

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

DEYVISON LUIZ ANDRADE DE SOUZA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS
ÀS PERDAS DE ÁGUA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO:
ESTUDO DE CASO EM OLINDA/PE**

RECIFE, 2016

DEYVISON LUIZ ANDRADE DE SOUZA

**ANÁLISE DOS IMPACTOS AMBIENTAIS RELACIONADOS
ÀS PERDAS DE ÁGUA EM REDE DE DISTRIBUIÇÃO:
ESTUDO DE CASO EM OLINDA/PE**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-
Graduação em Engenharia de Produção da UFPE,
para a obtenção do grau de mestre.

ORIENTADORA: Profa. Danielle Costa Moraes, D.Sc.

RECIFE, 2016

Catálogo na fonte

Bibliotecária Margareth Malta, CRB-4 / 1198

S729a	Souza, Deyvison Luiz Andrade de. Análise dos impactos ambientais relacionados às perdas de água em rede de distribuição: estudo de caso em Olinda/PE / Deyvison Luiz Andrade de Souza. - 2016. 75 folhas, il., gráfs., tabs. Orientadora: Profa. Dra. Danielle Costa Moraes. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, 2016. Inclui Referências. 1. Engenharia de Produção. 2. Impactos ambientais. 3. Controle de perdas. 4. Planejamento. 5. Meio ambiente. I. Moraes, Danielle Costa. (Orientadora). II. Título. UFPE 658.5 CDD (22. ed.) BCTG/2016-298
-------	--



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

**PARECER DA COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE
MESTRADO ACADÊMICO**

DEYVISON LUÍZ ANDRADE DE SOUZA

“Análise dos impactos ambientais relacionados às perdas de água em rede de distribuição: Estudo de caso em Olinda/PE”

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: GERÊNCIA DA PRODUÇÃO

A comissão examinadora, composta pelos professores abaixo, sob a presidência do(a) primeiro(a), considera o candidato **DEYVISON LUÍZ ANDRADE DE SOUZA**,

APROVADO.

Recife, 29 de Agosto de 2016.

Prof. DANIELLE COSTA MORAIS, Doutora (UFPE)

Prof. CAROLINE MARIA DE MIRANDA MOTA, Doutora (UFPE)

Prof. LÚCIA MARIA MAFRA VALENÇA, Docteur (UFPE)

Dedicado aos meus pais: Djair Andrade de Souza e Rosa Maria de Souza, por tudo o que representam para mim.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por proporcionar o dom da vida e permitir o crescimento da humanidade em sabedoria e conhecimento;

Ao meu pai, Djair Andrade de Souza, minha mãe, Rosa Maria de Souza, meu irmão, Diego Henrique Andrade de Souza e meu sobrinho, Daniel Henrique Verçoza de Souza, pelo amor, carinho e incentivo em minha vida;

À professora Danielle Costa Moraes, pela orientação acadêmica e paciência para o desenvolvimento do trabalho;

À Universidade Federal de Pernambuco, pela estrutura e apoio ao desenvolvimento deste trabalho;

À Compesa, por contribuir para este trabalho disponibilizando os dados da pesquisa;

Aos companheiros de mestrado, pelo companheirismo e incentivo para elaboração do trabalho;

Ao Sensei Sérgio Carvalho, Sensei Fábio Ranyer e ao Sensei Adérito Galvão, pelos ensinamentos e amizade;

Às amigas Edilene Santos, Danielle Araújo, Maria de Jesus, Mirelly Alcantara, Fabrícia Souza, Karen Marquez e Maria Luiza Costa, por toda amizade e carinho;

Aos amigos Jairino Munguba, Raphael Ferro, José Carlos, Edmar Costa, Lúcio Vasconcelos, José Nilton, Marton Paulo, Efrain Acevedo, Hanser Jimenez, Ricardo Cezar e Armando Muchanga, por toda amizade e carinho;

À Kibo dojo, por todo incentivo a elaboração do projeto;

À CNPq, pelo auxílio financeiro durante todo o período de mestrado acadêmico.

RESUMO

O sistema responsável por fornecer água tratada na cidade de Olinda/PE é o sistema Botafogo. Iniciado em 1986, o sistema utiliza captação de mananciais hídricos subterrâneos e superficiais para produzir aproximadamente 17% do volume distribuído de água na Região Metropolitana do Recife. Devido à falta de manutenção e estrutura antiga do sistema Botafogo, há uma grande perda de volume de água, gerando problemas como falta de água para a população, perdas financeiras para a Companhia Pernambucana de Saneamento e, principalmente, impactos negativos ao meio ambiente. O presente trabalho aborda os principais impactos ambientais ocasionados por perdas de água em rede de distribuição, no período de novembro de 2014 a outubro de 2015 e propõe a aplicação de uma metodologia de estruturação de problemas, SSM (*Soft Systems Methodology*) para apontar possíveis ações de redução dos impactos ambientais analisados. Os dados de índices de perdas por distribuição utilizados neste trabalho foram disponibilizados pela Companhia Pernambucana de Saneamento.

Palavras-chave: Impactos ambientais. Controle de perdas. Planejamento. Meio Ambiente.

ABSTRACT

The responsible system for providing treated water in the city of Olinda / PE is the Botafogo system. Started in 1986, the system uses capture of underground and surface water sources to produce approximately 17% of the distributed water volume in the Metropolitan Region of Recife. Due to lack of maintenance and former Botafogo system structure, there is a large loss of water volume, causing problems such as lack of water for the population, financial losses for the Pernambuco Sanitation Company (Compesa) and mainly negative impacts to the environment. This work addresses the main environmental impacts caused by loss of water distribution network in the period from November 2014 to October 2015 and proposes to apply a problem-structuring methodology, SSM (*Soft Systems Methodology*) to identify possible actions of reduction of environmental impacts analyzed. Rates of data loss by distribution used in this study were provided by the Pernambuco Sanitation Company (COMPESA).

Keywords: Environmental impacts. Loss of control. Planning; environment.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1: Esquema de captação de água.....	22
Figura 2.2a: Quebra circunferencial.....	26
Figura 2.2b: Quebra longitudinal.....	26
Figura 2.2c: Quebra da bolsa.....	27
Figura 2.2d: Quebra em espiral.....	27
Figura 2.2e: Pontos de corrosão e furos de ruptura.....	27
Figura 2.3: Relação entre índice de perdas e pressão média noturna.....	31
Figura 2.4: Fatores que influenciam na perda aparente de água.....	33
Figura 2.5: Evolução histórica do indicador de perdas de água.....	34
Figura 2.6: Índice de perdas na distribuição das empresas estatais.....	35
Figura 2.7a: Geofone mecânico	37
Figura 2.7b: Correlacionador de ruídos	37
Figura 2.8: Modelo da SSM em sete estágios	42
Figura 3.1: Cidade de Olinda/PE.....	45
Figura 3.2: Principais redes de distribuição em Olinda/PE.....	49
Figura 3.3: Sistemas de abastecimento de água em Olinda/PE.....	50
Figura 3.4: Subsistemas de abastecimento de água em Olinda/PE.....	51
Figura 3.5: Indicador percentual de perdas de água	53
Figura 3.6: Gráfico do PIB em Olinda, Pernambuco e Brasil.....	54
Figura 3.7: Gráfico de receitas x despesas em Olinda, Pernambuco e Brasil.....	55
Figura 4.1: Fluxograma da metodologia aplicada	61
Figura 4.2: Modelo conceitual do problema	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1: Características de perdas reais e aparentes de água.....	24
Tabela 2.2: Tabela para primeira avaliação de perdas de água.....	26
Tabela 3.1: Volumes distribuídos e faturados em Olinda.....	52
Tabela 3.2: Indicador percentual de perdas de água em Olinda.....	52
Tabela 4.1: Maiores notificações de dengue em Olinda.....	58
Tabela 4.2: Comparação entre modelo conceitual e realidade (fonte: o autor).....	66
Tabela 4.3: Tabela de mudanças possíveis e desejáveis (fonte: o autor).....	67

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1: Índice de perda de água em distribuição.....	25
Equação 2.2: Equação para indicador de percentual.....	29
Equação 2.3: Índice de perdas por ramal	30
Equação 2.4: Índice de perdas por extensão da rede	30
Equação 2.5: Índice infraestrutural de perdas	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas

ABENDI – Associação Brasileira de Ensaio Não Destrutivos

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico

CATWOE- Client-Actors-Transformation process- Weltanschauung - Owner - Environmental constraints

COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

COPLAE - Comissão de Planejamento dos Sistemas de Águas e Esgotos do Recife

CPRM - Companhia de Pesquisa e Recursos Minerais

DMC – Distrito de Medição e Controle

DSE - Departamento de Saneamento do Estado

EE – Estação Elevatória

ETA - Estação de Tratamento de Água

FUNASA – Fundação Nacional de Saúde

ILI - Infrastructure Leakage Index

IPD - Índice de perdas de água na distribuição

ISO - International Organization for Standardization

IWA - International Water Association

Km - Quilômetros

Kpa – QuiloPascal

L - litros

M - Metros

MCA – metros de coluna de água

NBR – Norma brasileira

OL - Olinda

PE - Polietileno

PEAD – Polietileno de alta densidade

PO - Pesquisa Operacional

PVC – Policloreto de Vinil

PNMA - Política Nacional do Meio Ambiente

RAP – Reservatório Apoiado

RMR - Região Metropolitana do Recife

S - segundos

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SCA - Strategic Choice Approach

SIP – Sistema de informação de produção

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SODA - Strategic Options Development Analysis

SSM - Soft Systems Methodology

THM - Trihalometanos

VFB - Value Focused Brainstorming

VFT - Value Focused Thinking

VRP – Válvula redutora de pressão

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	16
1.1 Justificativa	17
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo geral.....	18
1.2.2 Objetivos específicos.....	18
1.3 Metodologia	19
1.4 Estrutura do trabalho.....	20
2. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 Captação de água no estado de Pernambuco.....	21
2.2 Sistema de abastecimento de água e elementos da rede de distribuição	22
2.3 Perdas de água em um sistema de abastecimento	24
2.3.1 Custos por perda de águas.....	24
2.3.2 Índice de perdas na distribuição	25
2.3.3 Quebras em tubulações.....	26
2.3.4 Balanço hídrico e instrumentos de medições	28
2.3.5 Controle sobre perdas reais	30
2.3.6 Controle sobre perdas aparentes.....	32
2.3.7 Perdas de água no Brasil	33
2.5 Impactos ambientais causados por perdas de água.....	38
2.6 Métodos de estruturação de problemas.....	39
2.6.1 Utilização da <i>Soft Systems Methodology</i>	42
2.7 Considerações sobre o capítulo	44
3. ESTUDO DE CASO: O PROBLEMA DAS PERDAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE OLINDA	45
3.1 Sistemas de abastecimento de água em Pernambuco	45
3.2 Descritivo técnico do sistema Botafogo de abastecimento de água	47
3.2.1 Características técnicas	47
3.4 Dados de rede de distribuição	52
3.5 Indicador percentual de perdas de água.....	52
3.5.1 Macromedição e micromedição	54
3.6 Economia em Olinda	54

4. PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA AMBIENTAL ASSOCIADO ÀS PERDAS DE ÁGUA.....	57
4.1 Análise de impactos ambientais causados por perdas de água em rede de distribuição	57
4.2 Proposta de utilização da abordagem SSM para a estruturação do problema ambiental	61
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS	71
5.1 Limitações	71
5.2 Considerações finais	71
5.3 Sugestões para futuros trabalhos	72
REFERÊNCIAS	73

1. INTRODUÇÃO

Entende-se por impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (CONAMA, 1986). Sua modificação pode ser positiva ou negativa e suas consequências podem ser temporárias ou permanentes; reversíveis ou irreversíveis. O mau uso da água associado à falta de manutenção em estruturas e equipamentos do sistema, ligações clandestinas e fraudes são problemas que atingem um sistema de abastecimento de água e podem modificar o meio ambiente a curto, médio ou longo prazo. Um sistema de abastecimento de água preocupa-se em levar água de qualidade a todo um município, entretanto, alguns aspectos podem contribuir para que tipo de abastecimento de água uma determinada região receberá, ou seja, as partes constituintes de um sistema de abastecimento de água são estudadas de acordo com a topografia local, o porte da região, atividades econômicas e, até mesmo, sobre sua localização e posição em função do manancial a ser escolhido. De um modo geral, um sistema de abastecimento de água é constituído por oito fases, são elas: Escolha do manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água - ETA, reservatório, rede de distribuição, ligações domiciliares (FUNASA, 2014).

Os sistemas de abastecimento possuem perdas inevitáveis de água (ABES, 2013). Do ponto de vista operacional, as perdas estão relacionadas com os volumes não faturados, ou seja, o volume perdido de água engloba as perdas físicas, que representam a parcela não consumida, com as perdas não físicas, que corresponde à água consumida e não registrada (Moura et al., 2004). Perdas de água geram custos para a companhia e o índice de perdas serve como uma pré-análise, para conhecer a qualidade do gerenciamento de um sistema de abastecimento (Gomes, 2007). Uma companhia de abastecimento de água deve buscar diminuir o índice percentual de perdas de seus sistemas, para isso, é necessário implementar uma gestão que priorize diminuir e analisar os potenciais impactos ambientais e consequentemente, diminuir custos operacionais.

O sistema responsável pelo abastecimento de água na cidade de Olinda é o Botafogo, supervisionado pela Compesa. O sistema Botafogo capta água através de rios e também utiliza sistema de poços para melhor distribuição de águas. A utilização de poços pode ocasionar sérios problemas ambientais caso não se tenha um bom gerenciamento em perfurações e controle da vazão de água extraída. Também existem perdas de água em

sistemas de poços, mas as quantidades maiores de perdas são sempre em redes de distribuição de um sistema de abastecimento, consequentemente um maior custo operacional e maiores impactos ambientais.

Planos de ação devem ser tomados para diminuir e solucionar problemas ambientais causados pelos sistemas de água. Em geral, as companhias de saneamento devem tomar providências para analisar a relação de índice de perdas de água na distribuição e as consequências ambientais e utilizar uma metodologia para avaliação dos problemas a fim de encontrar possíveis alternativas para redução das perdas de água em sistemas de abastecimentos.

A *Soft Systems Methodology* é um método de estruturação de problemas que possui um organizado e flexível processo, focando na problemática e organizando o processo para a ação de melhoria da situação (Checkland & Poulter, 2006). A abordagem *Soft Systems Methodology* é utilizada para estruturação de problemas e também atua como um sistema de aprendizado para os responsáveis envolvidos na problemática.

1.1 Justificativa

De acordo com a Compesa, o sistema Botafogo de abastecimento de água produz, aproximadamente, 17% do volume de água distribuído na Região Metropolitana do Recife, abrangendo parcialmente o município de Igarassu e sendo o principal responsável pelo abastecimento de água na cidade de Olinda. A estrutura do sistema Botafogo é antiga e possui vazamentos em determinados trechos, isto favorece a contaminação de água na rede de distribuição e pode causar danos a saúde humana de parte da população da RMR com doenças de veiculação hídrica.

Entre as etapas de um sistema de abastecimento de água, a rede de distribuição possui o maior grau de complexidade, graças às variações do consumo que é por natureza, aleatório e sazonal. Ainda também, possuindo variações diárias e também variações em função das épocas do ano (Santana, 1999). Herstein et al. (2009) abordam um estudo sobre as influências de modelos de sistema de distribuição de água e seus respectivos impactos ambientais, que variam desde o design do projeto até o tipo de material escolhido para tubulações na rede de distribuição.

Não somente as companhias de saneamento, mas qualquer empresa deve ter a preocupação em preservar o meio ambiente. Entre os motivos que impulsionam as empresas a

se preocuparem com o meio ambiente, pode-se destacar: pressão do mercado, imagem da empresa, qualidade de vida e lucro (Donaire, 1999). Com a criação da Política Nacional do Meio Ambiente – PNMA, as empresas podem ter enormes prejuízos financeiros caso haja o descumprimento de alguma lei ambiental em vigor. Para companhias de saneamento, a implementação de um método de estruturação de problema que englobe conceitos ambientais é fundamental para auxiliar na diminuição de custos operacionais, melhoria de imagem no mercado e o cumprimento de leis ambientais, consequentemente, diminuição de impactos.

