dias foram monitorados as tensões, corrente, potências ativa e reativa, distorções harmônicas, frequência e fator de potência do motor.

Ainda nesta semana de medição, também foram monitorados, os níveis dos reservatórios. Este foi monitorado através de sensor hidrostático com exatidão de 0,50%, instalados internamente aos reservatórios, obtendo a coluna d'água disponível. Este sensor foi conectado a um DATALogger de monitoramento como mostram a Figura 14 e Figura 15.



Figura 14 - Instalação do medidor de nível



Figura 15 - Conexão do medidor de nível ao DATA logger

Para a determinação do rendimento da operação do conjunto moto-bomba, a empresa terceirizada também realizou a medição da pressão de sucção, recalque e vazão na saída da bomba.

As medidas de pressão na entrada e saída da bomba durante o ensaio de rendimento foram feitas através de transdutores, com exatidão de 0,50%, conectados a um sistema de aquisição de dados, com horário sincronizado. Na medição da sucção foi utilizado um transdutor com faixa de operação de -10 a 10 metros, já no recalque da bomba foi utilizado um transdutor na faixa de 0 a 100 metros. Na Figura 16 podem-se ver os transdutores de pressão na entrada e saída da bomba durante a medição.



Figura 16 - Transdutores de pressão na entrada e saída da bomba

A medição de vazão bombeada foi realizada com medidores do tipo ultrassônico. Este dispositivo realiza a medição com base no tempo de transito de pulsos de ultrassom emitidos e recebidos pelos dois sensores acoplados à parede externa da tubulação.

A figura 17 ilustra a preparação (limpeza do tubo) e instalação dos sensores na tubulação.



Figura 17 - Preparação e instalação do medidor ultrassônico

A instalação dos DATALoggers e medição de pressão foi feita no mesmo período dos parâmetros elétricos. Desta forma, pode-se analisar com mais precisão o comportamento da rede como um todo.

Foram medidos dados de pressão em 20 pontos, sendo 18 residências além da estação de bombeamento do Vila Nova e o Ponto de Visita localizado na entrada do

setor de estudo. A Figura 18 e Figura 19 ilustram a instalação de um dos *DATA*Loggers e a maneira como estes ficaram protegidos durante as medições para evitar que curiosos e/ou animais danificassem ou prejudicassem que estavam sendo colhidos.



Figura 18 - Instalação de um dos *DATA*Loggers.



Figura 19–*DATA*Logger instalado e protegido.

Já na Figura 20, é ilustrado o *DATA*Logger e também o medidor de vazão devidamente instalados e protegidos na estação de bombeamento Vila Nova.



Figura 20 - Equipamentos instalados na estação de bombeamento Vila Nova

Na Figura 21, Figura 22 e Figura 23, detalha-se a maneira que foram instalados os medidores de vazão e como estes eram protegidos. Em todos os equipamentos colocou-se um saco plástico para proteção contra água.



Figura 21 - Sensores do medidor de vazão já instalados



Figura 22 - Medidor de vazão instalado no Poço de Visita.



Figura 23 - Sensores do medidor de vazão instalado no poço de visita protegido contra umidade

Como a diferença de nível entre cavalete e rua não é padrão, fez-se a medição do desnível entre os mesmos. Isto teve que ser feito devido à perda de carga que ocorre entre o cavalete e a rede, tornando assim este trabalho mais confiável.

Esta medição foi feita através de uma mangueira de nível. Desta forma mediu-se a diferença de nível entre a torneira que se instalou o *DATA*Logger e o meio da rua.

Além disto, com o auxílio de uma trena, mediu-se a distância horizontal entre o cavalete e o meio também, assim como a distância entre este ponto do meio da rua até a esquina mais próxima.

Também para maior precisão dos dados e para a implantação do uso de softwares do tipo Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) fez uma campanha de dois dias para a medição das coordenadas geográficas dos pontos onde se instalou os *DATALoggers*, estação de bombeamento Vila Nova e do reservatório que abastece o setor estudado, conhecido como Solar dos Lagos. A Figura 24 mostra todos os pontos coletados com o DGPS, com exceção da estação de bombeamento Vila Nova.

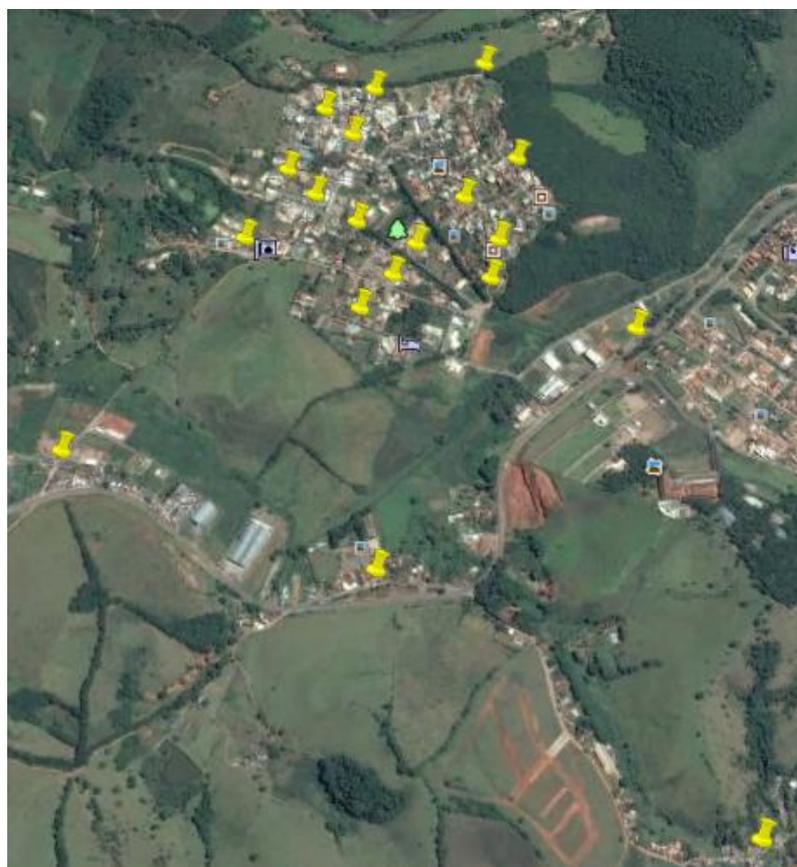


Figura 24 - Pontos medidos com o DGPS. (Fonte: GOOGLE EARTH, 2015)

#### 4.5 DESCRIÇÃO DO DESENVOLVIMENTO DO BALANÇO HÍDRICO

A metodologia utilizada neste trabalho é um aprimoramento do balanço hídrico definido pela *International Water Association (IWA)* e apresentado por Alegre et al. (2005) e uma adaptação do balanço energético desenvolvido por Cabrera et al.(2010).

O artigo de Cabrera et al.(2010) é o trabalho base para aplicação de metodologia de balanço hídrico energético por ser um trabalho de referência mundial. Sua escolha se deu em virtude de ser um artigo bastante atual e que pode ser aprimorado.

O trabalho de Alegre et al. (2005) também é um trabalho muito relevante no assunto em virtude da qualidade de seus trabalhos e experiência na área. Já a IWA é referência em todo o mundo, pois se trata de uma associação que reúne os melhores profissionais na área em busca de soluções que visam melhorar os processos e buscar a sustentabilidade nesta área.

O trabalho consistiu na confecção de balanço hídrico e energético no setor isolado da rede de distribuição de água na cidade de São Lourenço- MG que abastece os bairros Palmela, Vale dos Pinheiros e Morada do Sol.

Os componentes do balanço hídrico foram obtidos/estimados baseados na metodologia da IWA, conforme apresentado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, da seguinte forma:

Tabela 2 - Matriz de balanço hídrico da IWA. (Fonte: Melato, 2010).

<b>Volume que Entra no Sistema</b>	<b>Consumos Autorizados</b>	<b>Consumos Autorizados Faturados</b>	Consumos medidos faturados (incluindo água exportada)	<b>Águas Faturadas</b>
			Consumos não-medidos faturados (estimados)	
		<b>Consumos Autorizados Não Faturados</b>	Consumos medidos não-faturados (usos próprios, caminhão-pipa etc.)	<b>Águas Não Faturadas</b>
			Consumos não-medidos, não-faturados (corpo de bombeiros, favelas não medidas etc.)	
	<b>Perdas de Água</b>	<b>Perdas Aparentes</b>	Consumos não-autorizados (fraudes e falhas de cadastro)	
			Imprecisão dos medidores (macro e micromedição)	
		<b>Perdas Reais</b>	Vazamentos nas adutoras de água bruta e nas estações de tratamento de água (se aplicável)	
			Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
	Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro			
	Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição			

- O Volume que entra no sistema: É o volume de água medido na entrada do setor de abastecimento no poço de visita (PV) através de um medidor de vazão ultrassônico. Este volume foi medido durante uma semana seguida (campanha de campo) e tal valor foi extrapolado para um ano.
- Águas faturadas: São as parcelas de água nas quais a companhia recebe pela água que fornece. Esse faturamento pode ser através de conta fixa ou através do volume consumido. Neste trabalho, para estimativa destes consumos, foi obtido o histograma de consumo por mês e por bairro. A partir disso, foi obtido o consumo autorizado anual, tomando como referência o mês de setembro de 2014.
- Águas não faturadas: São as parcelas de água perdidas (perdas reais e aparentes) e também os consumos onde a concessionária não recebe pela água fornecida. Tais

parcelas foram obtidas através da diferença entre o volume de entrada no sistema e as águas faturadas.