A abordagem SSM é indicada na literatura para estruturação de problemas, pois a abordagem busca resolver conflitos e indica soluções para se atingir uma situação desejável por todos. Para Checkland (1981) a SSM pode ser entendida como um sistema cíclico de aprendizagem. A utilização da abordagem SSM permitirá a Compesa estudar a problemática em questão de várias percepções distintas, desde o técnico, que é responsável pela manutenção do sistema, até o engenheiro, que monitora e coordena a rede de distribuição de água. A SSM também permitirá a todos os envolvidos e funcionários da Compesa conhecer melhor o funcionamento do sistema Botafogo de abastecimento de água e os possíveis impactos ambientais caso haja alguma irregularidade no sistema.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho foi analisar os impactos ambientais produzidos pelas perdas de água em redes de distribuição no sistema Botafogo de abastecimento de água e propor a utilização da SSM para analisar possíveis alternativas para redução dos problemas ambientais.

1.2.2 Objetivos específicos

Para obter resultados no objetivo geral, os seguintes objetivos específicos necessitam ser alcançados:

- Analisar e descrever o funcionamento do sistema Botafogo de abastecimento de água;
- Identificar os impactos ambientais causados pelas perdas de água no sistema;

- Propor a utilização da metodologia SSM à elaboração de procedimentos metodológicos para gerenciamento de perdas de água e alcançar possíveis alternativas para diminuição dos impactos ambientais do sistema Botafogo de abastecimento de água;
- Contribuir para o conhecimento e reflexão sobre a importância da implementação de métodos de estruturação de problemas nas empresas que trabalham com recursos hídricos.

1.3 Metodologia

A metodologia utilizada nesta dissertação é caracterizada como uma pesquisa exploratória e descritiva. Quanto aos objetivos, uma pesquisa exploratória preocupa-se em proporcionar maiores informações sobre determinado assunto, explicitando maior familiaridade com o problema (Gil, 2008). Uma pesquisa descritiva é aquela que expõe características de determinada população ou determinado fenômeno sem haver uma manipulação de fatos observados (Cervo, 2002). Em relação à natureza, será classificado como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos.

Essa pesquisa, como procedimentos técnicos, também é classificada como um estudo de caso, pois o mesmo envolve um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos de maneira que se permita o amplo e detalhado conhecimento (Gil, 2008). O estudo em questão é analisar os impactos ambientais ocasionados por perdas de água na rede de distribuição do sistema Botafogo de abastecimento de água, supervisionado pela Compesa.

Essa pesquisa permite buscar nas literaturas assuntos relativos a manejos em recursos hídricos; perdas de água em sistemas de abastecimentos públicos; impactos ambientais; estruturação de problemas e SSM em artigos acadêmicos, monografias, dissertações de mestrado e livros. A SSM foi selecionada como metodologia de trabalho por sua capacidade de lidar com situações bastante complexas, onde não existe consenso acerca do problema. Esta abordagem será útil na gestão de águas. Deve-se levantar todo o conhecimento disponível na área, identificando teorias produzidas, sendo essa a função do investigador, como também avaliar a sua contribuição para auxiliar a compreender ou explicar o problema objeto da investigação (Koche, 1997).

1.4 Estrutura do trabalho

O trabalho está estruturado em cinco capítulos a seguir:

O capítulo 1 apresenta a introdução, explicando os motivos e a justificativa para o desenvolvimento do trabalho e os objetivos de estudo.

Posteriormente, o capítulo 2 descreve o referencial teórico e a revisão de literatura deste trabalho. Os assuntos abordados serão relacionados ao funcionamento geral de um sistema público de abastecimento de água e partes da rede de distribuição; perdas de águas em sistemas; impactos ambientais associados às perdas de água; método de estruturação de problemas para diminuição de impactos ambientais e utilização da *Soft Systems Methodology*.

O capítulo 3 apresenta um estudo de caso de problemas das perdas de água na rede de distribuição de Olinda/PE.

O capítulo 4 apresenta os potenciais impactos ambientais associados às perdas de água no sistema Botafogo de abastecimento e a utilização da *Soft Systems Methodology* para estruturação do problema ambiental.

Por fim, no capítulo 5 são expostas as limitações, conclusões e considerações finais, bem como sugestões para trabalhos futuros.

2. REFERENCIAL TEÓRICO E REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo, os assuntos abordados serão relacionados aos tipos de água; ao funcionamento geral de um sistema público de abastecimento de água e partes da rede de distribuição; perdas de água em sistemas de abastecimento; impactos ambientais gerados por perdas de água; método de estruturação de problemas e diminuição de impactos ambientais e utilização da *Soft Systems Methodology*.

2.1 Captação de água no estado de Pernambuco

A água é um fator relevante, não apenas para o meio ambiente, como também para outros fatores e utilidades públicas no estado. A Compesa é o órgão responsável pela gestão de águas e esgotamento sanitário no estado de Pernambuco. É uma sociedade anônima de economia mista desde julho de 1974, com fins de utilidade pública. A organização é dotada de personalidade jurídica de direito privado, tendo o Estado como seu maior acionista, assim dizendo, influi diretamente na economia pernambucana (COMPESA, 2010). A Compesa se responsabiliza pela captação de águas no estado de Pernambuco. O planejamento da companhia fez com que houvesse uma extensa expansão em áreas de captação de água em várias localidades. Atualmente, a companhia opera em 173 dos 185 municípios do Estado, incluindo o arquipélago de Fernando de Noronha.

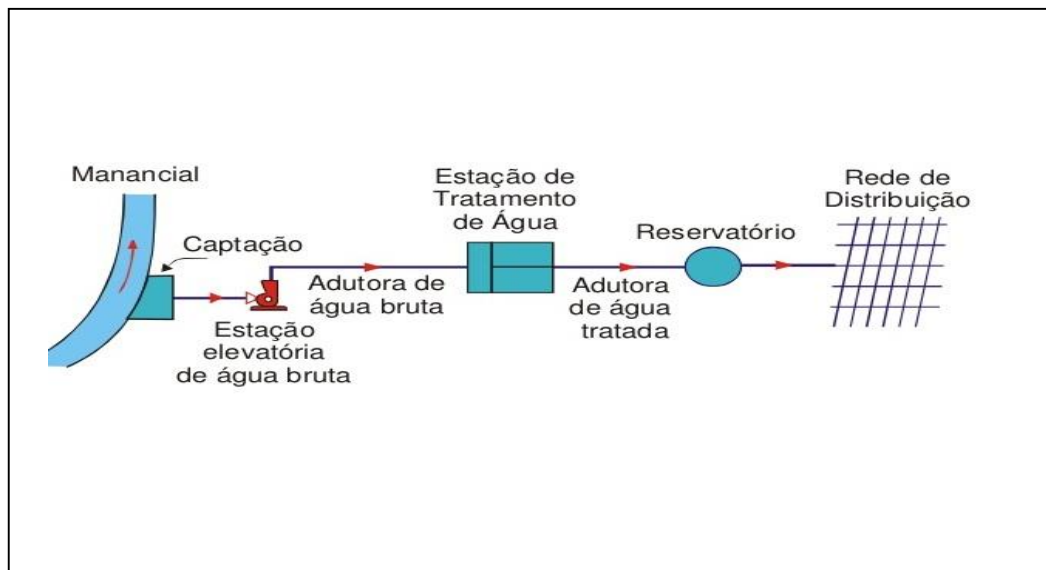
De acordo com a política nacional de recursos hídricos, lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, a água é um bem de domínio público, considerado também um recurso natural finito, dotado de valor econômico (Brasil, 1981). O uso prioritário de recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais. A Agência Nacional de Águas - ANA é a entidade federal de implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, responsável por estabelecer regras para a sua atuação, sua estrutura administrativa e suas fontes de recursos, desde a captação em um determinado manancial, até toda a distribuição em bairros, cidades e estados dentro do território brasileiro.

A captação de água deve levar água de qualidade aos municípios, atendendo necessidades básicas de uma população. Guimarães *et al.* (2007) enfatizam que a busca de um manancial deve ser seguido de um estudo sobre as condições sanitárias local e também sobre a vazão para que atenda a demanda. Caso haja mais um manancial, o aspecto econômico também deve ser levado em consideração juntamente com os aspectos qualitativos e quantitativos da água, pois grandes custos iniciais podem ser refletidos em menores custos de operação e também de manutenção.

2.2 Sistema de abastecimento de água e elementos da rede de distribuição

De um modo geral, um sistema de abastecimento de água é constituído por oito fases, são elas: Escolha do manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório, rede de distribuição e ligações domiciliares. Uma unidade de estação de tratamento é cada um dos elementos da ETA em que certo processo de tratamento se realiza (ABNT, 1992b).

Figura 2.1: Esquema de captação de água



Fonte: Compesa, 2012.

Os sistemas públicos de abastecimento de água compreendem todas as estruturas necessárias desde a captação da água em seu estado bruto (como se encontra disponibilizado no manancial) até o ponto de consumo de água potável (já tratada e utilizada em redes de distribuições). Tsutiya (2006) descreve as partes fundamentais de um sistema, são elas:

- **Manancial:** lugar de onde se é retirada a água, levando em consideração aspectos físicos, químicos e biológicos do ambiente, bem como o aspecto econômico do mesmo para a população. Em um manancial também deve ser observada a quantidade de água disponível para utilização, podendo ser superficial ou subterrâneo.
- **Captação:** conjunto de equipamentos e instalações para retirar água do manancial.
- **Adução:** adutora é uma tubulação normalmente sem derivações, que liga a captação ao tratamento ou o tratamento à rede de distribuição.

- **Estação de tratamento de água:** o tratamento da água visa à adequação da água aos padrões de potabilidade. Pode existir ou não, de acordo com a qualidade da água obtida no manancial.
- **Reservatório:** o objetivo da reservação é o acúmulo da água, objetivando regularizar vazões em função da variação do consumo, manter uma pressão mínima ou constante na rede.
- **Rede de distribuição:** conjunto de tubulações que leva a água do reservatório ou da adutora para os pontos de consumo.
- **Ramal domiciliar:** O ramal domiciliar é a ligação feita das tubulações da rede de distribuição para os consumidores.

A associação brasileira de normas técnicas dispõe de oito normas brasileiras para a elaboração de projetos de sistemas públicos de abastecimento de águas, são eles:

- NBR 12211 - Estudos de concepção de sistemas públicos de abastecimento de água;
- NBR 12212 - Projeto de poço para captação de água subterrânea;
- NBR 12213 - Projeto de captação de água de superfície para abastecimento público;
- NBR 12214 - Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público;
- NBR 12215 - Projeto de adutora de água para abastecimento público;
- NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público;
- NBR 12217 - Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público;
- NBR 12218 - Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público.

As redes de distribuição são constituídas por tubulações, bombas, válvulas e reservatórios, ou seja, órgãos acessórios instalados em regiões para fornecer água potável em quantidade, qualidade e pressão adequada para a população (Heller & Pádua, 2010). Santana (1999) afirma que a rede de distribuição é a parte do sistema de abastecimento de água que possui o maior grau de complexidade, graças às variações do consumo que é por natureza, aleatório e sazonal. Carvalho (2007) descreve componentes importantes para um funcionamento eficiente de uma rede de distribuição, são elas:

- **Trecho:** são os percursos da rede de distribuição, onde a vazão permanece constante, para efeito de dimensionamento;

- **Nó:** ponto de conexão entre dois ou mais trechos, pode ser apresentado como um ponto de consumo associado a uma demanda. Normalmente quando se conecta mais de dois trechos, este nó é dito nó de derivação;
- **Ramal:** conjunto de trechos conectados em série sem nenhum nó de derivação;
- **Artérias:** percursos principais da rede de distribuição, formados por ramaís agrupados em série;
- **Traçado da rede:** configuração da distribuição das tubulações, com a definição da situação topográfica de todos os componentes da rede;
- **Alimentação ou cabeceira da rede:** local de origem da rede. Geralmente coincide com o ponto inicial do sistema de transporte, onde se localiza o reservatório de distribuição ou o bombeamento direto.

2.3 Perdas de água em um sistema de abastecimento

Diversos fatores infraestruturais e operacionais influenciam as perdas de água em um sistema de abastecimento de água. Geralmente, as perdas de água ocorrem na produção (da captação à estação de tratamento) e na distribuição (após o tratamento) (Gonçalves, 1998). Na produção, as perdas relacionam-se a rompimentos das adutoras de água bruta, em equipamentos e conexões de estação elevatória. Na distribuição, ocorrem perdas nas adutoras de recalque de água tratada, estações elevatórias, reservatórios, redes de distribuição, ramaís prediais e unidades consumidoras. As perdas de água geram um forte impacto na economia da companhia responsável pelo abastecimento.

2.3.1 Custos por perda de águas

Sabe-se que as perdas de águas são divididas em reais e aparentes, entretanto, a abordagem econômica para os dois tipos de perdas são diferentes, pois os custos da produção e distribuição de água recaem sobre as perdas reais, já sobre o que se recai sobre as perdas aparentes são os custos de venda da água no varejo, acrescidos dos eventuais custos da coleta de esgotos (ABES, 2013). A tabela a seguir indica as principais características de perdas reais e aparentes de água.

Tabela 2.1: Características de perdas reais e aparentes de água

Itens	Características principais	
	Perdas reais	Perdas aparentes
Ocorrência mais comum	Vazamento	Erro de medição

Custos ligados a volume perdido	Custo de produção	Tarifa
Impactos ambientais	Desperdícios de água	*
Efeitos na saúde pública	Risco de contaminação	*
Empresarial	Perda do produto	Perda de receita
Consumidor	Imagem negativa	*
Efeitos no consumidor	Repasse para tarifa	Repasse para tarifa
	Desincentivo ao uso racional	Incitamento a fraude

Fonte: ABES, 2013

A IWA também definiu dois limites como parâmetros de volumes de perdas em um sistema, são eles:

- Limite econômico, a partir do qual se gasta mais para reduzir as perdas do que o valor intrínseco dos volumes recuperados (varia de cidade para cidade, em função das disponibilidades hídricas, custos de produção, etc.) (ABES, 2013);
- Limite técnico ("perdas inevitáveis"), mínimo, definido pelo alcance das tecnologias atuais dos materiais, ferramentas, equipamentos e logísticos, ou, em outras palavras, nunca haverá perda zero, sempre teremos de conviver com algum volume perdido, por mais bem implantado e operado que seja um sistema de abastecimento (ABES, 2013).

2.3.2 Índice de perdas na distribuição

O IPD leva em consideração toda a perda de água no sistema, não demonstrando se há predominância de perdas reais ou aparentes. Por isso, este tipo de índice serve apenas para uma pré-análise, sendo recomendados outros tipos de análises (Gomes, 2007)

O IPD leva em consideração o volume distribuído e utilizado.

$$IPD (\%) = \frac{(Volume\ distribuído - volume\ utilizado)}{Volume\ distribuído} \times 100 \quad (2.1)$$

Gomes (2007) afirma que devido à facilidade de cálculo, este índice de perdas é amplamente adotado no Brasil, porém, não deve ser utilizado isoladamente para medir desempenho. A tabela 2.2 é utilizada para a primeira avaliação de perdas de água

Tabela 2.2: Tabela para primeira avaliação de perdas de água

IPD	> 40%	Sistema com mau gerenciamento
IPD	Entre 25% e 40%	Sistema com gerenciamento intermediário
IPD	< 25%	Sistema com bom gerenciamento

Fonte: Gomes, 2007.