- Consumos medidos faturados: É a água faturada que é medida através de um hidrômetro e a concessionária recebe por isso. Tal consumo é igual ao valor de águas faturadas.
- Consumos não-medidos faturados: É a água faturada através de conta fixa. No setor de estudo não existem estes consumos, sendo esta parcela nula.
- Consumos autorizados faturados: São as parcelas de água que garantem receita à concessionária. Este valor é a soma dos consumos medidos faturados e consumos não-medidos faturados, neste caso este valor é igual à água faturada.
- Consumos medidos não faturados: É a parcela de água que é medida, porém a companhia não recebe por esse serviço prestado. No setor de estudo não possui este tipo de consumo, sendo igual a zero.
- Consumos não medidos não faturados: É a água que não é medida e também a companhia não recebe pelo serviço. Este consumo também é zero no setor de estudo.
- Consumos autorizados não faturados: São as parcelas nas quais a companhia autoriza o consumo, porém não recebe pelo serviço prestado. Estimado somando os consumos medidos não faturados e os consumos não medidos não faturados, neste caso também é zero.
- Consumos autorizados: São as parcelas de água que a companhia responsável pelo abastecimento de água do setor tem conhecimento e autoriza o consumo de água. Valores estimados somando os consumos autorizados faturados e os consumos autorizados não faturados. Este valor é igual ao valor da água faturada no setor de estudo.
- Consumos não autorizados: Roubo de água. Valores difíceis de serem obtidos. Estes consumos foram calculados a partir da literatura e foram estimados em 13% das perdas aparentes (TOMAZ, 2009; Alegre et al., 2005). O SAAE não possui dados ou controles sobre estas perdas.

- Imprecisão de medidores: É a parcela de água associadas a erros nos medidores, imprecisão associada a estes ou falha nos cadastros dos clientes. Estes valores foram estimados em 2% do volume faturado (COELHO, 2009; RECH, 1999).
- Perdas aparentes: São as perdas que não são reais. São divididas em consumo não autorizado e imprecisão dos medidores e foram obtidas somando-se estes dois termos citados.
- Perdas reais: São as parcelas de água que são perdidas antes de chegar ao consumidor final. Foram calculadas subtraindo o valor das perdas aparentes no montante das perdas totais. As perdas reais podem ser estimadas pelo método dos mínimos noturnos.
- Perdas de água: São as parcelas de água que são perdidas ou não são autorizadas pela companhia responsável pelo abastecimento de água. É a soma das perdas aparentes mais as perdas reais.
- Vazamentos nas adutoras de água bruta e nas estações de tratamento: Não se aplica neste caso, pois o balanço do setor não considera estes itens.
- Vazamentos nas adutoras de água e redes de distribuição: É a parcela de água perdida durante o transporte da água até o setor. Estes valores foram estimados baseados em Farley(2001), que adotou como perdas nas adutoras 3,3% das perdas totais e como perdas nas redes de distribuição 68,7% (total 72%).
- Vazamentos e extravasamentos nos aquedutos e reservatórios de distribuição: Vazamentos causados por falhas no sistema de controle de nível dos reservatórios. Valor estimado em 6,3% das perdas totais (FARLEY, 2001).
- Vazamentos nos ramais prediais até o hidrômetro: É a parcela de água perdida nos ramais. Valor obtido da subtração das componentes das perdas reais (perdas na adutora e distribuição e perdas nos reservatórios).

A partir da definição de todas as parcelas do balanço hídrico, associou-se uma quantidade de energia por volume de água e obteve-se o balanço energético. O tempo de análise utilizado foi um ano, tomando como base a semana de medições em campo.

#### 4.6 BALANÇO ENERGÉTICO

O balanço energético foi baseado na metodologia de Cabrera *et al.* (2010) e foi adaptado para aplicação no sistema real de estudo. A análise permite contabilizar toda a energia envolvida no sistema, mostrando que a energia no balanço é mantida. O balanço pode ser usado para se obter indicadores de desempenho para avaliar o sistema do ponto de vista energético. Através destes indicadores é possível identificar as ações de melhoria que tornarão o sistema mais eficiente. A Figura 25 ilustra de forma simples o fluxograma de energia proposto por Cabrera dentro de um volume de controle.

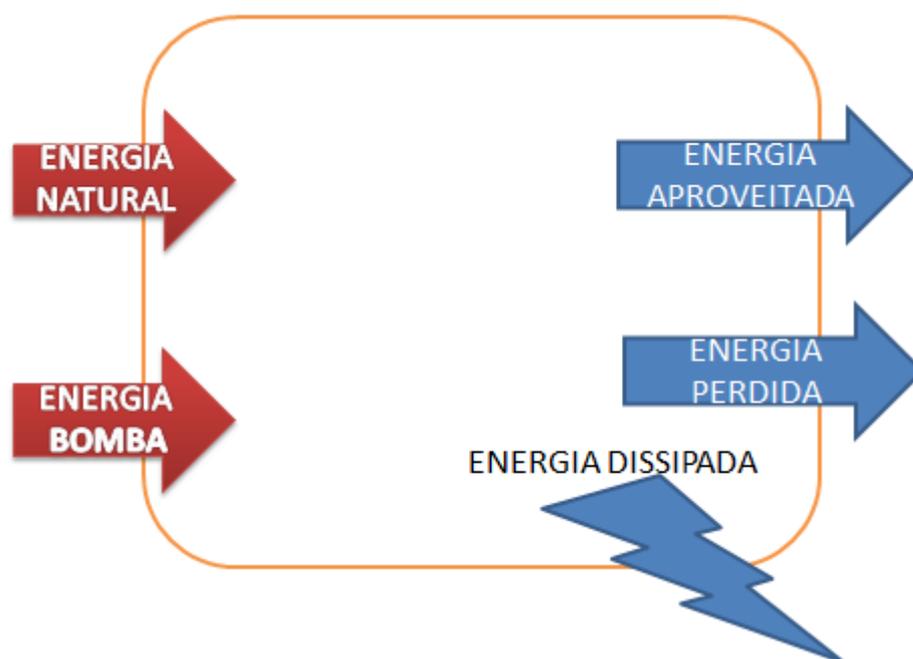


Figura 25 - Fluxograma de energia aplicado

Cabrera *et al.* (2010) propõem um balanço hídrico-energético em um sistema de distribuição de água. Este é obtido através da equação da energia em sua forma integral onde sua integração é entendida a certo período (dia, mês ou ano). A análise permite contabilizar toda a energia envolvida no sistema, mostrando que o que entra no sistema é igual ao que sai (perdas ou dissipação de energia). O balanço pode ser usado para se obter indicadores de desempenho para avaliar o sistema do ponto de vista energético. Através destes indicadores é possível identificar as ações de melhoria, que tornarão o

sistema mais eficiente. Este balanço energético requer um balanço hídrico prévio e um modelo matemático da rede, ambos são necessários para se conhecer a energia que flui pelas das fronteiras do sistema.

Neste trabalho, para estimativa do balanço de energia, foi utilizada a metodologia de Cabrera *et al.* (2010) adaptada, baseada nos conceitos apresentados na Tabela 3 e Equação 2. A diferença da metodologia de Cabrera *et al.* (2010) é que todos os termos são estimados baseados nos consumos de cada trecho e na energia relativa.

Tabela 3: Balanço de energia (Fonte: Baseado em Cabrera *et al.*, 2010)

$E_{ent}$ (energia de entrada)	$E_{nat}$ (energia natural)	$E_{usu}$ (energia entregue aos usuários)	$E_{saíd}$ (energia de saída)
	$E_{bomb}$ (energia das bombas)	$E_{perd}$ (energia relativa às perdas)	
		$E_{atr}$ (energia perdida devido a atritos)	$E_{dissip}$ (energia dissipada)

$$E_{ent}(t) = E_{nat}(t) + E_{bomb}(t) = E_{usu}(t) + E_{perd}(t) + E_{atr}(t) = E_{saíd}(t) + E_{dissip}(t)$$

Equação 2

Os dados de entrada foram obtidos através de medições dos parâmetros elétricos durante a campanha de campo, extrapolados para um ano e proporcionais ao setor. Os dados de energia entregue aos usuários e energia relativa às perdas foram proporcionais aos valores estimados no balanço hídrico. Os dados referentes às perdas de energia devido a atritos foram estimados utilizando simulações computacionais realizadas por Santos (2016). Foram obtidos através de simulações no EPANET os dados de vazão e perda de carga por trecho. Estes foram trabalhados de acordo com a Equação 3.

$$E_{atr}(t) = \gamma \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \left( \sum_{t_k=t_1}^{t_k=t} q_i(t_k) \cdot \Delta h_i(t_k) \right) \cdot \Delta t$$

Equação 3

Onde:

$E_{atr}(t)$  = Energia perdida devido a atritos ao longo de um intervalo de tempo (Wh);

$\gamma$  = Peso específico da água (N/m<sup>3</sup>);

$n$  = Número de nós do setor;

$q_i$  = Vazão de cada trecho do setor em função do tempo (m<sup>3</sup>/s);

$\Delta h_i$  = Perda de carga de cada trecho do setorem função do tempo (m);

$\Delta t$  = Intervalo de tempo analisado (h);

## 5 RESULTADOSE DISCUSSÕES

Uma das principais etapas do trabalho foi a campanha de campo para aquisição de dados. Foram 7 dias consecutivos de medição de vazão, pressão e parâmetros elétricos e mais uma madrugada de monitoramento de vazão e pressão.

Na Figura 26 são apresentados os nós que receberam os *DATAloggers* para medição de pressão ao longo da campanha de campo e que não apresentaram erros. Destaca-se que as macromedições de vazão foram feitas na entrada do setor. Três pontos de monitoramento (nós 8, 104 e 110) apresentaram problemas nos dados provavelmente devido a falhas nos equipamentos, torneiras com defeitos ou intervenções dos moradores.