2.3.3 Quebras em tubulações

Os principais materiais de tubos e peças utilizados ou em utilização em sistemas de distribuição de água são: Ferro fundido cinzento, ferro fundido dúctil, PVC (Policloreto de vinila), polietileno (PE) e fibrocimento. Quanto aos tubos de fibrocimento e ferro fundido cinzento, existem grandes extensões de redes aplicadas no passado, porém, não são mais utilizados (Chama Neto, 2004). O tipo de quebra/falha na tubulação está associado diretamente ao tipo de material e do diâmetro da tubulação. O'day (1982) explica e classifica os tipos de quebra em quatro categorias:

Quebra circunferencial: causadas pela atuação de forças de dobra aplicada as tubulação;

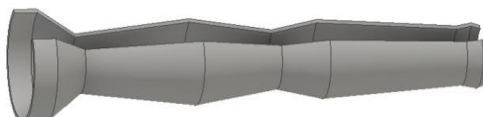
Figura 2.2a: Quebra circunferencial



Fonte: adaptada de Chama Neto, 2004.

Quebra longitudinal: comum em tubulações de grandes diâmetros, sendo causada por diversos tipos de carregamento, tais como pressão de água interna e estresse de carga externa ou mudanças térmicas;

Figura 2.2b: Quebra longitudinal



Fonte: adaptada de Chama Neto, 2004.

Quebra da bolsa: as tubulações de grande diâmetro (>500 mm) têm geralmente um momento de inércia muito elevado para produzir uma falha circunferencial. Ao invés disso, as tubulações de grandes diâmetros falham por ter uma seção quebrada na bolsa;

Figura 2.2c: Quebra da bolsa



Fonte: adaptada de Chama Neto, 2004.

Quebra em espiral: também se pode ocorrer este tipo de quebra em tubulações, algumas vezes ocorre em tubos de diâmetro médio. Este tipo de falha é geralmente associado com oscilação de pressão.

Figura 2.2d: Quebra em espiral



Fonte: adaptada de Chama Neto, 2004.

Há também pontos de corrosão e furos de ruptura em tubulação que podem estar associados a resistência mecânica da parede da tubulação.

Figura 2.2e: Pontos de corrosão e furos de ruptura



Fonte: adaptada de Chama Neto, 2004

Alkasse et al. (2013) encontrou problemas nas tubulações velhas e os diâmetros. Foi feito um estudo de caso em Kinta Valley, dentro do estado de Perak, Malásia. Utilizando a modelagem estatística, o autor encontrou uma correlação linear entre perdas de água e idade média dos tubos.

2.3.4 Balanço hídrico e instrumentos de medições

Um dos padrões internacionais para auditoria de água é o balanço hídrico, pois é uma forma estruturada de avaliar os fluxos, usos e as perdas de água em um sistema. A *international water association* – IWA lançou em 1997 as bases para a uniformização dos conceitos e indicadores em nível mundial, entre elas, o balanço hídrico e as perdas reais inevitáveis, padronizando uma terminologia para os componentes do balanço hídrico.

Tardelli Filho (2006) aponta os componentes básicos do balanço hídrico baseados nos conceitos lançados pela IWA, são eles:

- **Consumo autorizado faturado:** volume que gera receita potencial para a prestadora de serviços de saneamento. Composto pelos volumes medidos nos hidrômetros e pelos volumes estimados nos locais onde não há hidrômetros instalados;
- **Consumo autorizado não faturado:** volume que não gera receita para a prestadora de serviços de saneamento. Composto de volumes medidos e não medidos. Ex: água utilizada para apagar incêndios, água de lava jato;
- **Perdas reais:** quantidade de água perdida em estações de tratamento de água, em reservatórios através de vazamentos e/ou extravasamentos e, ao longo de toda a rede de distribuição;
- **Perdas aparentes:** quantidade de água perdida, mas não contabilizada na companhia, devido a erros operacionais e/ou falhas técnicas como erros de medição em hidrômetros, ligações clandestinas, falhas no cadastro comercial etc.;
- **Volume de águas faturadas:** quantidade de água comercializada, traduzida no faturamento, do fornecedor de água ao consumidor;
- **Volume de águas não faturadas:** representa a diferença entre os totais anuais da água que entra no sistema e do consumo autorizado. Estes volumes incorporam as perdas reais e aparentes, bem como o consumo autorizado não faturado.

A IWA sugere que o balanço hídrico seja quantificado e avaliado com dados anuais. Para se estudar o balanço hídrico, devem-se levar em consideração os fatores que influenciam todo o abastecimento de água de uma região, entre eles: volume fornecido ao sistema, que é o volume de água produzido (volume de entrada); consumo autorizado, que é o volume anual fornecido aos consumidores para usos doméstico, comercial e industrial, esse volume pode ser medido e não medido; perdas de água, que se referem à diferença entre o volume fornecido ao sistema e o consumo autorizado. Dentre estes e outros fatores, há ainda o consumo

autorizados faturados e não faturados, volumes faturados e não faturados e, perdas reais e aparentes. (ABES, 2013)

Não somente os dados de balanço hídrico da região, como também o processo de calibração interferem no planejamento de distribuição de água. O processo de calibração para o sistema de abastecimento de água visa ajustar parâmetros físicos e operacionais para auxiliar o controle de perdas (Ganem et al., 2013). Além de ser um padrão internacional para água nas concessionárias, o uso sistemático do modelo balanço hídrico possibilita estimar o volume de água perdido na distribuição, constituindo uma das melhores ferramentas para o gerenciamento de perdas, trabalhando com indicadores de desempenho em sistema de distribuição de água. Desde os reservatórios de distribuição até os vários lugares de consumo da cidade como ligações domiciliares, hidrantes, o abastecimento de água é feito através de várias redes de distribuição (Barbosa et al., 1999).

Os quatro principais indicadores propostos pela IWA são: o indicador percentual, o índice de perdas por ramal, índice de perdas por extensão de redes e índice infraestrutural de perdas.

- **Indicador percentual:** relaciona o volume total perdido (soma das perdas reais e aparentes) com o volume total produzido ou disponibilizado ao sistema em bases anuais (Tardelli Filho, 2004). É um indicador da ineficiência na utilização dos recursos hídricos e não distingue perdas reais de perdas aparentes:

$$\text{Indicador de percentual} = \frac{\text{Volume perdido Total}}{\text{Volume fornecido}} \times 100\% \quad (2.2)$$

- **Índice de perdas por ramal:** o indicador relaciona o volume perdido total anual com o número médio de ramais existente na rede de distribuição de água, introduzindo um fator de escala para melhor comparar sistemas de diferentes tamanhos (Tardelli Filho, 2004).

$$\text{Índice de perdas por ramal} = \frac{\text{Volume perdido anual}}{\text{nº de ramais} \times 365} \text{ (m}^3\text{ por ramal} \times \text{dia)} \quad (2.3)$$

- **Índice de perdas por extensão da rede:** Relaciona o volume perdido total anual com o comprimento da rede de distribuição de água existente no sistema (Tardelli Filho, 2004).

$$\text{Índice de perdas por extensão} = \frac{\text{Volume perdido anual}}{\text{Extensão da rede} \times 365} \text{ (m}^3\text{ por km x dia)} \quad (2.4)$$

- **Índice infraestrutural de perdas:** o índice infraestrutural de perdas, ou em inglês *Infrastructure Leakege Index*, é a proposta mais atual em se tratando de um indicador de desempenho para perdas reais. O ILI é particularmente útil em sistemas onde a perda de água não faturada é relativamente baixa, por exemplo, abaixo de 20%. Este indicador pode ajudar a identificar quais as áreas podem ter índices mais reduzidos (Farley, 2008). Ressalta-se que o indicador é um número adimensional.

$$\text{Índice infraestrutural de perdas} = \frac{\text{Perdas reais anuais}}{\text{Perdas inevitáveis anuais}} \quad (2.5)$$

Klingel & Knobloch (2015) apresentam uma revisão da aplicação do balanço hídrico para um sistema de abastecimento de água. Segundo os autores, o balanço hídrico deve não apenas medir e calcular as perdas de água, mas também deve ser utilizado para estimar valores. No entanto, em muitos casos o balanço hídrico não é utilizado como deve ser, por isso muitos resultados são valores informativos limitados.

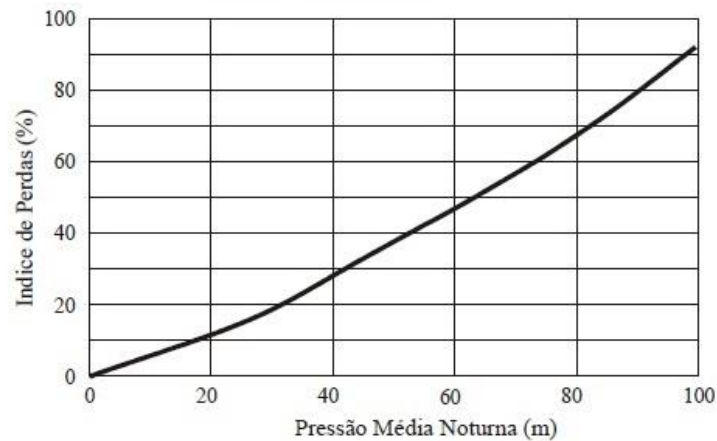
2.3.5 Controle sobre perdas reais

Segundo Tardelli Filho (2005) diversos fatores potencializam as perdas, como, por exemplo, a péssima qualidade dos materiais, dos componentes e da mão de obra; características e movimentação dos solos; aumento da pressão; o tráfego pesado; a idade da rede etc. Dentre os fatores citados, a falta de controle de pressão nas redes hidráulicas se destaca, pois isso resulta em um aumento significativo no volume de vazamentos invisíveis e inerentes.

A gestão de pressão é uma das mais importantes intervenções para a redução de perdas reais (físicas) em sistemas públicos de abastecimento de água. De modo geral, a diminuição da pressão em grandes sistemas implica na redução do volume perdido por vazamentos. Do

ponto de vista econômico, uma política operacional de controle de pressões é extremamente importante e necessária (Yazbek Filho, 2003).

Figura 2.3: Relação entre índice de perdas e pressão média noturna



Fonte: Yazbek Filho 2003.

Stokes, Horvath e Sturm (2013) avaliaram a gestão da pressão nas cidades de Philadelphia, Estados Unidos da América e a região de Halifax, localizada no Canadá, concluíram que uma gestão de pressão eficiente é um forte aliado ao combate às perdas reais de água.

Em resumo, quatro ações apresentadas a seguir são eficientes para um maior controle de perdas reais de água (FUNASA, 2014).

- **Controle de pressão:** gerenciar as pressões garantindo uma operação eficiente e minimizar ocorrência e vazões de vazamento;
- **Rapidez e qualidade dos reparos:** buscar reparar danos estruturais de maneira rápida e eficiente;
- **Gestão da infraestrutura:** gerenciar, de maneira adequada, todo um sistema de abastecimento de água;
- **Controle ativo de vazamentos:** corresponde à realização de varreduras periódicas mediante o uso de equipamentos de detecção acústica, para buscar vazamentos não visíveis ou ocultos.

O grupo de trabalho sobre perdas de água da IWA sugere ações para minimizar significativamente o volume de perdas de água. Entretanto, diversos estudos foram realizados para se entender a natureza e o impacto dos vazamentos. Busca-se implementar ações para reduzir, controlar e gerenciar as perdas reais.

2.3.6 Controle sobre perdas aparentes

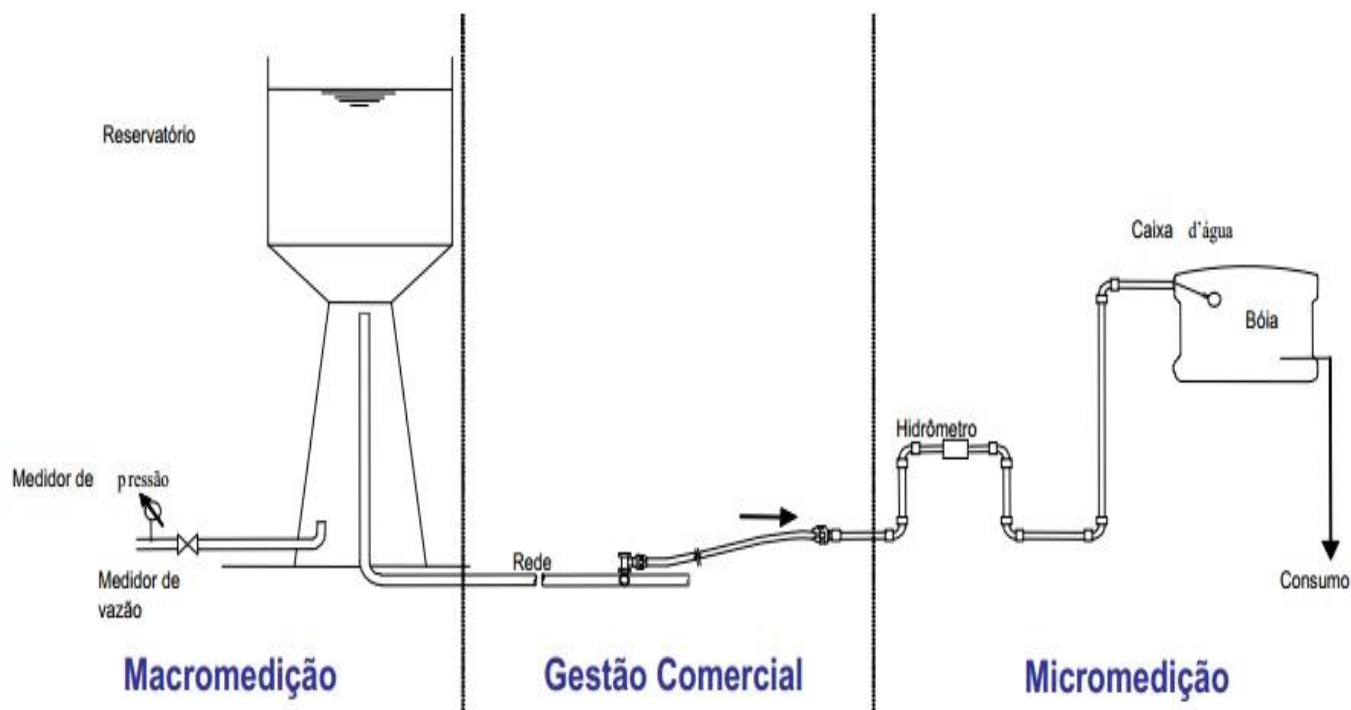
Os fatores que influenciam as perdas aparentes de água têm relação com ligações clandestinas, fraudes e/ou hidrômetros parados e submedições. O grupo de trabalho sobre perdas de água da IWA também sugere algumas soluções para o controle de perdas aparentes de água. A seguir, são apresentadas as principais ações para reduzir as perdas aparentes de água (FUNASA, 2014).

- **Combate a fraudes e ligações clandestinas:** incentivo a programas de regularização de tubulações em comunidades e em áreas invadidas;
- **Redução de erros de medição:** erros medidos em hidrômetros, que influenciam negativamente o sistema de abastecimento de água;
- **Qualificação de mão de obra:** trabalhar com profissionais competentes e qualificados para o serviço desejado;
- **Implementação de sistema comercial adequado:** buscar atualizar cadastros de clientes, combater falhas no processo de sistema comercial.

Os instrumentos de medição também possuem uma grande função em um sistema de abastecimento de água, pois se houver alguma alteração ou irregularidade operacional, há um risco de perdas de informações sobre a vazão disponível de água dentro do sistema. Tardelli Filho (2006) faz menção de três situações básicas onde os hidrômetros devem ser trocados, são elas:

- **Manutenção corretiva:** é a substituição de aparelhos quando há ocorrência de problemas no funcionamento do hidrômetro e impedem a leitura, como violações e embaçamento;
- **Manutenção preventiva:** neste tipo de manutenção, faz-se uma troca preventiva depois de um determinado tempo de instalação ou volume medido;
- **Adequação:** é a troca em função da inadequação do consumo com o hidrômetro instalado.

Figura 2.4: Fatores que influenciam na perda aparente de água.