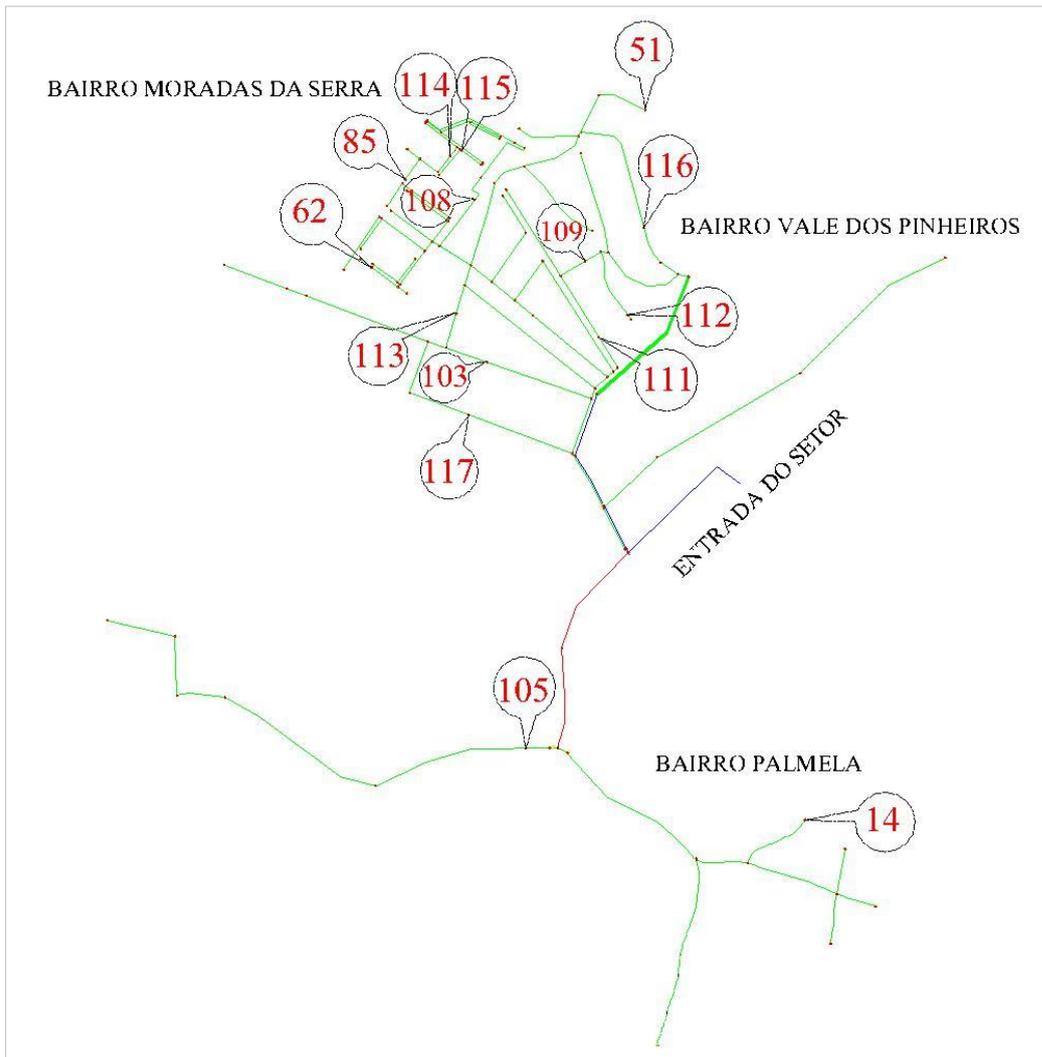


Figura 26 - Pontos de monitoramento de pressão ao longo de sete dias de medição  
(Fonte: SANTOS, 2016)

## 5.1 VAZÃO MONITORADA

Com as vazões monitoradas durante os 7 dias consecutivos foi possível estimar o balanço hídrico do setor em estudo. Na Figura 27 são mostradas as vazões ao longo desta campanha de campo, com registros a cada 10 minutos. Durante os dias monitorados o consumo de água no setor de estudo apresentou um comportamento constante, com vazão mínima na madrugada (das 0h às 6h), consumo crescente a partir das 6h e picos de vazão entre 9h e 11h, entre 14h e 16h e entre 17h e 19h. Após as 20h, de maneira geral o consumo volta a cair. Os picos apresentados se referem aos horários de maior consumo no local, que se trata de bairros familiares, com algumas pousadas. A vazão mínima monitorada foi 7,45 l/s (4h23), a média foi 10,95 l/s e a máxima 16,94 l/s (10h43).

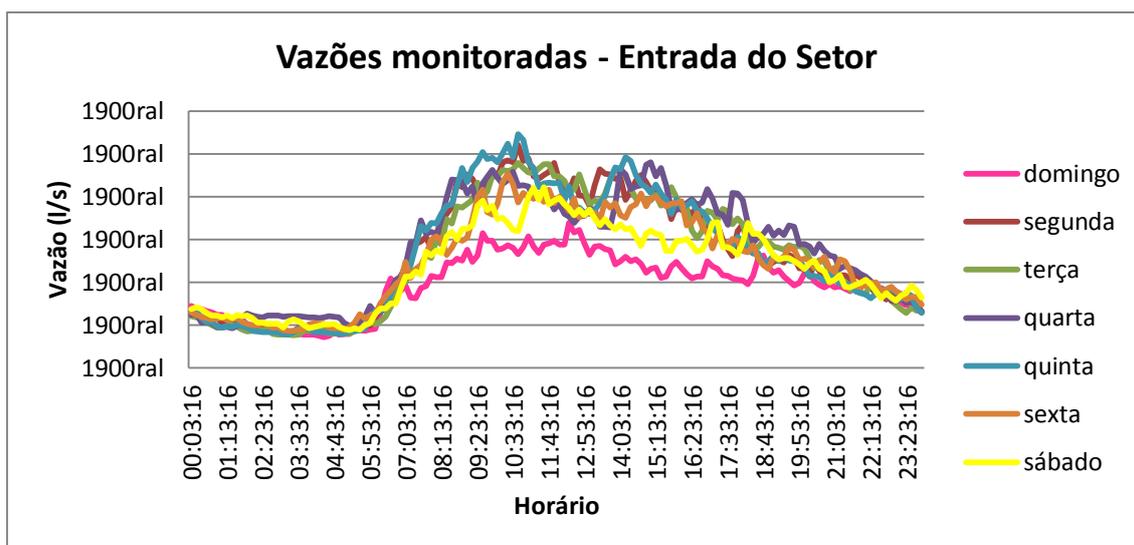


Figura 27 - Vazões monitoradas na entrada do setor de estudo ao longo de sete dias consecutivos

Foi medida a vazão relativa à estação elevatória Vila Nova, para estimativa do consumo de energia do setor. Na Figura 28 são apresentadas as vazões monitoradas nos 7 dias de campanha de campo. Diferentemente do que se nota na entrada do setor, as vazões do reservatório da Vila Nova não apresentam um comportamento padrão, pois dependem da ligação ou não das bombas que fornecem água ao reservatório. O

comportamento das vazões acompanha o padrão de consumo de energia elétrica das bombas, que ao serem ligadas elevam o nível do reservatório e conseqüentemente e vazão.

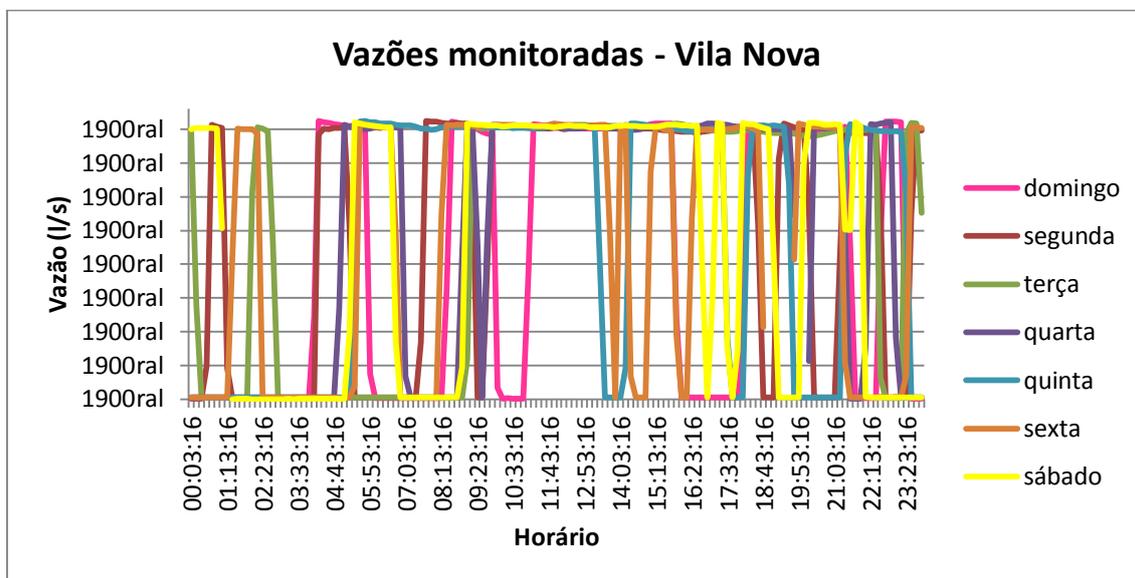


Figura 28 - Vazões monitoradas na estação elevatória Vila Nova ao longo de sete dias consecutivos

Na Figura 29 é possível observar o comportamento ao longo do dia 25 de setembro (quinta feira). Durante a madrugada a vazão é zero, em seguida a vazão se mantém elevada durante os períodos de maior consumo, indicando a ligação das bombas na estação elevatória.

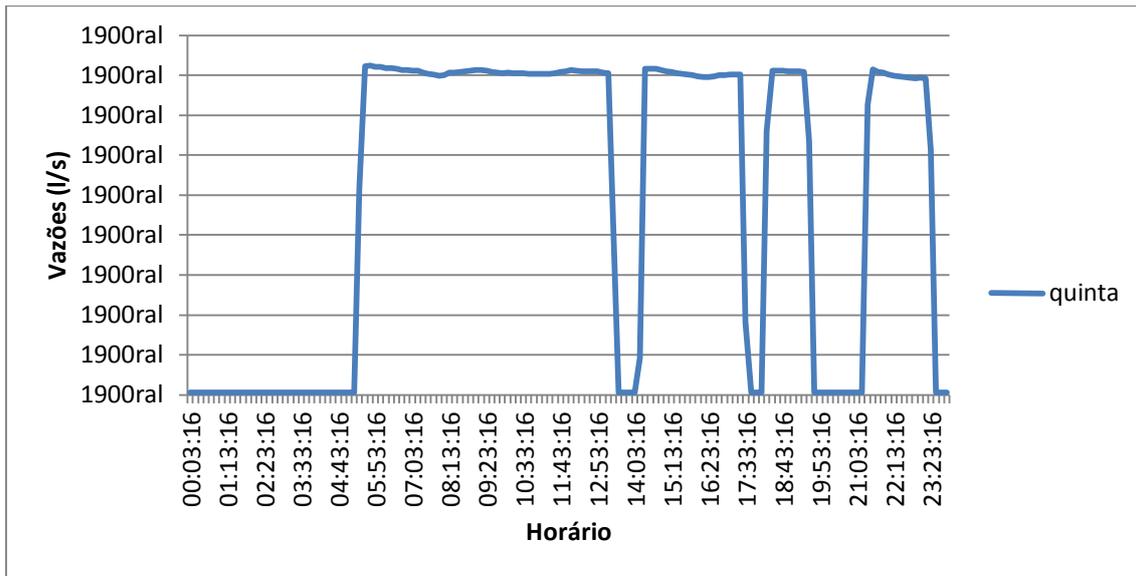


Figura 29 - Vazões monitoradas na estação elevatória Vila Nova na quinta feira, 25/09/2014

A água bombeada pela estação elevatória abastece outros bairros além do setor de estudo. O setor de estudo representa pouco mais de 46% do total bombeado pela EE Vila Nova, conforme mostrado na Figura 30.

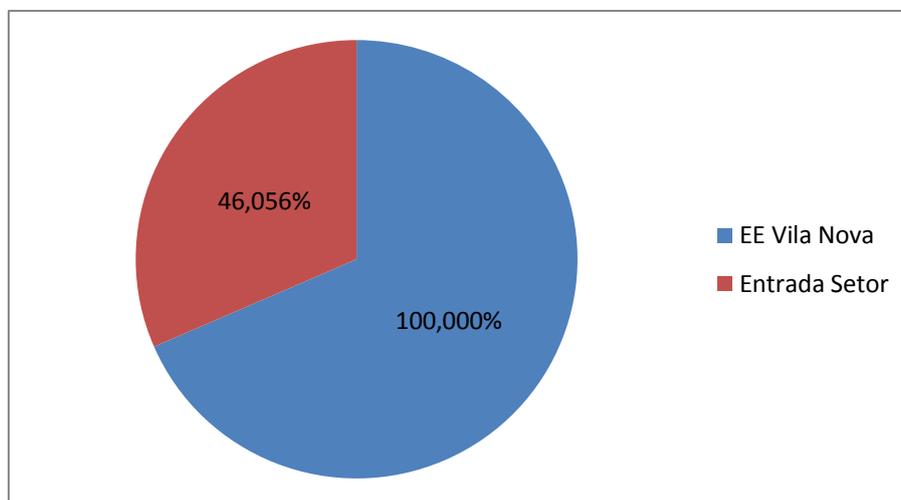


Figura 30 - Vazões da entrada do setor e da EE Vila Nova

## 5.2 NÍVEIS DOS RESERVATÓRIOS

A empresa contratada para realizar as medições elétricas também mediu o nível do reservatório Solar dos Lagos. Na Figura 31 é apresentado o nível do reservatório ao longo do dia 25/09/2014, quinta feira, onde é possível notar que o reservatório permanece o dia todo com capacidade acima de 50%.

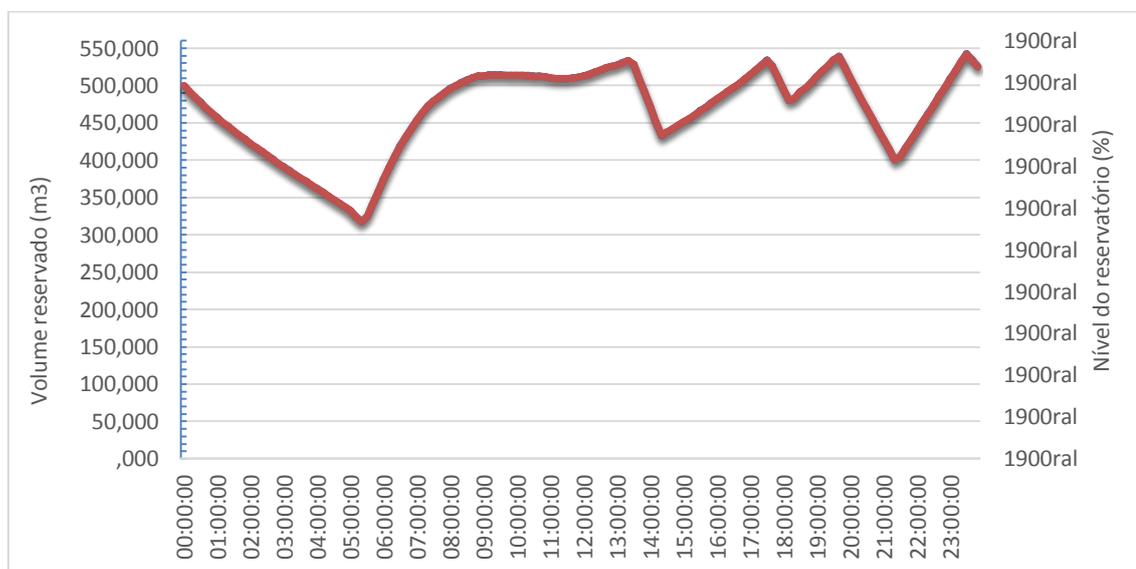


Figura 31 - Nível do reservatório no dia 25/09/2014

Na Figura 32 é ilustrado o comportamento do reservatório ao longo dos 7 dias de monitoramento. Observa-se que em média o reservatório se manteve com 80% do seu volume. Apenas no dia 23/09 houve uma redução no nível, possivelmente devido a serviços de manutenção da estação elevatória.

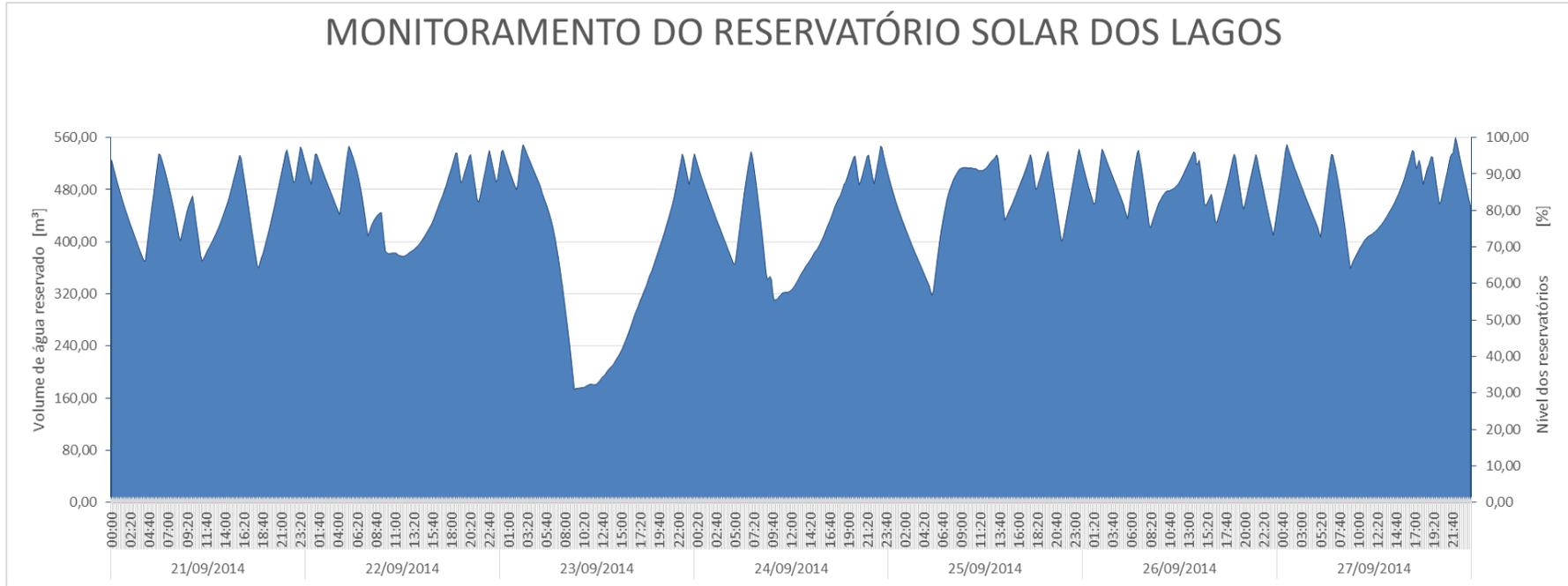


Figura 32 - Nível do reservatório Solar dos Lagos ao longo de sete dias de medição

### 5.3. PRESSÕES MONITORADAS

Foram monitoradas pressões ao longo de todo o setor de estudo. Como alguns resultados de pressão tem perfil e valores bastante parecidos, serão usados apenas os de maior discrepância para comparação, pois a apresentação de todos não enriqueceria o trabalho de forma significativa.

Na Figura 34, Figura 35 e Figura 36 que seguem, são apresentados três diferentes padrões de pressão ocorridos durante a campanha de campo em cada bairro monitorado.

Os nós 14 e 105 se encontram no Bairro Palmela. De maneira geral, as pressões destes dois pontos apresentam valores elevados ao longo do dia, com pressão horária não inferior a 60mca, conforme apresentado na Tabela 4. O gráfico da Figura 33 mostra claramente que há um perfil de pressão neste nó que varia de 85 mca à 65 mca. Este comportamento se mantém aproximadamente semelhante para os demais dias, sendo registradas as maiores pressões durante a madrugada e as menores durante o dia, que é quando há o maior consumo de água. Nota-se também que por volta de 9h houve uma queda abrupta de pressão, provavelmente ocasionada por alguma manutenção na rede.

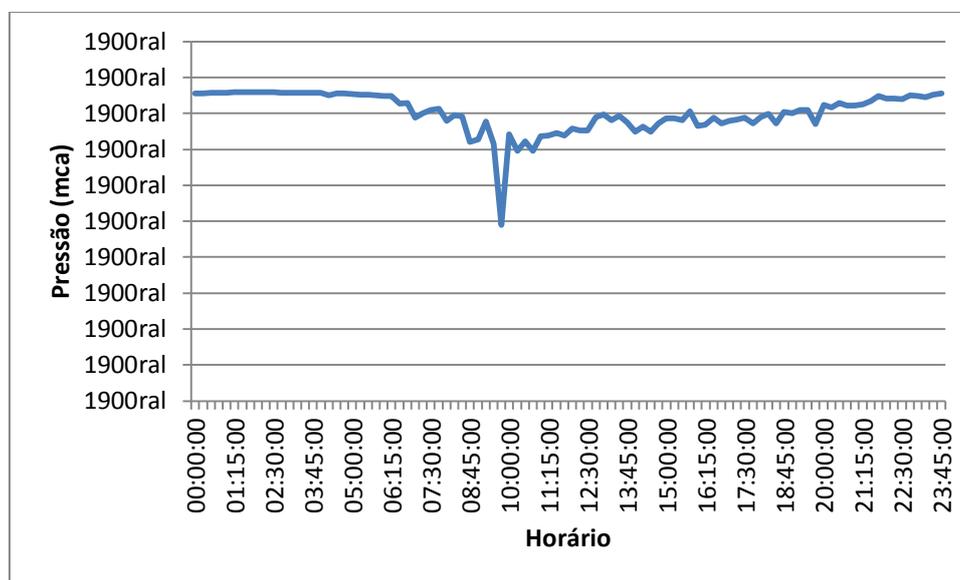


Figura 33 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - Nó 105

Avaliando os pontos de pressão do bairro Vale dos Pinheiros, têm-se os nós 51, 103, 111, 112, 113, 109, 116 e 117. Os nós que possuem menor altitude (cota topográfica mais baixa) tendem a apresentar maiores valores de pressão. Já os nós com altitude superior a 900m apresentam pressões reduzidas, pois a água tem que vencer a gravidade, perdendo força. Na Tabela 4 é possível notar tal comportamento.