Fonte: SABESP, 2005

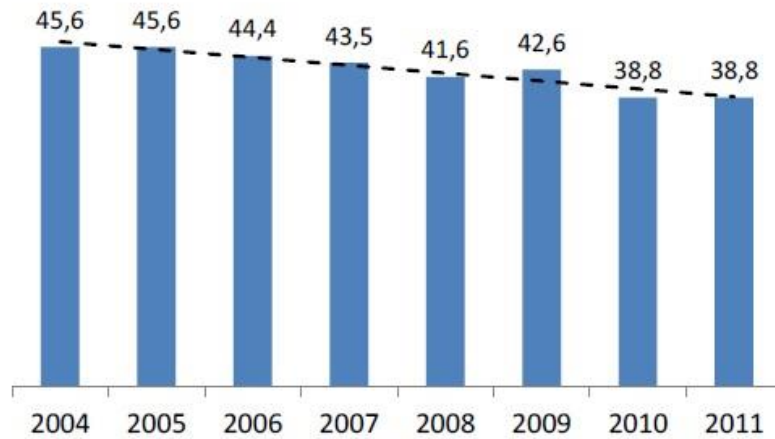
De acordo com Gularte (2005), a principal causa de perdas aparentes no parque de hidrômetros é a submedição. Sendo necessária uma política regular de aferição e substituição de hidrômetros para um controle de perdas. É necessário que todos os envolvidos no combate a perda de água sejam capacitados. Até mesmo uma simples leitura de um hidrômetro depende do nível de qualificação dos leituristas.

2.3.7 Perdas de água no Brasil

No Brasil, a situação está longe do observado em países desenvolvidos e a situação de perdas é muito desigual quando se comparam unidades da federação, operadores públicos e privados de saneamento básico. Os indicadores de perda de água das operadoras de saneamento no Brasil mostram que ainda há muita ineficiência na produção da água. A seguir, são mostrados indicadores de perdas de água e eficiência energética, atualizados com dados do Ministério das Cidades (SNIS, 2013).

O nível de perdas no Brasil passou de 45,6% em 2004 para 38,8% em 2011, uma queda de 6,8 pontos percentuais no período. O quadro é ainda mais preocupante porque a maior parte das empresas não mede suas perdas de água de maneira consistente.

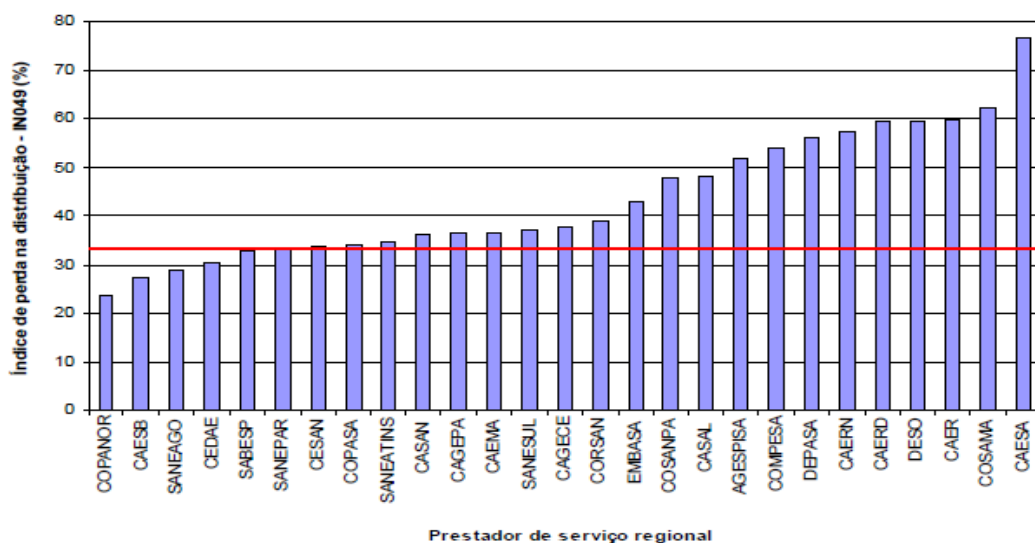
Figura 2.5: Evolução histórica do indicador de perdas de água %



Fonte SNIS, 2011.

A figura 2.6 mostra uma comparação entre as principais empresas brasileiras e seus respectivos índices de perdas em distribuição de água.

Figura 2.6: Índice de perdas na distribuição das empresas estatais



Fonte SNIS, 2013.

Observa-se que a Compesa possui uma perda sobre o faturamento de aproximadamente de 57%, ultrapassando o valor da média de 40,7%. De acordo com a tabela 2.2, Pernambuco possui sistemas com mau gerenciamento.

2.4 Importância da setorização de redes na operação

A divisão da grande extensão da rede de distribuição de água em setores e subsetores pode ser um aliado do sistema de águas ao combate às perdas. A vantagem da setorização é que se possibilita identificar com maior eficiência os pontos da rede sujeitos a maior incidência de vazamentos (Dantas, 1999). Gonçalves (2007) explica as partes fundamentais da setorização, são elas:

- **Zona de pressão:** área de abrangência por uma subdivisão da rede, na qual as pressões estática e dinâmica obedecem a limites prefixados;
- **Setor de macromedição:** parte da rede de distribuição delimitada e isolável com a finalidade de acompanhar a evolução do consumo, e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida continuamente através de macromedidor instalado na(s) linha(s) de alimentação e de saída, quando houver transferência para outro setor;

- **Distrito de medição temporária:** parte da rede de distribuição delimitada e isolável com a finalidade de acompanhar, temporariamente, a evolução do consumo e avaliar as perdas de água na rede, cuja vazão é medida através de equipamentos portáteis ou de instalação provisória;
- **Setor da manobra:** menor subdivisão da rede de distribuição, cujo abastecimento pode ser isolado sem afetar o abastecimento do restante da rede.

Recomenda-se que setores de abastecimento, zonas de pressão, distritos, setores de macromedição e de manobra sejam sempre indicados e mantidos atualizados em cadastros técnicos de redes e mapas temáticos, isso facilitará o gerenciamento do sistema de abastecimento de água. (Gonçalves, 2007)

2.4.1 Controle ativo dos vazamentos

O controle ativo de vazamentos representa a ação sistemática desenvolvida no sentido de localizar vazamentos não visíveis, através de métodos acústicos de pesquisa e repará-los, sendo também um método bem sucedido como parte de um plano global para reduzir e, posteriormente, manter o nível de perdas esperado. Ao longo dos anos tem sido aplicado com muito sucesso em redes de todo o mundo. (ABENDI, 2005).

No caso de controle passivo de vazamentos, que se opõe ao controle ativo de vazamentos, os reparos são feitos somente quando se tem um agravamento do vazamento, geralmente comunicado pela população. A quantidade perdida de água, neste caso, é muito maior e muitas vezes não é tão simples detectar vazamento, pois alguns solos possuem características que dificultam a visibilidade de afloramentos, fazendo com que a perda de água seja contínua. (Tardelli Filho, 2006).

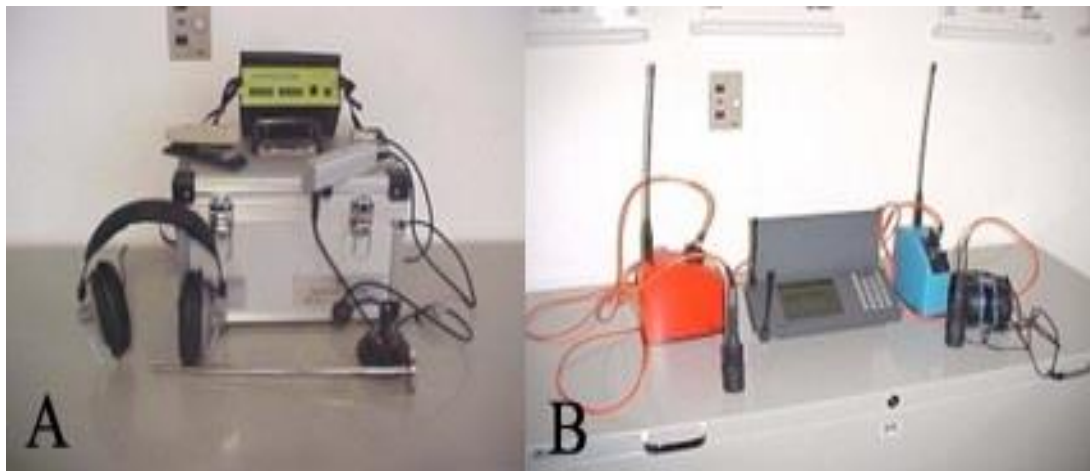
Alguns métodos acústicos de pesquisas são citados a seguir:

- **Haste de escuta:** composta por um amplificador (mecânico ou eletrônico) ligado a uma haste metálica. A haste é introduzida no solo e capta ruídos produzidos pelos vazamentos em acessórios da rede, como hidrantes, cavaletes, registros, etc. A haste indica vazamentos nas proximidades, entretanto, não indica o local preciso do vazamento (Sabesp, 2006);
- **Geofone:** composto por um sensor, um amplificador, um filtro de ruídos e um fone de ouvidos, conforme a figura 2.7a. O sensor é posicionado na superfície do solo, acima

das tubulações, e o ruído é captado. O vazamento se localiza exatamente abaixo do ponto em que o ruído é mais intenso. O geofone pode ser mecânico, que é mais simples e não conta com um filtro de ruídos (apresentando, assim, menor precisão, uma vez que a avaliação da intensidade dos ruídos cabe ao operador) (SABESP, 2006);

- **Correlacionador de ruídos:** composto de uma unidade principal processadora, pré-amplificadores e sensores, que identifica a posição do vazamento entre dois pontos determinados de uma tubulação, conforme a figura 2.7b. Baseia-se na diferença de tempo que o ruído de vazamento leva para atingir cada um dos sensores. (SABESP, 2006);
- **Equipamentos auxiliares:** de acordo com a Abendi (2005), os equipamentos auxiliares têm a sua importância na detecção de vazamentos, entretanto, não são utilizados diretamente na localização do vazamento.

Figura 2.7: instrumentos acústicos de pesquisa



Fonte: SABESP, 2006.

Mutikanga et al. (2013) enfatiza na importância do monitoramento de perdas de água através de métodos conhecidos na literatura. O autor apresenta métodos para auxiliar na gestão de perdas de água, entre eles: quantificação de perdas de água através do balanço hídrico, monitoramento da fuga de água, detecção de fugas e controle de pressão na rede. Ainda de acordo com os autores, uma ferramenta de apoio importante ao combate as perdas

de água é a análise de decisão multicritério, sendo interessante a utilização na área de recursos hídricos, porém pouco utilizada na aplicação às perdas de água.

2.5 Impactos ambientais causados por perdas de água

As elevadas perdas de água tornaram-se um dos maiores problemas dos sistemas de abastecimento de água brasileiro. Contribuem para tal situação, dentre outros motivos, a baixa capacidade institucional e de gestão dos sistemas; a pouca disponibilidade de recursos para investimentos, sobretudo em ações de desenvolvimento tecnológico na rede de distribuição e na operação dos sistemas; a cultura do aumento da oferta e do consumo individual, sem preocupações com a conservação e o uso racional; e as decisões pragmáticas de ampliação da carga hidráulica e extensão das redes até áreas mais periféricas dos sistemas, para atendimento aos novos consumidores, sem os devidos estudos de engenharia (Miranda, 2006).

O processo de gestão ambiental é de suma importância para a preservação hídrica e o desenvolvimento geral do estado; baseado em conceitos ambientais, foi criada a política nacional do meio ambiente - PNMA, lei Nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, com o intuito de preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no país, condições ao desenvolvimento socioeconômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana (Brasil, 1981). Inserido neste contexto, o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA desenvolve a resolução 001/1986, falando acerca de impactos ambientais, ou seja, considera-se impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam:

I - a saúde, a segurança e o bem-estar da população;

II - as atividades sociais e econômicas;

III - a biota;

IV - as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;

V - a qualidade dos recursos ambientais.

A norma ISO 14001 (2004) classifica os impactos ambientais em:

- Impacto Adverso: causa uma mudança negativa ao meio ambiente, como por exemplo, esgotamentos dos recursos naturais renováveis e não renováveis e a contaminação do solo, da água e do ar, comprometimento da biodiversidade, erosões e compactações do solo, doenças e lesões, dentre outros;
- Impacto Benéfico: causa uma mudança positiva no meio ambiente, por exemplo: regenerações, redução de consumos, descontaminações, geração de riquezas, dentre outros.

Os desperdícios de recursos hídricos podem levar uma companhia a explorar novos mananciais ou aumentar a vazão de água produzida em um sistema de abastecimento, isto gera fortes danos ao meio ambiente. As perdas reais de água em sistema de abastecimentos afetam diretamente a economia da população, pois a água que seria destinada a usos em atividades específicas será perdida, fazendo com que as atividades que dependem dela não sejam realizadas. Na atualidade, pode-se identificar os seguintes usos para a água: consumo humano, uso industrial, irrigação, geração de energia, transporte, aquicultura, preservação da fauna e da flora, paisagismo e assimilação e transporte de efluentes. De acordo com cada tipo de uso, a água deve apresentar características físicas, químicas e biológicas que garantam a segurança dos usuários, a qualidade do produto final e a integridade dos componentes com os quais entrará em contato. Muitas vezes, ela é utilizada simultaneamente para atender às necessidades de duas ou mais categorias mencionadas. O chamado uso múltiplo da água pode gerar conflitos entre diversos segmentos da sociedade (Mierzwa e Hespanhol, 2005).

A perda de água em sistemas de abastecimento não é o único responsável por impactos ambientais. Herstein et al. (2009) abordam um estudo sobre as influências de modelos de sistema de distribuição de água e seus respectivos impactos ambientais. Os autores afirmam que os tipos de materiais utilizados para a tubulação também geram impactos ambientais. Oldford & Fillion (2013) também citam a importância de um modelo de sistema de abastecimento de água que minimize os impactos ambientais. Os autores preocupam-se com a minimização de impactos ambientais na construção e na operação do sistema.

2.6 Métodos de estruturação de problemas

Uma solução para auxiliar as companhias de abastecimento de água a cumprir o seu papel no controle de potenciais impactos ambientais é a utilização de métodos de estruturação de problemas. Os métodos de estruturação de problemas surgiram graças às dificuldades e limitações enfrentadas por gerentes e pesquisadores ao utilizarem, de forma exclusiva, as

ferramentas quantitativas oferecidas pelo paradigma clássico da pesquisa operacional, mais conhecido como PO hard (Mingers & Rosenhead, 2004; Rosenhead, 2006; Mingers, 2011; Ackermann, 2012).

Segundo Mingers E Rosenhead (2004), os métodos de estruturação de problemas são aplicáveis em situações problemáticas que apresentem características, tais como: múltiplos atores, diferentes perspectivas, conflitos de interesse e incerteza.

Checkland ao prestar consultorias e a partir da constatação de que nem todos os problemas e situações apresentadas no campo de administração de empresas são precisos, e que, nestes casos, as metodologias chamadas “hard” não surtem o efeito desejado na ocasião de sua formulação, sugeriu uma mudança das experiências sistêmicas na direção do enfoque internacionalmente conhecido como *soft-systems*. (Gonçalves in Martinelli; Ventura, 2005).

Vidal (2006) descreve da seguinte maneira as diferenças entre as abordagens *hard* e *soft*:

- A modelagem dos problemas pela *PO-hard* adota os princípios matemáticos como função objetivo, enquanto na *PO-Soft* a modelagem é qualitativa tendo como base a interpretação da problemática e uso de modelos conceituais;
- Ao adotar os princípios da *PO-hard*, o pesquisador age no processo como conselheiro, já o pesquisador que escolhe a abordagem da *PO-soft* atua em ambientes em que todos os atores possuem participação ativa na modelagem e na resolução dos conflitos;
- Enquanto que a estruturação dos problemas na *PO-hard* segue os princípios do pensamento da era das máquinas, a *PO-Soft* segue o pensamento da era dos sistemas.

O método de estruturação de problemas deve abordar de maneira clara a problemática e apresentar o diagnóstico da situação, isto irá auxiliar na tomada de decisão e no acompanhamento e controle de impactos ambientais da empresa. Viterbo (1998) afirma que as reduções em impactos ambientais são dadas com a melhoria de produtos, processos e serviços, o que responsabiliza a empresa e não o meio ambiente.