A Figura 34 pode-se perceber um comportamento similar aos demais pontos, com pressões elevadas durante os períodos de menor consumo (fim de noite e madrugada) e mínimos durante o dia. Neste ponto (nó 103) existe uma variação de pressão em uma faixa inferior (entre 72 e 48 mca).

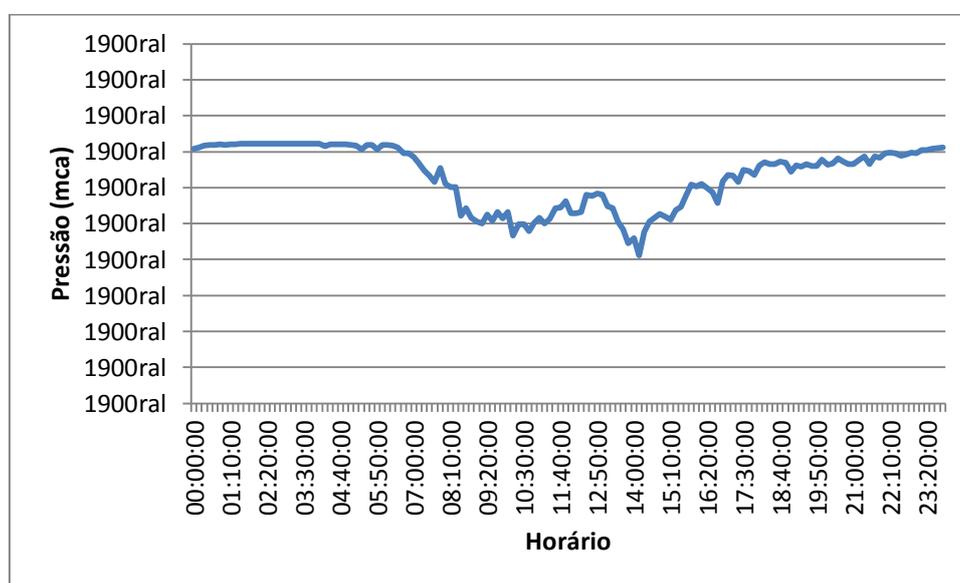


Figura 34 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - Nó 103

Ainda no bairro Vale dos Pinheiros, o nó 116 apresenta valores de pressão inferiores aos observados na maioria dos pontos monitorados neste bairro, conforme apresentado na Figura 35. A cota topográfica deste ponto é a mais alta de todo o setor, com variação de pressão ao longo do dia 25/09/2014 entre 20 e 40 mca. Neste dia, a pressão sofre uma queda brusca por um período de aproximadamente 3h, não se repetindo nos demais dias de monitoramento. Este fato pode ser explicado por alguma manobra no setor ou ainda um evento único, como por exemplo, um consumo especial atípico.

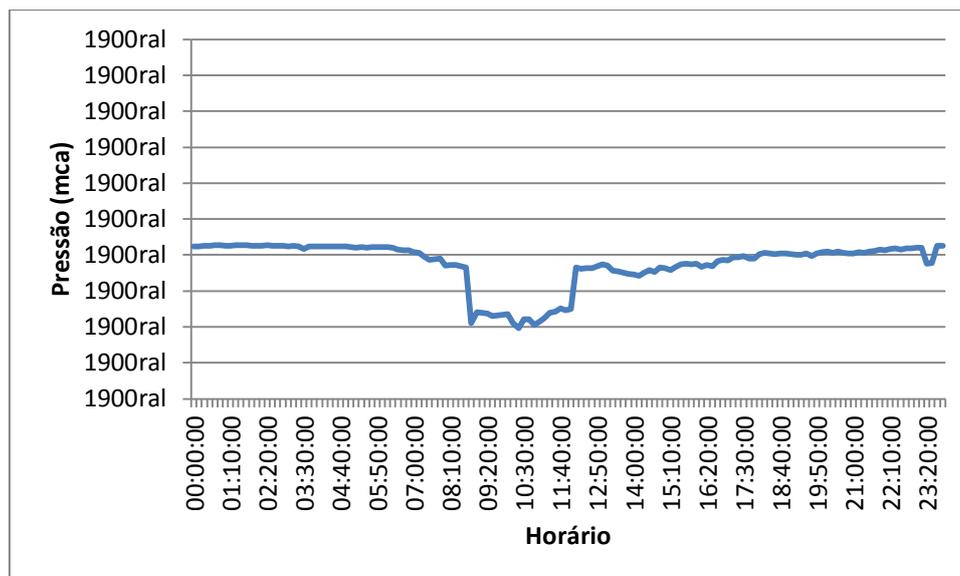


Figura 35 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - N6 116

Os nós 62, 85, 108, 114 e 115 fazem parte do bairro Moradas da Serra.

Observa-se na Figura 36 que ocorre uma grande diferença com relação aos resultados apresentados anteriormente, a queda abrupta de pressão existente no período de 0h até em torno das 6h. Esta situação se repete nos sete dias de monitoramento. Associa-se a isso por estenó apresentar cota altimétrica relativamente alta e necessitar de um *booster* para bombear a água até os pontos mais elevados. A queda de pressão ocorre pois este *booster* permanece desligado durante o período da madrugada, já que o consumo neste horário é praticamente nulo. Também se pode notar que em função disto a pressão máxima e mínima medida neste nó se apresenta bem menor que nos outros analisados. Uma situação bem parecida acontece também no nó 114, que recebe água após o *booster*.

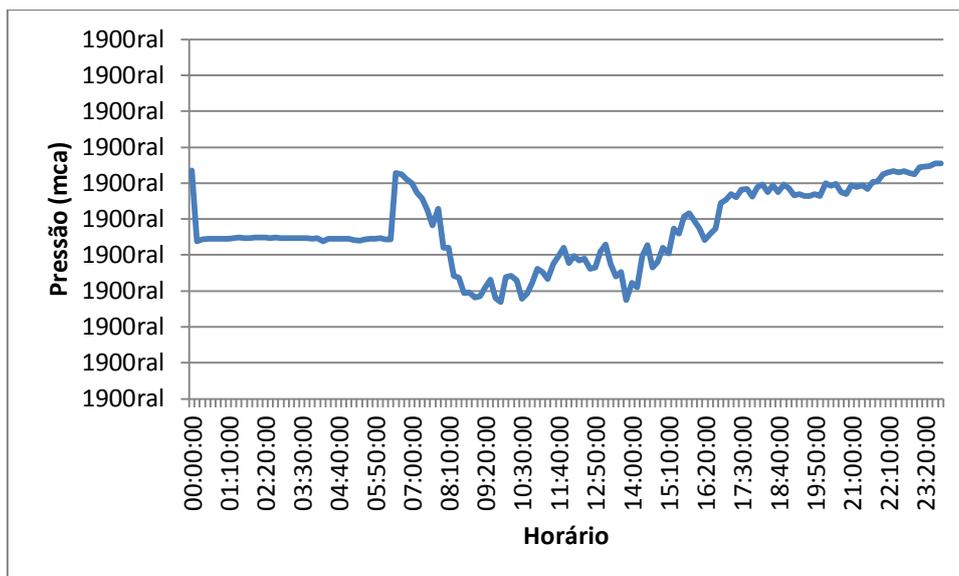


Figura 36 - Pressão ao longo do dia 25/09/2014 - N6 115

Na Tabela 4 e na Tabela 5 são apresentadas as médias horárias de pressão de cada ponto monitorado. Estas pressões foram utilizadas para a estimativa das perdas reais do setor, através do mínimo noturno. Este método faz uma correção dos vazamentos a partir da variação de pressão ao longo do trecho em diferentes pontos da rede.

Tabela 4: Variação de pressão (mca) ao longo do dia, dados monitorados por sete dias consecutivos nos bairros Palmela e Vale dos Pinheiros.