Vários métodos de estruturação de problema são mencionados na literatura, entre eles: *Value Focused Thinking* (VFT), *Análise de Robustez*, *Value Focused Brainstorming* (VFB), *Drama Theory*, *Strategic Options Development and Analysis* (SODA), *Strategic Choice Approach* (SCA) e *Soft Systems Methodology* (SSM). Segundo Mingers & Rosenhead (2004) os métodos de estruturação de problemas mais utilizados na literatura são: SODA, SCA e SSM. A seguir, uma apresentação de alguns métodos utilizados em literatura.

- **Strategic Options Development and Analysis** - SODA é usada para tomada de decisões em grupo em situações caracterizadas por incertezas e complexidades que não pode ser resolvidos por modelos quantitativos formais (Eden e Huxham, 1988). É um método de identificação de problemas que utiliza o mapa cognitivo como modelagem para obter e registrar visões individuais de uma situação problemática. Esse mapa cognitivo está definido como uma hierarquia de conceitos, relacionados por ligações de influência, entre conceitos meios e fins (Montibeller Neto, 1996), e é usado para estruturar, analisar e dar sentido aos problemas (Ackermann *et al.*, 1992);
- **Strategic Choice Approach** - A metodologia SCA foi criada por John Friend em parceria com outros profissionais no *Institute For Operational Research* (Friend & Hickling, 2005). É uma abordagem centrada no gerenciamento de incertezas em situações estratégicas, apoia as decisões que vão ser tomadas pelo grupo dos tomadores de decisões, provendo de diferentes técnicas para as áreas, enfoque, incertezas e esquemas de portfólio. O grupo identifica áreas prioritárias, explora o problema e cria plano de contingência (Curo, 2012);
- **Análise de Robustez** - É uma abordagem que foca-se na manutenção de uma flexibilidade útil dentro das incertezas. Em um processo iterativo, onde os atores avaliam a compatibilidade de ambas as alternativas iniciais com as possíveis configurações futuras do sistema, sendo planejado para cada configuração de um ambiente futuro viável (Curo, 2012);
- **Drama Theory** - É um método iterativo de análise de cooperação e conflito entre múltiplos atores. Procura por dilemas presentes nos atores dentro deste modelo de situação. Cada dilema é um ponto de mudança que tende a provocar no autor sentimentos de emoções e produz argumentos racionais que fazem o modelo ser redefinido. Haverá sucessivas definições até que sejam eliminados todos os dilemas pelos autores, resolvendo o problema completamente (Curo, 2012);
- **Soft Systems Methodology** - É um método para o redesenho do sistema. Os participantes constroem um modelo de conceito ideal, um para cada visão do mundo relevante. Eles comparam estas visões com as percepções existentes no sistema de forma a gerar debate sobre mudanças culturais viáveis e sistematicamente desejáveis (Curo, 2012). A SSM foi proposta por uma equipe liderada por Peter Checkland, a partir dos anos 60, com o objetivo de resolver problemas em empresas, de maneira

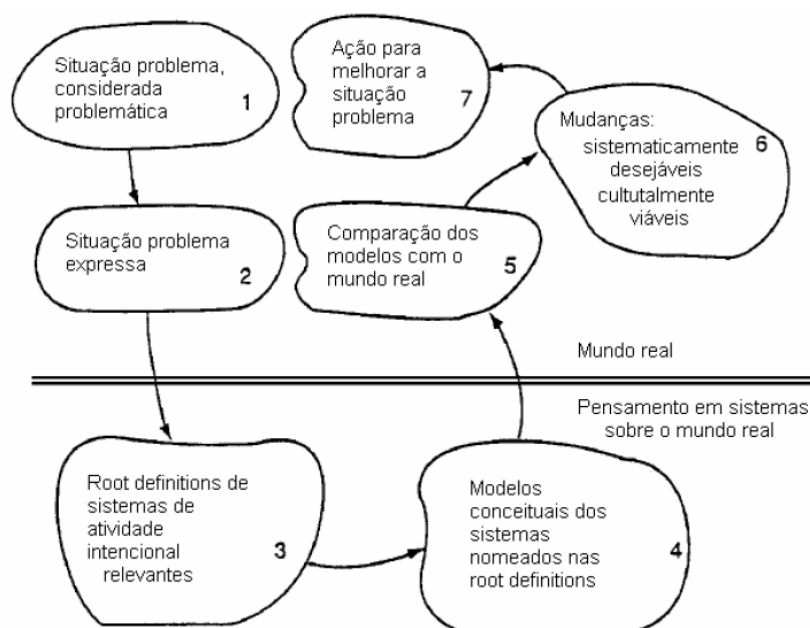
sistêmica e em situações onde os mesmos se mostravam pouco estruturados ou mesmo obscuros (Gonçalves in Martinelli; Ventura, 2005).

A utilização da metodologia SSM foi escolhida para este trabalho devido a fácil linguagem de compreensão para todos os envolvidos na problemática, pois a metodologia reconhece as diferentes percepções do problema de acordo com cada envolvido. A metodologia busca usar uma modelagem verbal combinando as visões individuais e utiliza comparações do mundo sistêmico com o mundo real.

2.6.1 Utilização da *Soft Systems Methodology*

A metodologia SSM utiliza o raciocínio sistêmico em sua análise, promovendo um caminho para resolução de conflitos através de reflexão sobre as origens e as implicações do problema em questão. Para Checkland (1981) a SSM pode ser entendida como um sistema cíclico de aprendizagem. Este sistema cíclico baseia-se em uma situação-problema. Então uma ideia sistêmica é proposta para melhorar a situação. A ideia é testada e algumas lições são aprendidas através do resultado do teste. A questão não é resolver o problema, mas sim colocar as ações em prática e aprender com os resultados gerando uma nova situação. Em outras palavras, a SSM tem o foco baseado num conjunto organizado de princípios que servem de guia para ação na tentativa de gerenciar situações problemáticas do mundo real (Costa, 2002). A figura 2.8 indica os sete estágios para a aplicação da SSM enfatizando suas características de apoio à aprendizagem e à reformulação de hipóteses (Checkland, 1981).

Figura 2.8: Modelo da SSM em sete estágios



Fonte: Checkland, 1981.

De acordo com Checkland (1981), os dois primeiros estágios buscam a expressão e exploração do problema extraído da realidade, para isso elabora-se uma figura rica para melhor compreensão da situação. O terceiro estágio busca construir definições sucintas de sistema relevantes do processo SSM. Para identificação do sistema relevante, definem-se os elementos *CATWOE* (*Client - Actors - Transformation process - Weltanschauung - Owner - Environmental constraints*), os elementos são importantes para tomada de decisões.

- Cliente - Vítimas ou beneficiários do processo de transformação;
- Atores - Responsáveis pelo sistema de transformação;
- Transformação do processo - A transformação de uma situação não desejada para uma situação desejada;
- Visão do mundo - Percepção ou visão geral;
- Dono - Proprietário que tem o poder de modificar ou parar o processo de transformação;
- Restrições ambientais - Restrições políticas, culturais, sociais ou ambientais que afetam o sistema.

Os estágios finais da SSM preocupam-se em elaborar o modelo, compará-lo a realidade e aplicar possíveis mudanças para melhoria. Na avaliação de uma organização, deve-se levar em conta as percepções daqueles que trabalham no seu dia-a-dia e que estão envolvidos com suas deficiências e qualidades. A SSM objetiva o consenso a partir da participação de pessoas de todos os níveis organizacionais (Patching, 1992).

Bunch (2003) utilizou a metodologia SSM para uma abordagem ecossistêmica do rio Cooum e lugares próximos em Chennai, Índia. A aplicação da metodologia SSM como ferramenta de apoio a gestão e reabilitação do rio Cooum gerou novas ideias sobre a problemática do rio e possíveis ações. O autor afirmou que a metodologia SSM também auxiliou na compreensão da situação e serviu como base para estudos.

Suriya & Mudgal (2013) também utilizaram a metodologia SSM em gestão de inundações. O estudo de caso na bacia hidrográfica de Adayar, em Chennai, Índia. Os autores apontaram a metodologia SSM como um aliado ao estudo em sustentabilidade para gestão de inundações na região. Kagaya (2008) também utiliza a metodologia SSM para medição de

desempenho do setor de água em Uganda. O autor afirma que os profissionais dos setores de água são confrontados com os problemas sociais e gestão política da gestão de água, mas com a aplicação da metodologia SSM os responsáveis tiveram uma melhor visão sobre a problemática, isto auxiliou no desenvolvimento de soluções e melhor desempenho do setor de água em Uganda.

Cunha et al. (2015) utiliza a aplicação da SSM para promover a melhoria da eficiência em sistemas de abastecimento de água. Os autores apontaram conclusões favoráveis a utilização da SSM por caracterizar de forma mais abrangente o contexto do problema de decisão. A abordagem SSM possibilitou identificar critérios relevantes para melhorar a eficiência dos serviços de abastecimento de água

2.7 Considerações sobre o capítulo

As perdas de água em um sistema de abastecimento são inevitáveis e ocorrem em todo o mundo. Diversos fatores influenciam para as perdas, entre eles: tubulações velhas e falta de manutenção em sistemas de abastecimento. O índice de perdas de água na distribuição serve como uma pré-análise o aproveitamento da água no sistema, caso este índice seja alto o sistema pode ter um mau gerenciamento e com isso causar impactos ao meio ambiente. Os impactos ambientais podem ser reversíveis ou não, isto depende da quantidade de água perdida e a região diretamente afetada pelas perdas.

3. ESTUDO DE CASO: O PROBLEMA DAS PERDAS NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO DE OLINDA

O presente capítulo apresenta os tipos de sistemas de abastecimento de água gerenciados pela Compesa, especificamente o sistema Botafogo de abastecimento. O capítulo abordará o índice de perdas de água na distribuição no período de novembro de 2014 a outubro de 2015.

3.1 Sistemas de abastecimento de água em Pernambuco

A Compesa possui o objetivo de fornecer saneamento ambiental de qualidade para toda a população do estado, bem como a distribuição de água para atender toda a demanda. Dessa forma, se faz necessário a utilização de métodos que possam utilizar e distribuir a água de forma eficiente, de maneira que se diminua ao máximo o índice de desperdício no estado de Pernambuco, principalmente na RMR.

Com uma área aproximada de 2 770.452 km² e constituída principalmente por uma planície aluvial, a RMR engloba 14 municípios: Jaboatão dos Guararapes, Olinda, Paulista, Igarassu, Abreu e Lima, Camaragibe, Cabo de Santo Agostinho, São Lourenço da Mata, Araçoiaba, Ilha de Itamaracá, Ipojuca, Moreno, Itapissuma e Recife (Bitoun et al., 2010). A cidade de Olinda possui uma área aproximada de 43,55 km², dividida entre 36,73 km² de área urbanizada e 6,82 km² de área rural (Olinda, 2016). O principal problema é que as áreas não são setorizadas, o que contribui para um grande desperdício de águas distribuídas.

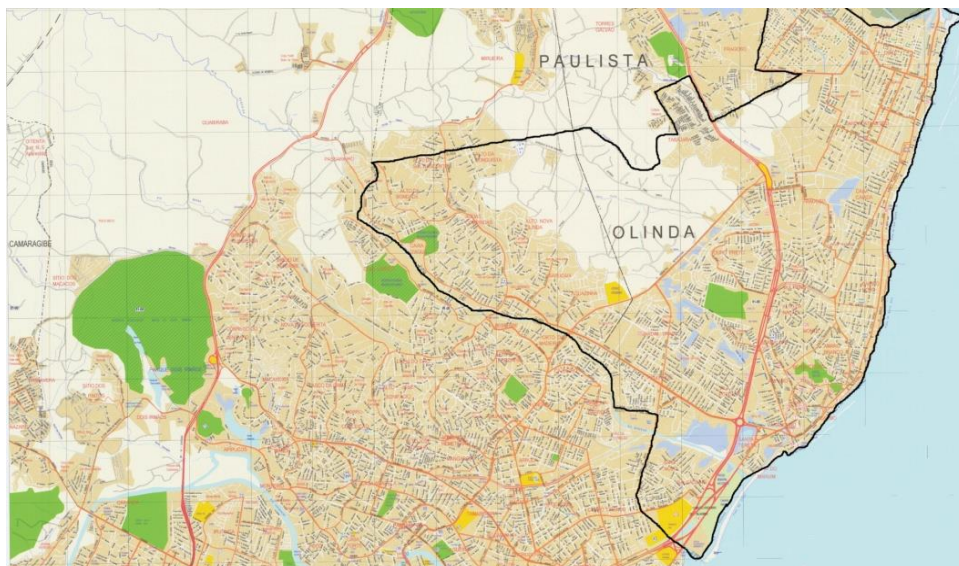


Figura 3.1: Cidade de Olinda/PE (Fonte: CPRM, 2015).

Devido à demanda no estado de Pernambuco, a Compesa dispõe de seis sistemas e três subsistemas de abastecimento de água, são eles: Sistema Pirapama, sistema Tapacurá, sistema Botafogo, sistema Alto do céu, sistema Gúrjau, sistema Suape, subsistema Jangadinha, subsistema Várzea do Una e susbsistema caixa d'água. Os principais sistemas de estudos serão listados a seguir:

- **Sistema Pirapama:** localizado na cidade de Cabo de Santo Agostinho (RMR), é considerado o maior sistema de abastecimento de água de Pernambuco, e um dos maiores do Brasil. O sistema produz aproximadamente 5130 litros de água (5130 m³ de água/segundo), um incremento de 50% da produção de água da RMR. A barragem Pirapama possui uma capacidade de armazenamento de 61 milhões de metros cúbicos de água;
- **Sistema Tapacurá:** o sistema Tapacurá possui captação nos mananciais rio Tapacurá, rio Duas Unas e os rios Capibaribe e Várzea do Una. Este sistema é responsável pela produção aproximada de 36% do volume de águas distribuídas na RMR. Para a reservação, o sistema trabalha com quatro barragens. A barragem Tapacurá (Responsável pelo Rio Tapacurá) está localizada na cidade de São Lourenço da Mata, trabalha com a ajuda de mais três barragens (sendo apenas uma feita de concreto. A barragem Duas Unas (responsável pelo rio Duas Unas) está localizada na cidade de Jaboatão dos Guararapes. Ainda há as barragens de Carpina e de Goitá (responsáveis pelo rio Capibaribe);
- **Sistema Alto do céu:** o sistema Alto do céu produz aproximadamente 10% do volume de água distribuída na RMR, abrange a zona norte do Recife, Jardim Paulista e parte da cidade de Olinda. Os mananciais de captação são os rios Utinga, Pitanga, Paratibe e Beberibe. A barragem Utinga é a barragem responsável pelo armazenamento deste sistema;
- **Sistema Gurjaú:** os mananciais para captação deste sistema são os rios Gurjaú, Sicupema e Pirapama, e produz aproximadamente 9% do volume de águas distribuídas na RMR. As barragens Gurjaú e Sicupema são as responsáveis pela capacidade de água do sistema;
- **Sistema Suape:** responsável por produzir aproximadamente 6% do volume distribuído na RMR, o sistema Suape abrange o complexo industrial de Suape, Cabo de Santo Agostinho, Ponte dos Carvalhos e Anel da Muribeca;

- **Sistema Botafogo:** este sistema produz aproximadamente 17% do volume de água distribuído na RMR. Os mananciais de captação deste sistema são: Rio Catucá (Barragem de Botafogo), Cumbe, Pilão, Tabatinga, Conga, Arataca/Jardim e ainda os Rios Pitanga e Utinga. A barragem Botafogo está localizada na cidade de Igarassu e possui uma capacidade de armazenamento de aproximadamente 27 milhões de metros cúbicos de água.

3.2 Descritivo técnico do sistema Botafogo de abastecimento de água

Em 1968, a COPLAE – Comissão de Planejamento dos Sistemas de Águas e Esgotos do Recife apresentou em seu relatório final, a necessidade da utilização do Rio Botafogo como manancial abastecedor da Região Metropolitana do Recife. Segundo este relatório, o Rio Botafogo após as necessárias obras de barramento, seria capaz de regularizar uma vazão de 80 000 m³/dia, sendo prevista a operação daquele manancial a partir de 1997.