	Palmela		Vale dos Pinheiros							
	Nó 105	Nó 14	Nó 113	Nó 51	Nó 111	Nó 109	Nó 116	Nó 112	Nó 103	Nó 117
Altit.	877,0 m	880,3 m	876,7 m	921,6 m	870,9 m	885,2 m	921,7 m	897,9 m	887,0 m	905,4 m
HORA	L1	L2	L14	L5	L7	L8	L9	L11	L12	L13
00:00	85,51	83,46	75,67	44,42	91,13	78,27	42,00	65,17	71,82	55,03
01:00	85,82	83,47	76,01	44,58	91,39	78,53	42,78	65,34	72,17	55,30
02:00	85,86	83,45	76,12	44,60	91,42	78,59	42,82	65,37	72,26	55,35
03:00	85,88	83,35	76,09	44,56	91,38	78,51	42,72	65,28	72,13	54,56
04:00	85,77	83,28	76,06	44,55	91,33	78,46	42,58	65,21	72,19	55,26
05:00	85,56	83,32	75,94	44,57	91,36	78,49	42,68	65,25	72,18	55,25
06:00	84,06	83,25	74,65	43,96	90,44	77,64	42,06	64,54	70,60	53,10
07:00	79,96	81,76	71,58	42,17	88,59	75,25	40,25	60,55	67,00	50,01
08:00	78,15	81,96	67,56	39,49	84,80	71,19	36,70	57,04	61,05	44,02
09:00	74,86	80,36	59,12	37,44	82,27	67,85	33,33	58,78	56,39	38,17
10:00	73,68	81,14	61,31	36,77	80,86	66,89	32,90	58,34	54,54	37,22
11:00	73,32	80,85	61,02	36,94	80,83	68,21	33,41	58,82	54,96	38,00
12:00	75,25	81,25	62,96	37,34	82,47	68,89	36,10	59,86	56,78	39,44
13:00	76,91	81,40	70,73	37,61	82,85	68,11	36,46	59,62	55,97	39,39
14:00	76,44	81,38	71,54	37,70	82,07	67,10	35,95	59,22	54,25	37,92
15:00	77,94	81,48	66,55	38,25	82,85	69,77	37,25	59,89	57,73	39,17
16:00	78,24	81,73	66,81	39,47	85,01	72,05	38,30	61,15	61,07	44,05
17:00	77,65	81,65	69,72	40,29	86,12	73,12	38,47	59,82	62,97	46,06
18:00	78,55	81,61	71,53	41,04	87,28	74,34	39,08	61,83	65,67	49,06
19:00	80,40	82,00	71,21	41,52	87,39	74,50	39,80	62,67	65,19	47,87
20:00	81,70	82,52	71,99	42,06	88,15	75,29	40,36	63,05	66,77	49,03
21:00	83,13	82,83	72,78	42,64	88,85	76,14	41,05	63,91	67,98	51,27
22:00	84,16	83,04	73,80	43,36	89,81	76,96	41,35	64,14	69,51	52,70
23:00	84,90	83,20	74,58	43,88	90,29	77,53	41,96	64,71	70,32	52,67

Tabela 5: Variação de pressão (mca) ao longo do dia, dados monitorados por sete dias consecutivos no bairro Morada da Serra e na entrada do setor.

	Morada da Serra					Entrada		
	Nó 62	Nó 85	Nó 108	Nó 115	Nó 114	PV		
Altit.	894,0 m	892,2 m	896,3 m	917,4 m	921,4 m	875,5 m		
HORA	L15	L16	L17	L18	L19	L21	MÉDIA HORÁRIA	FND
00:00	65,95	70,15	65,65	48,96	43,42	88,75	65,26	1,007
01:00	66,20	70,50	65,80	44,71	39,75	88,88	65,01	1,001
02:00	66,21	70,52	65,87	44,78	39,84	88,90	65,05	1,002
03:00	66,17	70,49	65,75	44,72	39,79	88,80	64,95	1,000
04:00	66,10	70,42	65,75	44,69	39,73	88,75	64,95	1,000
05:00	66,10	70,54	65,78	44,76	39,79	88,78	64,97	1,000
06:00	64,85	69,16	63,79	52,99	48,06	88,33	64,98	1,001
07:00	61,06	65,40	60,19	58,37	53,50	86,76	63,02	0,956
08:00	54,90	59,98	54,18	48,90	43,92	84,88	58,20	0,848
09:00	49,84	55,55	50,48	40,84	35,86	83,40	54,01	0,758
10:00	48,49	53,87	48,88	40,10	35,00	82,75	53,20	0,741
11:00	49,54	54,53	49,93	41,35	36,11	83,07	53,72	0,752
12:00	51,60	56,37	52,07	43,22	38,15	83,90	55,34	0,787
13:00	48,54	55,86	50,85	43,25	38,01	83,96	55,58	0,792
14:00	48,90	54,83	50,65	43,05	36,89	84,18	55,05	0,780
15:00	53,26	57,11	53,59	46,09	40,41	84,60	56,64	0,814
16:00	56,64	60,65	56,21	50,72	45,71	85,28	59,13	0,869
17:00	58,13	62,26	58,11	53,97	46,89	85,75	60,33	0,895
18:00	60,05	64,50	59,89	57,22	52,19	86,25	62,23	0,938
19:00	59,51	64,11	59,48	55,14	50,09	86,50	62,05	0,934
20:00	59,25	65,34	60,89	56,91	51,96	87,04	63,00	0,955
21:00	61,49	66,64	62,21	59,66	54,70	87,56	64,34	0,986
22:00	62,38	67,95	63,51	62,13	57,29	88,05	65,47	1,012
23:00	64,73	68,90	64,43	63,97	59,15	88,39	66,35	1,032

## 5.4 PERDAS REAIS ESTIMADAS PELO MÉTODO DOS MÍNIMOS NOTURNOS

As perdas reais do setor foram estimadas através do método dos mínimos noturnos. Os dados utilizados foram os obtidos durante a campanha de campo de sete dias consecutivos e são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Dados obtidos para o cálculo da vazão de perdas (método mínimos noturnos)

$FND$ [h/dia]	21,86
$Q_{mn}$ [m <sup>3</sup> /h]	7,86
$Q_l$ [m <sup>3</sup> /h]	0,00
$P_{i_{24h}}$ [mca]	Variável (ver Tabela 5)
$P_{mn}$ [mca] (3h às 4h)	64,95 (ver Tabela 5)
$N_l$ (PVC)	1,5
$Q_{perdas}$ [m <sup>3</sup> /dia]	619,05
$Q_{perdas}$ [m <sup>3</sup> /ano]	225.951,90
Porcentagem perdas reais	65,40%

Foi obtido através do método do mínimo noturno 65,40% de perdas reais, valor superior ao obtido via balanço hídrico (55,46%). Tal diferença pode ser justificada pelo fato de o balanço hídrico ter sido estimado utilizando dados medidos em campo durante 7 dias em conjunto com dados fornecidos pelo SAAE (consumo de água mensal). Outro fator que pode ser levado em consideração é o fato de o mês de setembro de 2014 ter apresentado um consumo superior a média mensal, podendo talvez ter ocorrido eventos raros, mesmo o SAAE não tendo conhecimento.

## 5.5 BALANÇO HÍDRICO

Para alimentar o balanço hídrico, necessitou-se dos valores dos consumos de água autorizados pelo SAAE. Neste caso, esta parcela do balanço é representada pelo somatório das contas de todas as ligações de água nos três bairros abastecidos pelo setor isolado de estudo. Foram utilizados dados de um ano de consumo para melhor representar a real demanda deste setor. Na Tabela 7 são ilustrados estes dados divididos por bairro.

Tabela 7: Consumo de água durante 1 ano para o setor estudado

CONSUMO DE ÁGUA (m <sup>3</sup> /mês) - SETOR DE ESTUDO - SÃO LOURENÇO - MG				
PERÍODO	MORADA DA SERRA	PALMELA	VALE DOS PINHEIROS	TOTAL
<b>set/14</b>	2339	4097	6012	12.448
<b>out/14</b>	2095	3065	5080	10.240
<b>nov/14</b>	2028	3233	5037	10.298
<b>dez/14</b>	2083	3300	5650	11.033
<b>jan/15</b>	2667	3865	6452	12.984
<b>fev/15</b>	1738	3385	4743	9.866
<b>mar/15</b>	1572	2740	3828	8.140
<b>abr/15</b>	2015	2808	5173	9.996
<b>mai/15</b>	1668	2701	3994	8.363
<b>jun/15</b>	1652	2690	4279	8.621
<b>jul/15</b>	1649	2940	4539	9.128
<b>ago/15</b>	1785	3366	4774	9.927
<b>MÉDIA</b>	<b>1941</b>	<b>3183</b>	<b>4963</b>	<b>10087</b>

Na Figura 37 é mostrado o consumo do setor de estudo ao longo de 12 meses e a média mensal. Pode-se observar que o mês de setembro de 2014 o consumo foi superior a média. A campanha de campo foi realizada neste mês, o que pode implicar em erros embutidos, se comparados com a média de um ano.

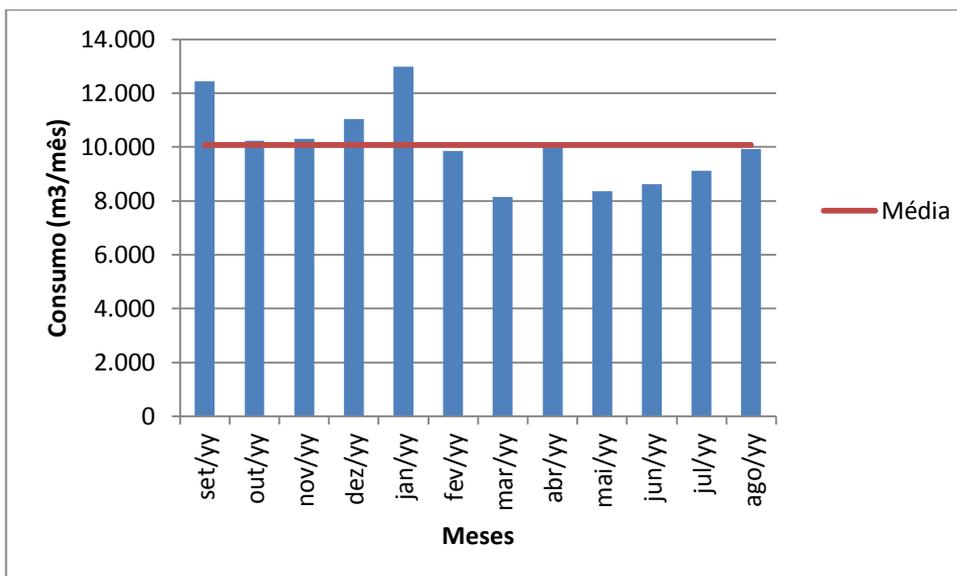


Figura 37- Consumo de água no setor ao longo de um ano

O balanço hídrico estimado para o setor de estudo em São Lourenço-MG é apresentado na Tabela 8.

Tabela 8: Balanço Hídrico do setor em estudo em São Lourenço-MG

Água entrada no sistema  <b>345.475,95</b> (m <sup>3</sup> /ano)  100%	Consumo autorizado  <b>149.376,00</b> (m <sup>3</sup> /ano)  43,24%	Consumo autorizado faturado  <b>149.376,00</b> (m <sup>3</sup> /ano)	Consumo faturado medido  <b>149.376,00</b> (m <sup>3</sup> /ano)	Água faturada  <b>149.376,00</b> (m <sup>3</sup> /ano)  43,24%	
			Consumo faturado não medido  <b>Não existe</b>		
	Perdas de água  <b>196.099,95</b> (m <sup>3</sup> /ano)  56,76%	Consumo autorizado não faturado  <b>Não existe</b>	Consumo não faturado medido  <b>Não existe</b>	Água não faturada  <b>196.099,95</b> (m <sup>3</sup> /ano)  56,76%	
			Consumo não faturado não medido  <b>Não existe</b>		
			Perdas aparentes  <b>4.508,04</b> (m <sup>3</sup> /ano)		Uso não autorizado  <b>586,05</b> (m <sup>3</sup> /ano) Erros de medição  <b>3.922,00</b> (m <sup>3</sup> /ano)
			Perdas reais  <b>191.591,90</b> (m <sup>3</sup> /ano)  55,46%		Vazamentos adução e/ou distribuição  <b>141.191,96</b> (m <sup>3</sup> /ano)
	Vazamentos nos reservatórios  <b>12.354,30</b> (m <sup>3</sup> /ano)				
	Vazamentos nos ramais  <b>38.045,64</b> (m <sup>3</sup> /ano)				

O balanço hídrico foi baseado na metodologia da IWA,. Nos casos onde a concessionária possui estimativas e levantamentos de todos as parcelas do balanço hídrico fica mais fácil, o que não acontece no setor de estudo, onde foram estimados a maioria dos dados apresentados.

Os valores estimados para as perdas totais e reais do sistema são em torno de 56% e 55%, respectivamente. A metodologia se baseou nos dados fornecidos pela concessionária e os valores das perdas pode ser explicado pela idade das tubulações da rede, que são tubulações mais antigas e que sofrem com elevadas pressões ou também erros de medição, onde pode haver mais consumidores que recebem água do setor, porém podem não ter sido contabilizados.

Com relação aos dados de vazamentos estimados, foram baseados em literatura, mas o resultado apresentado foi coerente com os valores obtidos. As perdas reais são equivalentes 97,7% das perdas totais, indicando que os vazamentos podem ser a principal causa das perdas. Dentre as perdas reais, 73,7% são equivalentes aos vazamentos na rede de distribuição, 6,4% é relativo às perdas nos reservatórios e 19,8% equivale aos vazamentos nos ramais.

As perdas aparentes são equivalentes 2,3% das perdas totais, o que indica que a contribuição destas perdas são mínimas se comparadas com as perdas reais. Dentro das perdas aparentes, as parcelas são divididas em usos não autorizados, que correspondem a 13% das perdas aparentes e erros de medição, que equivalem a 87%. Sendo assim, pode-se observar que a maior contribuição das perdas aparentes é relativa aos erros de medição, reforçando a necessidade de manutenção periódica e troca de equipamentos após término de sua vida útil.

## 5.6 DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS ELÉTRICOS

Realizou-se a medição de alguns parâmetros elétricos, entre um deles um levantamento da demanda de potência. Em operação, a demanda de potência média foi de 39 kW. Considerando a potência nominal de 45 kW, o motor trabalha com 87% de carga, e pode ser considerado bem dimensionado. Na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** é apresentado o gráfico com as curvas de demanda de potência durante o dia 25/09/2014, quinta-feira, além dos períodos de funcionamento do conjunto moto-bomba no período.

É possível notar que o gráfico da demanda de potência do dia 25/09/2014 é coincidente com o gráfico de variação de vazão na EE Vila Nova neste mesmo dia (Figura 29), comprovando que o comportamento da vazão na EE Vila Nova está diretamente ligado ao funcionamento ou não das bombas.

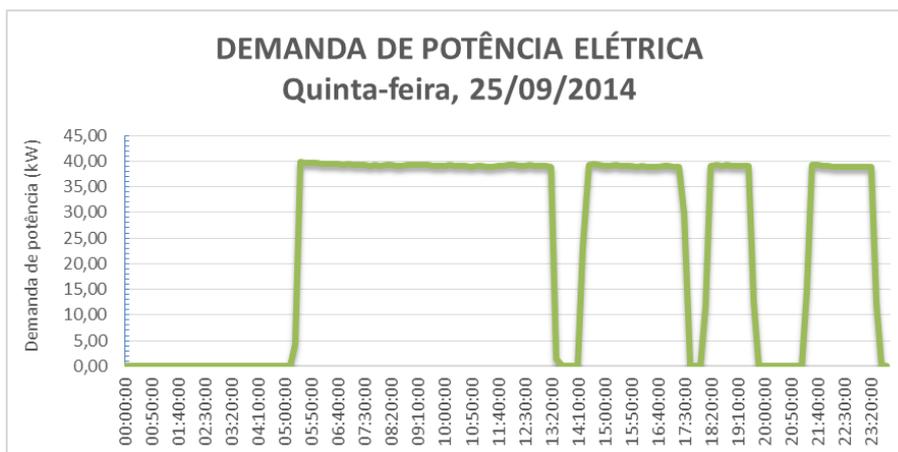


Figura 38 - Demanda de potência elétrica ao longo do dia 25/09/2014, quinta feira.

## 5.7 CONSUMO E BALANÇO DE ENERGIA

Na Figura 39 é apresentado o gráfico dos consumos diários de energia do conjunto moto-bomba da EE Vila Nova. O consumo médio diário foi de 549 kWh, o que equivale a um período de operação médio em torno de 14 horas por dia.

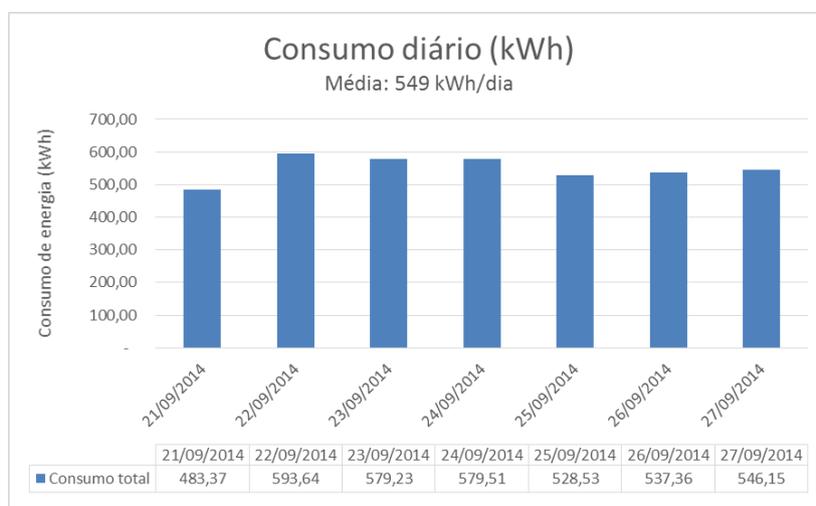


Figura 39 - Consumo diário de energia elétrica da EE Vila Nova ao longo dos sete dias consecutivos

O balanço de energia estimado para o setor é apresentado na Tabela 9.

Tabela 9: Balanço de energia do setor em estudo

$E_{ent}$ (energia de entrada) = <b>92.289,18kWh/ano</b> 100%	$E_{nat}$ (energia natural) = <b>0 kWh/ano</b>	$E_{usu}$ (energia entregue aos usuários) = <b>36.135,92kWh/ano</b> 39,16%	$E_{saíd}$ (energia de saída) = <b>83.574,94kWh/ano</b> 90,56%
	$E_{bomb}$ (energia das bombas) = <b>92.289,18kWh/ano</b> 100%	$E_{perd}$ (energia relativa às perdas) = <b>47.439,02kWh/ano</b> 51,40%	
		$E_{atr}$ (energia perdida devido a atritos) = <b>8.714,24kWh/ano</b> 9,44%	

É possível observar que 100% da energia de entrada do sistema é relativo à energia fornecida pelas bombas, visto que o setor em estudo não possui abastecimento realizado por gravidade, sendo necessário a inserção de energia elétrica e hidráulica para abastecimento.

Com relação às perdas de energia e à energia entregue aos usuários, os valores obtidos, respectivamente, foram em torno de 51,40% e 39,16%. Estes valores são relativamente altos, pois foram obtidos proporcionalmente ao balanço hídrico, que indicou elevados valores de perda de água (superiores à média nacional). Como as perdas de água são superiores a 50%, as perdas de energia também foram as maiores parcelas de contribuição do balanço de energia.

Dentre a energia entregue aos usuários, esta parcela é relativa à quantidade de energia gasta para chegar água a cada um dos consumidores, relativa a energia total bombeada na entrada do setor. Caso tenha redução nas perdas de água, automaticamente ter-se-á redução nas perdas de energia e conseqüentemente aumento dos valores de energia entregue aos usuários.

O valor de energia perdida devido a atritos é equivalente a 9,44% do total de entrada. Este valor, se comparado ao trabalho de Cabrera *et al.* (2010) que encontrou parcelas de

energia perdida por atritos em torno de 40%, é relativamente baixo, porém, vale ressaltar, que a metodologia é diferente pois foi adaptada a metodologia desenvolvida por este autor. Nos casos de rede de distribuição de água, é impossível a comparação entre dois trabalhos, pois cada sistema é único e depende de relevo, condições de manutenção, dentre outros.

Apesar de não ser recomendada a comparação, a metodologia utilizada neste trabalho também foi aplicada por Andrade (2016), porém em local diferente. Andrade (2016) aplicou o balanço de energia em um setor do município de Cambuí-MG e obteve o valor de 2,8% da energia de entrada do sistema como sendo perdas por atrito. Tais diferenças podem ser justificadas por inúmeros fatores como idade das tubulações, manutenção do sistema, pressões, topografia, dentre outros.

Outro ponto a ser destacado é o fato de que 90,56% da energia do sistema é relativo à energia de saída e 9,44% equivale à energia dissipada, isto significa que grande parte da energia ou é perdida ou é entregue aos usuários.

A metodologia de balanço de energia de Cabrera *et al.* (2010) é relativamente recente e nova e existem poucos trabalhos que a tenham aplicado na íntegra. A metodologia aplicada neste trabalho foi uma adaptação, visando sua aplicação prática.

## 6 CONCLUSÕES

Este trabalho foi desenvolvido baseado em dados reais. As campanhas de campo para coleta destes dados se mostraram essenciais para a conclusão e finalização do balanço hídrico e energético do setor em estudo. Foram coletados dados de vazão na entrada do setor, pressão ao longo da rede, parâmetros elétricos e níveis dos reservatórios.

O balanço de energia foi realizado baseado em dados reais e também em estimativas, pois a concessionária não possuía registros de todos os dados requeridos pela IWA para o balanço.