A dinâmica dos incrementos populacionais e consequentemente, das demandas de água, aliadas ao escasso conhecimento hidrogeológico do aquífero Beberibe, contribuíram de modo decisivo na formação de um sistema deficitário, como é o caso de Olinda e outras localidades da zona norte da RMR. A título de ilustração, a vazão prevista a ser obtida através de poços entre Olinda e Igarassu era de 130 000 m³/dia, vide relatório da COPLAE, página 198.

Dentro desse contexto, a Compesa sentiu a necessidade de antecipar a implantação do sistema Botafogo, fugindo desse modo à previsão do planejamento da COPLAE. Assim, em 1978, a Compesa contratou o projeto da barragem e em 1980 o projeto das unidades de tratamento e transporte de água do referido sistema. A COPLAE era um setor subordinado ao antigo Departamento de Saneamento do Estado - DSE, órgão responsável na época pelos serviços de abastecimento de água em Pernambuco (COMPESA, 1978).

3.2.1 Características técnicas

O início da operação de construção do sistema Botafogo foi em 1986, neste mesmo período foi-se decidida a utilização e captação dos seguintes mananciais:

- Rio Catucá: explorado através da Barragem de Botafogo (ou Barragem Catucá), localizada em Igarassu, que é uma barragem de terra, com vertedor lateral em concreto armado;
- Rio Cumbe: possui uma bacia hidrográfica de 35,2 km² e é explorado através da EE Cumbe, onde a captação é feita a fio d'água;
- Rio Pilão: possui uma bacia hidrográfica de 40,5 km² e é explorado através da EE Pilão, onde a captação é feita a fio d'água;
- Rio Tabatinga: possui uma bacia hidrográfica de 16,3 km² e é explorado através da EE Tabatinga, onde a captação é feita a fio d'água;
- Rio Conga: possui uma bacia hidrográfica de 11,3 km² e é explorado através da EE Conga, onde a captação é feita a fio d'água;
- Rio Arataca/Jardim: o rio Arataca possui uma bacia hidrográfica de 63,6 km² e é explorado através da EE Arataca, cuja captação é feita a fio d'água no Rio Jardim (afluente do Arataca), onde o nível normal do rio foi elevado com o fechamento, através de comportas, de uma ponte-barragem;
- Rios Pitanga e Utinga: possuem uma bacia hidrográfica de 66,0km² e são explorados através da EE Monjope, onde a captação é feita a fio d'água nos dois rios e segue, por gravidade, até a EE Monjope.

Reservação

O Sistema Botafogo, não dispõe de reservação central. A mesma constitui-se de unidades localizadas nos núcleos por ele atendidos. Existe, na ETA, um reservatório semi-enterrado com 2.500m³, que proporciona uma pequena folga para compensar desequilíbrio entre produção e adução (1.000 m³).

Distribuição

A produção do Sistema Botafogo, com relação às cidades da Região Metropolitana do Recife, está distribuída da seguinte forma:

- 6% da produção é distribuída no Município de Igarassu;
- 6% da produção é distribuída no Município de Cruz de Rebouças;
- 24% da produção é distribuída no Município de Abreu e Lima;

-64% da produção é distribuída nos Municípios de Paulista e Olinda.

Figura 3.2: principais redes de distribuição em Olinda/PE



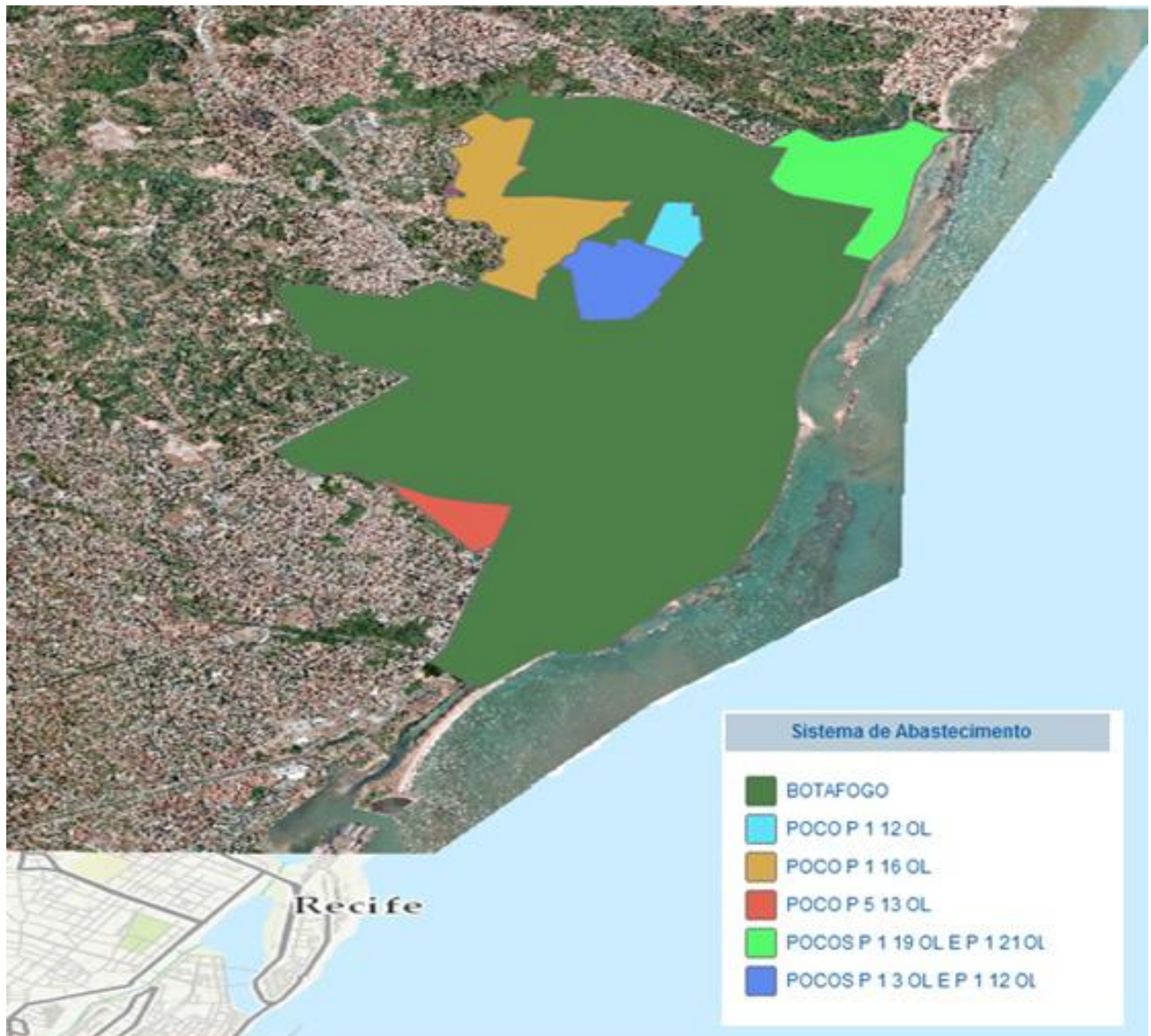
Fonte: Compesa, 2015.

As linhas azuis apresentadas na figura 3.2 informam onde estão localizadas as principais tubulações de água atuantes em Olinda. A imagem não permite descrever a altitude da região e nem alguns aspectos físicos, mas mostra uma área onde não há rede de distribuição de água, isto interfere no índice de atendimento e serviço de saneamento da cidade e também pode incentivar parte da população não atendida pela Compesa a buscar meios clandestinos de captação de água. De acordo com o índice de atendimento da Compesa, aproximadamente 85% da população olindense foi atendida com água tratada e esgotamento sanitário no período entre novembro de 2014 a outubro de 2015.

3.3 Sistemas atuantes em Olinda

Embora o sistema Botafogo seja o principal sistema de abastecimento de água em Olinda, este sistema é auxiliado por outros sistemas de poços para abastecimento local.

Figura 3.3: Sistemas de abastecimento de água em Olinda/PE

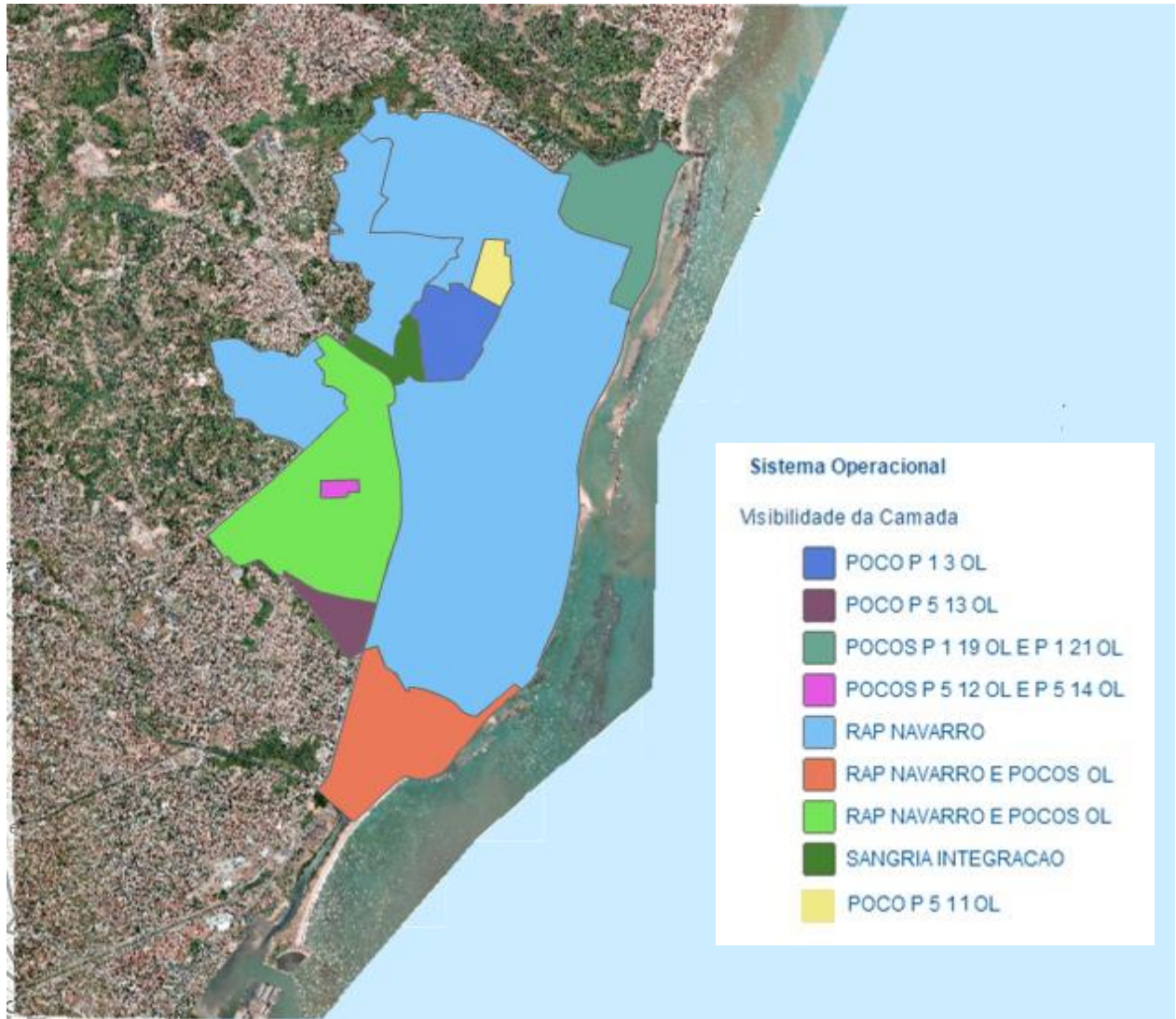


Fonte: Compesa, 2015.

Ainda existem, também, subsistemas atuantes dentro dos sistemas de abastecimento de água responsáveis por levar água para todos os bairros em Olinda. A Compesa dispõe de 30

poços para ajudar ao abastecimento de água no município e um RAP (Reservatório Apoiado) para armazenar a água tratada no sistema Botafogo.

Figura 3.4: Subsistemas de abastecimento de água em Olinda/PE



Fonte: Compesa, 2015.

Com a aplicação de técnicas de geoprocessamento e sistema de informações geográficas, a Compesa utiliza o software Giscomp para cadastro técnico. Com isso, é possível visualizar a região onde atuam os sistemas de água em Olinda.

3.4 Dados de rede de distribuição

De acordo com o sistema de informação de produção – SIP levantado pela Compesa no período de novembro de 2014 até outubro de 2015, os volumes distribuídos e faturados (m³) no município de Olinda, são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 3.1: Volumes distribuídos e faturados em Olinda.

Volume distribuído (m³)		Volume faturado (m³)	
Mês/ ano	Valor	Mês/ ano	Valor
Nov/14	2.090.647	Nov/14	1.258.606
Dez/14	2.288.691	Dez/14	1.271.626
Jan/15	2.252.446	Jan/15	1.384.647
Fev/15	2.328.340	Fev/15	1.293.215
Mar/15	2.946.072	Mar/15	1.286.352
Abr/15	2.379.973	Abr/15	1.279.405
Mai/15	2.545.115	Mai/15	1.267.493
Jun/15	2.093.510	Jun/15	1.248.965
Jul/15	2.505.728	Jul/15	1.259.586
Ago/15	2.488.438	Ago/15	1.274.755
Set/15	2.494.564	Set/15	1.254.840
Out/15	2.727.811	Out/15	1.241.721

Fonte: Compesa, 2015

Sabendo-se que a extensão de rede total em Olinda é de 0,538885 km e o volume de água perdido anual foi de aproximadamente 11.440.173 m³, pode-se calcular o índice de perdas da rede através da equação 2.4:

$$\text{Índice de perdas por extensão da rede} = \frac{11.440,173}{0,538885 \times 365} \text{ (m}^3\text{ por km x dia)}$$

$$\text{Índice de perdas por extensão da rede} = 58,162 \text{ (m}^3\text{ por km x dia)}$$

3.5 Indicador percentual de perdas de água

A tabela 3.2 mostra o indicador percentual de perdas de água geral no município.

Tabela 3.2: Indicador percentual de perdas de água em Olinda.

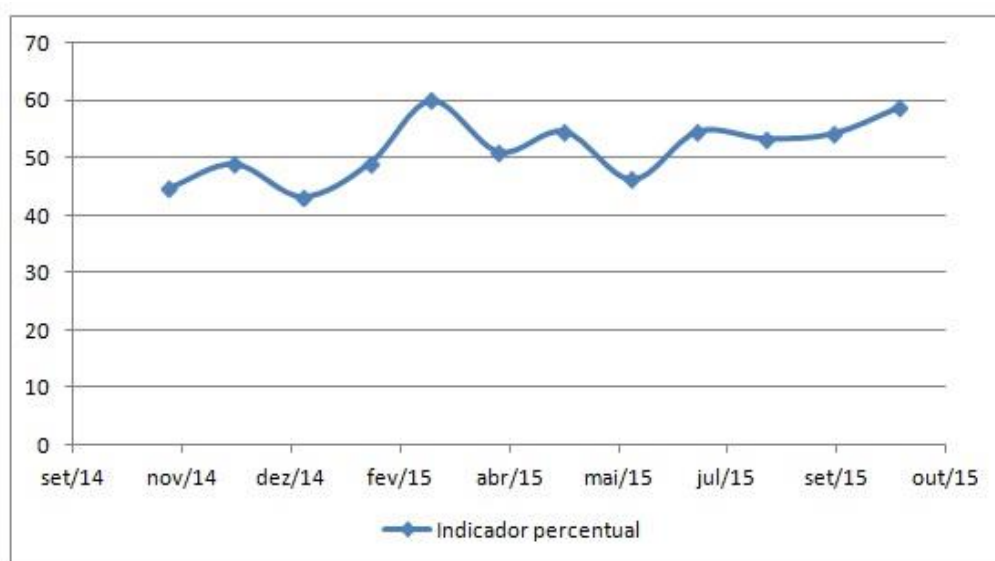
Indicador percentual	%
Nov/14	44,91
Dez/14	49,05
Jan/15	43,37
Fev/15	49,25
Mar/15	60,09

Abr/15	51,18
Mai/15	54,74
Jun/15	46,38
Jul/15	54,74
Ago/15	53,5
Set/15	54,34
Out/15	58,91

Fonte: Compesa, 2015

O período de maior índice percentual de perda de água por distribuição foi em março de 2015 e o período de menor índice percentual foi janeiro de 2015. Na passagem do período de fevereiro de 2015 a março de 2015 verificou-se um aumento de 10,84% no índice de perdas de água, foi a maior variação sofrida ao longo dos doze meses analisados. Neste intervalo de tempo, o município de Olinda estava realizando a tradicional e cultural festa de Carnaval, onde muitos turistas, excursionistas e moradores utilizam bastante água para diversas atividades.

Figura 3.5: Indicador percentual de perdas de água



Fonte: esta pesquisa.

Há uma relação entre os indicadores percentuais e os índices de perdas por faturamento, mas existe diferença nestes métodos devido a consumos autorizados não faturados que não são contabilizados como perdas, de acordo com o balanço hídrico. De acordo com os dados cedidos pela Compesa, ao longo dos doze meses o índice geral de

perdas de água foi aproximadamente 51,705% e o índice de perdas por faturamento foi aproximadamente 46,92%.

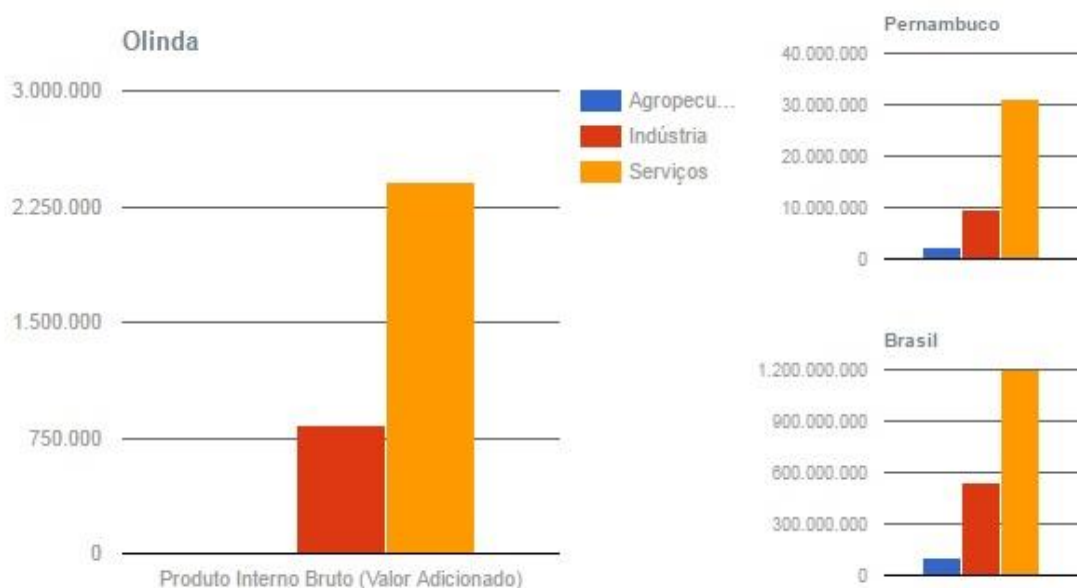
3.5.1 Macromedicação e micromedicação

De acordo com os dados da Compesa, os índices de macromedicação foi aproximadamente 90,6% e o índice de micromedicação foi aproximadamente de 79,36%, estes dados são resultados da análise dos doze meses. Embora os índices de macromedicação e micromedicação estejam satisfatórios, não é o suficiente para controlar as perdas de água. A falta de manutenção ou falta de capacitação de funcionários pode alterar as leituras dos registros, o que significa que uma leitura errada dos hidrômetros pode comprometer os valores dos índices de macromedicação e micromedicação.

3.6 Economia em Olinda

De acordo com o IBGE, a economia de Olinda é voltada ao setor de serviços e indústrias, principalmente turismo, hotéis, restaurantes, transportes. Fatores em função das necessidades dos visitantes. O gráfico abaixo apresenta a relação do PIB em Olinda em função da agropecuária, indústria e serviços.

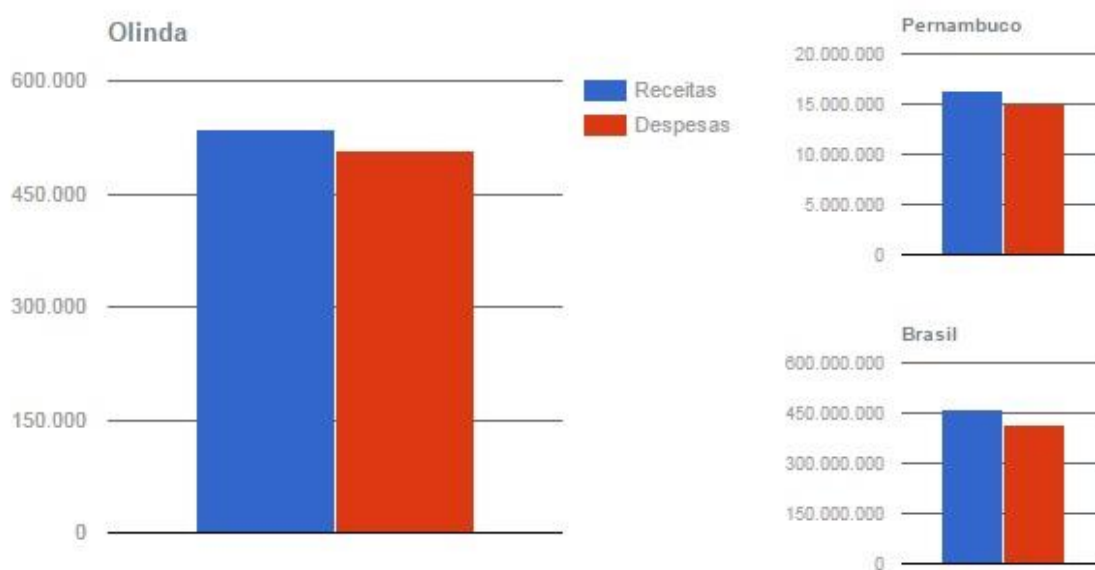
Figura 3.6: Gráfico do PIB em Olinda, Pernambuco e Brasil.



Fonte: IBGE, 2014.

Observa-se que o setor de serviços de Olinda é o principal a influenciar a economia do município. Abaixo, o gráfico mostra a relação de receitas e despesas de Olinda. Ressalta-se também que Olinda é conhecido internacionalmente por ser patrimônio cultural da humanidade, declarado pela Unesco em 1982.

Figura 3.7: Gráfico de receitas x despesas em Olinda, Pernambuco e Brasil.



Fonte: IBGE, 2014.

O Carnaval, além do aspecto cultural, é de extrema importância para a atividade econômica do município e para o incremento e estruturação do turismo, tanto de Olinda como do Estado de Pernambuco. Em 2012, mais de 2,1 milhões de foliões passaram por Olinda durante o reinado de Momo e a rede hoteleira do município teve 98% dos seus leitos ocupados no período. A Prefeitura de Olinda investe cerca de R\$ 8 milhões na realização da festa, que por sua vez gera cerca de R\$ 60 milhões, provenientes do faturamento da rede hoteleira, do aluguel de casas, do comércio formal e informal e das agremiações carnavalescas. Além da injeção de recursos na economia local, o Carnaval cria aproximadamente 65 mil empregos temporários (Olinda, 2016).

O principal problema do período carnavalesco é a grande quantidade de lixo gerado pelos foliões, isto faz com que a prefeitura seja obrigada a lavar ruas e ladeiras no município, utilizando grande quantidade de bactericidas e água. Se por um lado há um aumento na economia local, por outro lado há um grande desperdício de água em lavagens de área

pública, com isso aumentam-se os riscos de falta de água em residências. A lavagem feita de maneira incorreta também pode causar contaminação no solo e facilitar o desenvolvimento de doenças para a população.

3.7 Considerações finais sobre o capítulo

Há uma relação entre as perdas de volume distribuído de água com o período carnavalesco de Olinda. Neste período, o município teve a maior perda de água em relação aos doze meses analisados, entretanto, o município também gera empregos temporários neste período e influencia de maneira positiva a economia local.

Um grande problema em relação às perdas de água é o impacto negativo que isto trará ao meio ambiente. Com um alto índice de perdas de água na distribuição, a Compesa pode ter maiores custos operacionais, prejudicando a economia da empresa. Devem-se analisar os problemas que ocorrem no meio ambiente associados às perdas de água e aplicar uma solução para uma situação desejável, isto melhorará a imagem da empresa no mercado, diminuirá os custos operacionais e aumentará a responsabilidade da empresa com o meio ambiente.

4. PROPOSTA DE ESTRUTURAÇÃO DO PROBLEMA AMBIENTAL ASSOCIADO ÀS PERDAS DE ÁGUA

O presente capítulo apresenta uma análise dos principais impactos ambientais associados às perdas de água do sistema Botafogo de abastecimento. Os dados quantitativos foram cedidos pela Compesa. O capítulo também propõe a aplicação da *Soft Systems Methodology* para analisar potenciais alternativas de redução dos impactos.

4.1 Análise de impactos ambientais causados por perdas de água em rede de distribuição

Barbieri (2006) afirma que o estudo dos impactos é um instrumento da gestão ambiental sem o qual não seria possível promover a melhoria dos sistemas produtivos e consequentemente, a diminuição dos impactos ao meio ambiente. Os impactos podem ter efeitos positivos ou negativos sobre o meio ambiente, podem ser reversíveis ou irreversíveis, os impactos também podem ser diretos ou indiretos e serem sentidos a curto, médio ou longo prazo. É responsabilidade da Avaliação de Impactos Ambientais - AIA estudar e classificar os impactos que o meio ambiente pode sofrer. A AIA é um instrumento utilizado para descrever, classificar e propor medidas que minimizem impactos ambientais decorrentes de um projeto de engenharia e/ou atividades humanas (Sánchez, 2008).

A maior preocupação em minimizar as perdas de água em sistemas de abastecimentos públicos é em relação à disponibilidade hídrica na região, a finitude da água e os rígidos impactos ambientais que isso causará na região. Há diversas formas de perdas de água em um sistema de abastecimento, desde equipamentos velhos e sem manutenção até ligações clandestinas e fraudes nas redes de distribuição. A seguir, são descritos potenciais impactos ambientais causados por perdas de água.

- **Riscos de contaminação de água perdidas impactando as condições de saúde da população residente em Olinda/PE.**

Um grave problema ambiental é a contaminação de águas em rede de distribuição devido às rupturas de antigas tubulações. Quando expostas, a água distribuída pela rede pode entrar em contato com coliformes fecais resultantes de um mau saneamento. A água pode

também se misturar com alguma substância tóxica, isto comprometeria a saúde pública da população. Dentre as doenças de veiculação hídrica, pode-se citar: cólera, febre tifoide, disenterias bacilares, amebíases, ascaridíases, infecções nos olhos, garganta e ouvidos, etc.

Vazamentos em tubulações são potenciais desenvolvedores do aumento da transmissão do vírus da dengue. O problema de vazamentos é que parte da água é geralmente, escoada para algum ambiente e forma um charco de água, lugar ideal para desenvolvimento de larvas do mosquito *Aedes Aegypt*.

A Secretaria de Saúde de Olinda e a Prefeitura Municipal decretaram estado de emergência no combate ao mosquito. Foi feito um levantamento do número de casos da doença, também associada ao zika vírus e chikugunya e verificou-se um aumento de 2987 casos de doenças causadas pelo mosquito entre 2014 a 2015.

Tabela 4.1: Maiores notificações de dengue em Olinda

Bairros com mais notificação de dengue em Olinda	
Bairro	Notificações
Águas Compridas	434
Peixinhos	358
Ouro Preto	337
Tabajara	232
Rio Doce	214
Sapucaia	162
Jardim Brasil	161
Caixa D'água	149
Jardim Atlântico	129
Fragoso	121

Fonte: Secretaria de saúde de Olinda, 2015

Todos os bairros mencionados são abastecidos pelo sistema Botafogo de abastecimento.

- **Impactos sobre o nível do lençol freático na zona de influência direta da captação, no caso de perdas de águas em poços para distribuição e poços ilegais.**

Existe uma preocupação em rebaixamento dos níveis de água em Olinda. Historicamente houve uma superexploração de água através de poços para abastecimento

humano em Olinda, sendo necessário desativá-los por apresentarem níveis piezométricos estáticos de 70 m abaixo do nível do mar, revelando um rebaixamento de quase 70 m em relação ao nível piezométrico inicial, quando houve a perfuração dos poços. A Compesa ainda utiliza sistema de poços para abastecimento público, entretanto, a quantidade de poços foi limitada, bem como a vazão utilizada (Gusmão Filho, 2001).

O rebaixamento dos lençóis freáticos pode levar a alterar estruturas históricas construídas em Olinda, pois pode alterar a estabilidade de fundações inadequadas e consequentemente, haver risco de desmoronamentos. Ainda há abertura de poços ilegais, isto pode comprometer a fertilidade do solo, ocasionando salinização devido às mudanças de níveis estáticos e dinâmicos dos poços.

- **Impacto socioambiental por falta de água na região municipal de Olinda/PE**

A falta de água em residências também caracteriza um impacto socioambiental. Problemas operacionais no sistema Botafogo são constantes e a situação reflete no consumo de água em Olinda. O nível da barragem do sistema Botafogo provoca o racionamento de parte da RMR. A Compesa em parceria com a prefeitura do Recife aprovou em 2015 a construção de uma adutora que levará parte da água do rio Capibaribe a barragem, isto auxiliará no problema de abastecimento. A falta de água em Olinda incentiva a população a buscar outras maneiras de abastecimento. Um fator preocupante é abertura de poços ilegais, aumentando o risco de contaminação de mananciais hídricos subterrâneos.

- **Desequilíbrio ecológico por grande quantidade de Sulfato de Alumínio absorvido pelo meio ambiente**

O Sulfato de Alumínio é bastante utilizado no processo de tratamento de água. Por ser um composto químico bastante barato e eficaz, a Compesa também adotou a utilização deste sal para o tratamento de água no estado de Pernambuco. Devido a rupturas em tubulações e instalações antigas, a água que é perdida para o meio ambiente carrega uma grande quantidade deste sal, que por sua vez é absorvido pelos solos e ingerido por pequenos animais locais.

O consumo de Sulfato variou entre 22,135 kg em janeiro de 2015 e 89,035 kg em março de 2015. Em apenas três meses, a quantidade aplicada de Sulfato de Alumínio no

sistema de abastecimento quadruplicou, este aumento do consumo de é devido à quantidade de água tratada disponibilizada e utilizada para limpeza e diversão do município no período carnavalesco. Neste mesmo período, o índice de perdas de água foi alto, consequentemente a quantidade de Sulfato de Alumínio liberado no meio ambiente também foi grande.

A ingestão ou inalação do Sulfato de Alumínio pode causar irritabilidade na pele dos animais, causar dores e em alguns casos, morte. São comuns reações como náuseas, vômitos e diarreia (Faculdade Oswaldo Cruz, 2003). Por se tratar de um sal, o contato com o solo também pode ocasionar infertilidade e causar um desequilíbrio ecológico.

- **Contato do cloro com o meio ambiente**

O Cloro é bastante utilizado há décadas por muitas companhias de abastecimento para desinfecção e tratamento de água, é um produto barato e de fácil acesso. O problema da utilização do cloro é a reação com substâncias naturais como decomposição de plantas presentes na água bruta e com isso formar Trihalometanos (THM), uma substância prejudicial à saúde por ser extremamente tóxico.