O setor estudado do município de São Lourenço apresentou índices de perdas de água em torno de 56%, divididas em perdas reais e aparentes. As perdas reais são referentes a 97,7% do total de perdas, sobrando uma pequena contribuição de 2,3% às perdas aparentes, o que indica que os vazamentos devem ser monitorados e realizados trabalhos preventivos.

O balanço de energia foi estimado através de uma adaptação da metodologia de Cabrera *et al.* (2010). Foram obtidos como energia relativa às perdas o valor de 51,40%, 39,16% equivalente a energia entregue aos usuários e 9,44% proporcional a energia perdida devido aos atritos.

As metodologias aplicadas se mostraram eficientes quanto ao objetivo proposto e os resultados refletiram todo o esforço concentrado durante as campanhas de campo.

Vale destacar que os resultados gerados necessitaram de informações disponibilizadas pela companhia de água, além do monitoramento de campo ter sido adequado ao prazo limitado para conclusão do mestrado. Embora os resultados obtidos foram considerados bons, existe a possibilidade de aprimoramentos considerando uma maior quantidade de informações.

## **7 RECOMENDAÇÕES PARA NOVAS PESQUISAS**

- Aplicar a metodologia de Cabrera *et al.* (2010) na íntegra para balanço de energia;
- Avaliar planos e ações para redução de perdas reais no setor;
- Estimar redução de consumo e gastos se implantados programas de combate às perdas.

## 8 REFERÊNCIAS

ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; ALMEIDA, M. C.; VIEIRA, P.. **Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Instituto da Água. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, 1 de Novembro de 2005.

ALEGRE, H.; COELHO, S. T.; LOUREIRO, D.. **Modelação e análise de Sistemas de Abastecimento de Água**. Ed.: Instituto Regulador de Águas e Resíduos & Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Portugal, 2006.

ALEGRE, H.; HIRNER, W.; BAPTISTA, J. M.; PARENA, R.. **Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água**. Instituto Regulador de Águas e Resíduos. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. Lisboa, setembro de 2004.

ANDRADE, M. R.. **Balanço hidroenergético de sistema de distribuição de água aplicado a um setor do município de Cambuí - MG**. 210 p. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Itajubá. Itajubá, MG. 2016.

CABRERA, E.; PARDO, M. A.; COBACHO, R.; CABRERA JR, E.. Energy Audit of Water Networks. **Journal of Water Resources Planning and Management**. V. 136, pp. 669-677. 2010.

CHEUNG, P. B.; KIPERSTOK, A.; COHIM, E.; ALVES, W. C.; PHILIPPI, L. S.; ZANELLA, L.; ABEN, G.; GOMES, H. P.; SILVA, B. C.; PERTEL, M.; GONÇALVES, R. F.. Consumo de Água. IN: GONÇALVES, R. F. (org.). **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 1ª ed. Rio de Janeiro: ABES, 2009. V. 1. 290p. Disponível em: <[http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5\\_tema\\_5.pdf](http://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/prosab5_tema_5.pdf)>. Acesso em jan./2016.

CHEUNG, P. B.; DASSAN, K. R. F. O.; PÉREZ, A. M. E. A.; COUTINHO, R.; GIROL, G. V.; BARDALES, K. L. N.; OLIVEIRA, P. A.; IDE, C. N.. Tecnologias de suporte a decisão para auxiliar a gestão hidroenergética em sistemas de abastecimento de água. IN: GOMES, H. P. (org). **Sistemas de Saneamento Eficiência Energética**. 1ª Edição: 2010. Editora da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. cap. 28, p. 360-367.

COELHO, B.; CAMPOS, A. A.. Efficiency achievement in water supply systems - A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 30, p. 59-84, 2014.

COLOMBO, F.. **“Calibração de modelos hidráulicos de redes de abastecimento de água de sistemas reais admitindo vazamentos”**. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

CONDURÚ, M. T.; PEREIRA, J. A. R.. Informação estratégica para a gestão hidroenergética de sistemas de abastecimento de água. IN: GOMES, H. P. (org). **Sistemas de Saneamento Eficiência Energética**. 1ª Edição: 2010. Editora da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. cap. 28, p. 360-367.

CUNHA, C. E. R. **Telegestão de uma rede de abastecimento de água e drenagem de águas residuais**. Dissertação de mestrado em Automação, Instrumentação e Controle. Universidade do Porto. 2007.

DUARTE, P.; ALEGRE, H.; COVAS, D. I. C.. **Avaliação do desempenho energético em sistemas de abastecimento de água**. VIII Seminário Ibero-Americano - SEREA. Portugal, 2008.

FONSECA, F. R. **Modelo de sistema de automação aplicado à setorização de redes de abastecimento hídrico**. 2011.155f.. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Energia e Automação Elétricas. São Paulo, São Paulo.

GAMBOA-MEDINA, M. M. & REIS, L. F. R. “Detecção de vazamentos em redes de distribuição de água para abastecimento: estado da arte.” **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009**.

**GOOGLE MAPS**. Disponível em: <https://www.google.com.br/maps> . Acesso em 27 ago. 2015.

HERNÁNDEZ, E.; PARDO, M.A.; CABRERA, E.; COBACHO, R.. Energy assessment of water networks, a case study. **Water Distribution System Analysis**. Tucson, Arizona, EUA. Setembro, 2010.

**IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em: <http://www.cidades.ibge.gov.br/> . Acesso em: 27 ago. 2015.

KEEDWELL, E.; KHU, S. **A hybrid genetic algorithm for the design of water distribution networks**. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Acesso em 13/05/2014.2004.

LAMOGLIA, H.A., SILVA, F.G.B., VIANA, A.N.C., OTTONI, A.B. Avaliação Hidráulica de Rede de Distribuição de água da cidade de Passos – MG. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. 2011**

LAMOGLIA, H. A. **Estudo da correlação entre perdas de água e energia para setores do sistema de abastecimento de água da cidade de São Lourenço - MG**. 236 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2013.

MALHEIRO, R. **Controle de perdas aparentes em sistemas de abastecimento de água com utilização de telecontagem**. Mestrado integrado em Engenharia Civil – 2010/2011 – Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2011.

MELATO, D. S. **Discussão de metodologia para o diagnóstico e ações para redução de perdas de água: aplicação no sistema de abastecimento de água da região metropolitana de São Paulo**. 2010. 133f. Dissertação (Mestrado). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo. 2010.

MIRANDA, A. M. S. **Fiabilidade De Uma Rede De Abastecimento Público de Água**. Tese de mestrado integrado. Engenharia Civil (Especialização em Hidráulica). Faculdade de Engenharia. Universidade do Porto. 2010.

NAZARÉ, A.V.B., SOUZA, V.C.B. Modelagem e Simulação do Sistema Adutor Principal da Bacia Leiteira utilizando o Epanet. **XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Maceió, 2011.**

ODAN, F. K. **Estudo da confiabilidade aplicado à otimização da operação em tempo real de redes de abastecimento de água**. Tese de doutorado em Ciências, Programa de Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Carlos. 2013

**PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**. DTA - Documento Técnico de Apoio nº A2. Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília, setembro de 2003.

PORTO, R. M. **Hidráulica Básica**. São Carlos: EESC – USP, 2006. p. 169-184.

QUEVEDO, J.; PUIG, V.; CEMBRANO, G.; BLANCH, J.; AGUILAR, J.; SAPORTA, D.; BENITO, G.; HEDO, M.; MOLINA, A. **Validation and reconstruction of flow meter data in the Barcelona water distribution network**. 2010. Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), acesso em 22/06/2014. RAMOS, H. M.; KENOV, K. N.;

ROCHA, V.A.G.M., CASTRO, M.A.H., ARAÚJO, J.K. **Análise Comparativa entre dois métodos de calibração aplicados à rugosidades de redes de distribuição: MIGHA E RNA**. XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2011.

ROMANO, M.; KAPELAN, Z. & SAVIC, D.A. **Bayesian-based online burst detection in water distribution systems**. Integrating Water Systems - 10th International on Computing and Control for the Water Industry. CCWI 2009, pp 331-337.

**SAAE de São Lourenço (MG)**. Serviço Autônomo de Água e Esgoto. 2015. Comunicação pessoal.

SANTOS, A. C. P. A.; PEREIRA, J. A. R.. Utilização de Sistema de Informações Geográficas para controle da ocorrência de vazamentos em redes de distribuição de água potável. IN: GOMES, H. P. (org). **Sistemas de Saneamento Eficiência Energética**. 1ª Edição: 2010. Editora da Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, PB. cap. 28, p. 360-367.

SANTOS, J. **Estudo de Modelo de Calibração para ajuste de parâmetros de rugosidade, demanda e vazamento visando eficiência hídrica e energética em redes de abastecimento de água. Estudo de caso em São Lourenço - MG**. 185 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Itajubá, UNIFEI, Itajubá, 2016.

SEMPEWO, J.; PATHIRANA, A.; VAIRAVAMOORTHY, K. “Spatial analysis tool for development of leakage control zones from the analogy of distributed computing.” **Annual**

**Water Distribution Systems Analysis Conference.** Kruger National Park, South Africa. Aug, 2008.

**SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento.** Ministério das Cidades e Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (2011). “Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos”. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/>. Acesso em maio/2015.

SITZENFREI, R.; MODERL, M.; RAUCH, W. **Automatic generation of water distribution systems based on GIS data.** Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Acesso em 38/05/2014. 2013.

STOKES, J. R.; HORVATH, A.; STURM, R. **Water loss control using pressure management: Life-cycle energy and air emission effects.** Environmental Science & Technology. 2013.

VICENTINI, L. P.. **Componentes do balanço hídrico para avaliação de perdas em sistemas de abastecimento de água.** 2012. 196p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo - SP.

VIEIRA, F. **Environmentally friendly hybrid solutions to improve the energy and hydraulic efficiency in water supply systems.** Disponível em [www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com), Acesso em 30/05/2014. 2011.

VINCIGUERA, V.. **Avaliação do Impacto da Redução de Pressão nas Perdas Reais em Setor de Distribuição de Água do Município de Campo Grande – MS.** 81 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, UFMS, Campo Grande, 2009.

ZANIBONI, N. **Equipamentos e metodologias para o controle e redução de perdas reais em sistemas de abastecimento de água.** Dissertação de mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica, USP. 2009.