O menor índice de utilização de Cloro registrado pela Compesa no município de Olinda ao longo dos doze meses analisados foi de 9,204 kg, em novembro de 2014, enquanto o maior foi de 19.181 kg, em março de 2015. Em relação às perdas de água que contém um alto grau de cloração, o principal afetado são as plantas, pois o excesso de cloro nas plantas pode necrosar as folhas (Malavolta et al., 1980). Meunier e Silva (2009) fazem menção da área verde em Olinda, por ser um domínio da Mata atlântica e possuir vegetação importante para o equilíbrio do ecossistema. O decreto municipal 072/2005 declara algumas áreas verdes de Olinda como ARIE - Área de Relevante Interesse Ecológico.

- **Impacto sobre a economia da Compesa por água não faturada e o problema de distribuição para toda a população**

Ao longo dos doze meses analisados, a Compesa obteve valores entre 38,53% de volume de água não faturado e 56,34%, sendo este último no período de março de 2015. O volume total distribuído pela Compesa para o município foi de 24.502.71 m³ de água, aproximadamente 46,92% do volume de água distribuído no município no período de novembro de 2014 a outubro de 2015 não foi faturado. A companhia obteve gastos para tratar

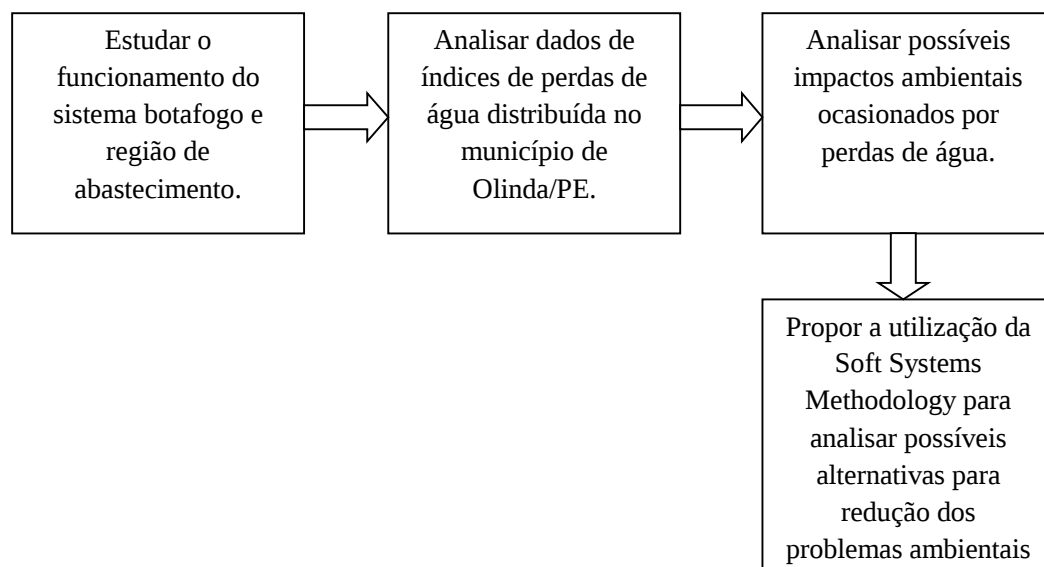
a água e distribuí-la, mas quase a metade deste volume não foi faturado por motivos de perdas e consumo não autorizado, ou seja, 11.496.672 m³ de água foram produzidos e não faturados, o que gera um prejuízo financeiro para a empresa. Este desperdício é um dos principais motivos para reajustes na estrutura tarifária da Compesa.

Embora o volume de água produzido seja grande, o município sofre com o problema da água tratada sendo distribuído para toda a população, pois nem todos têm acesso à água fornecida pela Compesa. O índice de atendimento urbano de água para a população no período analisado foi aproximadamente 85%, mesmo não sendo um percentual baixo, a companhia, em parceria com a Prefeitura de Olinda possuem a missão de diminuir o índice de perdas por faturamento e levar água de qualidade a toda localidade, ou seja, este índice deve ficar próximo a 100%.

4.2 Proposta de utilização da abordagem SSM para a estruturação do problema ambiental

Devido ao grande índice percentual de perdas na distribuição no período de novembro de 2014 a outubro de 2015 e também os potenciais impactos ambientais negativos, o presente trabalho propõe a utilização da abordagem SSM para estruturação de problema ambiental aplicada ao sistema Botafogo de abastecimento. O fluxograma a seguir define as etapas a serem seguidas neste trabalho.

Figura 4.1: Fluxograma da metodologia aplicada.



O sistema Botafogo é um dos mais antigos sistemas atuantes na Região Metropolitana de Recife, mas desde o início de sua operação, o sistema sempre apresentou altos níveis de perdas de água, consequentemente os impactos ambientais sempre existiram. Com o aumento da população e da expansão da Região Metropolitana de Recife ao longo dos anos, a produção de água do sistema foi se intensificando e aumentando para suprir as regiões atendidas por Botafogo. Com uma maior produção de água também se aumentou a utilização de produtos químicos para seu tratamento, entretanto as estruturas do sistema permaneceram as mesmas, o que ocasionou diversos problemas de vazamentos e até ruptura de tubulações (devido à nova vazão de produção de água). Embora funcionários da Compesa realizem manutenções no sistema, as estruturas antigas cooperam para o aumento de impactos ambientais gerados pela nova vazão de produção de água. Mesmo com uma grande produção de água, o volume perdido também é grande e o desequilíbrio ecológico é um dos maiores problemas ocasionados pela quantidade de Cloro e Sulfato de Alumínio contido nas águas tratadas.

Ao estudar o funcionamento do sistema Botafogo e analisar os índices de perdas de água é possível compreender com mais facilidade os fatores que ocasionam os impactos ambientais. A solução destes impactos deve ser satisfatória para todos os envolvidos com a falta de água no sistema, desde a Compesa até os moradores da cidade de Olinda e o próprio Meio Ambiente.

A metodologia SSM é capaz de estudar a problemática em questão (minimizar impactos ambientais) e estudar possíveis soluções para uma situação desejável para a Compesa e o meio ambiente, pois utiliza uma metodologia onde é possível estudar a mesma problemática de diferentes visões. A seguir, os estágios da SSM são aplicados para resolução do conflito de perdas de água no sistema Botafogo.

Estágio 1 - Explorar a situação problemática

Os impactos ambientais causados pela perda de água na rede de distribuição do sistema Botafogo de abastecimento.

Estágio 2 - Expressar a situação problemática

Foram descritos os fatores que ocasionam o problema principal. Em seguida, foram divididos em grupos para melhor esclarecimento:

- Estruturas antigas da rede de distribuição de água: a estrutura antiga do sistema contribui para vazamentos e riscos de contaminação da água, o principal problema neste caso é a falta de manutenção do sistema;
- Falta de setorização de áreas em Olinda: com a falta de setorização no sistema, o controle sobre a quantidade de água transportada no sistema é mínima. Falta de equipamentos e ferramentas como hidrômetro e softwares de controle agravam também a situação;
- Residências com pouco ou nenhum volume de água em Olinda: a população olindense sofre com falta de água nas residências, este fator pode influenciar a população a buscar outras fontes de água como poços ilegais e/ou ligações clandestinas. Isto pode gerar atrasos em pagamento de contas para a Compesa ou até mesmo o não pagamento.

Estágio 3 - Informações relevantes e definições concisas.

Usam-se os elementos CATWOE para construir a definição raiz.

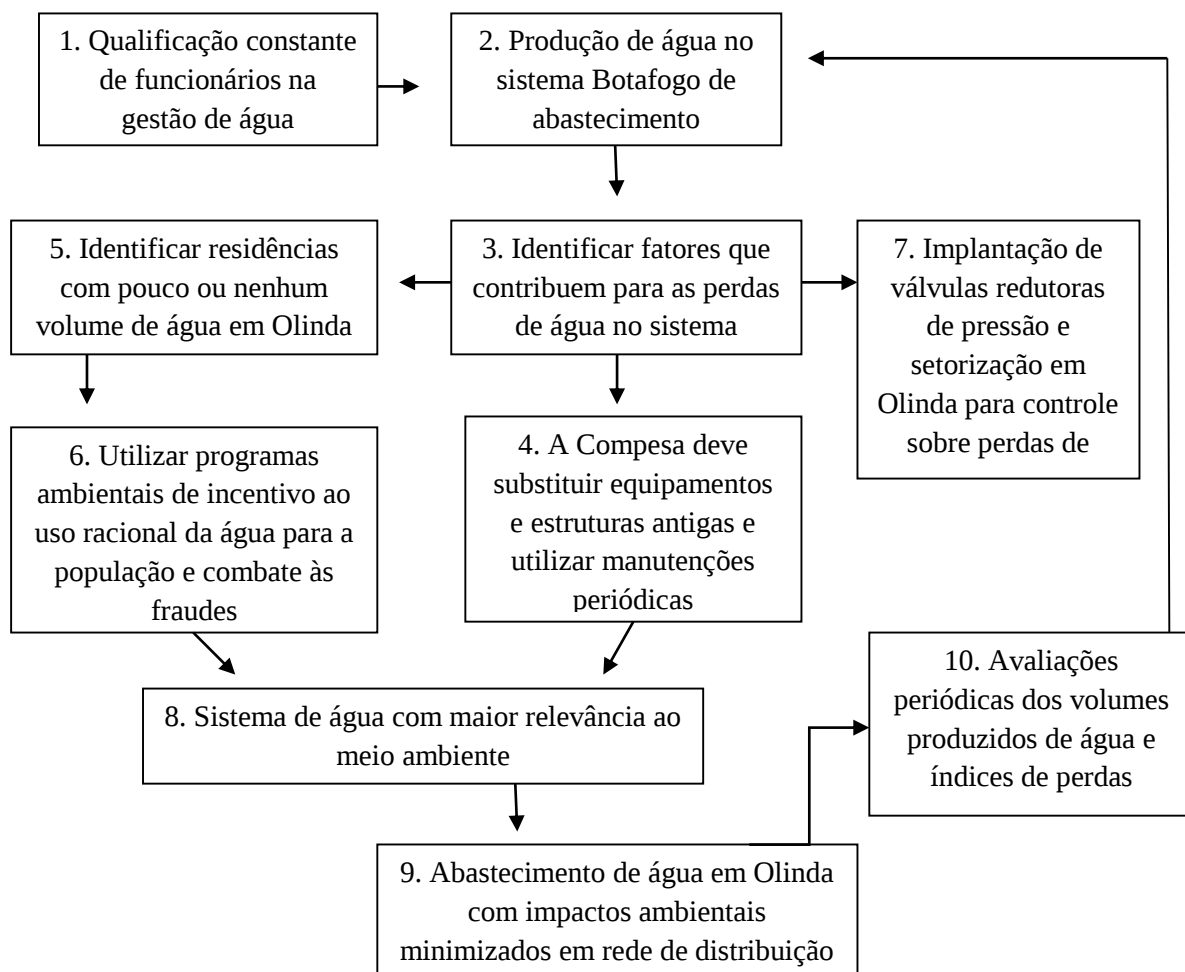
- **Clientes:** população olindense;
- **Atores:** funcionários da Compesa;
- **Transformação:** realização de manutenções periódicas no sistema e substituição de estruturas antigas; investimento em equipamentos modernos como válvulas redutoras de pressão para setorização em Olinda; elaboração de programas de incentivo ao uso racional da água através da educação ambiental e conscientização coletiva;
- **Visão do mundo:** as perdas físicas e aparentes de água serão menores com a substituição de estruturas antigas e manutenções periódicas no sistema; a utilização de setorização auxilia ao controle de perdas e combate às fraudes; programas ambientais ressaltam a importância da água e as consequências de má utilização ao meio ambiente;
- **Dono:** diretoria da Compesa;
- **Restrições ambientais:** custo para manutenção periódica e substituição de estruturas antigas; tempo para implantação de válvulas redutoras de pressão e setorização em Olinda; tempo para mudança cultural associada à conscientização do uso racional da água e seus impactos ao meio ambiente.

A escolha dos processos de transformação deste trabalho foi baseada em resultados significativos da aplicação das mesmas em outras localidades onde a Compesa também possui responsabilidade sobre água e saneamento. Sistemas mais recentes da Compesa como Pirapama e Várzea do Una possuem manutenções com maior frequência que o sistema Botafogo, esta ação auxilia na diminuição de perdas de água. Alguns distritos na cidade de Recife já possuem setorização e utilizam válvulas redutoras de pressão, esta ação contribui para o maior controle sobre perdas de água. Elaboração de programas de incentivo ao uso racional da água através da educação ambiental e conscientização coletiva é uma ação que está sendo cada vez mais utilizada para informar a população sobre o real valor da água e que é uma estratégia utilizada por várias Companhias de abastecimento.

Estágio 4 - Elaborar modelos conceituais

Um mapa conceitual é elaborado para o problema em estudo.

Figura 4.2: Modelo conceitual do problema.



Os processos de transformação são detalhados a seguir:

- Qualificação constante de funcionários na gestão de água: os funcionários responsáveis pela produção de água tratada e sua distribuição devem ser constantemente qualificados para melhor eficiência do sistema;
- Produção de água no sistema Botafogo: a produção de água deste sistema deve ter a capacidade de fornecer água tratada a toda população de Olinda;
- Identificar fatores que contribuem para a perda de água no sistema Botafogo: devem-se identificar os fatores que contribuem para a perda de água e efetuar procedimentos para solucionar o problema;
- Identificar as residências com pouco ou nenhum volume de água em Olinda: devem ser feitas pesquisas em residências para saber se o volume de água produzido pelo sistema está chegando corretamente ou se há falta de água;
- Utilizar programas ambientais de incentivo ao uso racional da água para a população e combate às fraudes: programas ambientais devem ser elaborados pela Compesa para conscientizar a população do valor da água e sua finitude, visando extinguir fraudes;
- A Compesa deve substituir equipamentos e estruturas antigas e utilizar manutenções periódicas: os vazamentos serão menores ao substituir equipamentos e estruturas antigas;
- Sistema de águas com maior relevância ao meio ambiente: ao aplicar os procedimentos anteriores o sistema de águas diminuirá as perdas;
- Implantação de válvulas redutoras de pressão e setorização em Olinda para o maior controle de água: as válvulas redutoras de pressão podem controlar as pressões exercidas pela água nas tubulações. A setorização objetiva ter o maior controle operacional da quantidade de água movimentada em tubulações;
- Abastecimento de água em Olinda com impactos ambientais minimizados em rede de distribuição: ao aplicar os procedimentos anteriores o sistema diminuirá os impactos negativos ao meio ambiente;
- Avaliações periódicas dos volumes produzidos de água e índices de perdas: avaliações periódicas devem ser feitas para o melhor funcionamento do sistema Botafogo de

abastecimento de água. As avaliações devem ser baseadas no índice de perdas de águas no sistema.

Estágio 5 - Comparar modelo conceitual com a realidade

Neste estágio se volta ao mundo real. Faz-se uma comparação do estágio 2 e o estágio 4. A tabela 4.2 faz a comparação entre as atividades do modelo conceitual e a situação problemática.

Tabela 4.2: Comparação entre modelo conceitual e realidade

MODELO CONCEITUAL	MUNDO REAL	OBSERVAÇÃO
Qualificação constante de funcionários na gestão de água	Não	Não há qualificação constante para os funcionários
Produção de água no sistema Botafogo	Sim	
Identificar fatores que contribuem para a perda de água no sistema Botafogo	Sim	
Identificar as residências com pouco ou nenhum volume de água em Olinda	Não	Não há vistorias nem pesquisas residenciais
Utilizar programas ambientais de incentivo ao uso racional da água para a população e combate às fraudes	Sim	
A Compesa deve substituir equipamentos e estruturas antigas e utilizar manutenções periódicas	Sim	
Sistema de águas com maior relevância ao meio ambiente	Não	O meio ambiente não está sendo prioridade
Implantação de válvulas redutoras de pressão e setorização em Olinda para o maior controle de água:	Não	Olinda não é setorizado

Abastecimento de água em Olinda com impactos ambientais minimizados em rede de distribuição	Não	Os impactos ambientais são altos
Avaliações periódicas dos volumes produzidos de água e índices de perdas	Sim	

Fonte: esta pesquisa.

A tabela 4.2 foi feita baseada em problemas reais que ocorrem em outros sistemas de águas gerenciados pela Compesa e também em problemas de falta de água em Olinda.

Estágio 6 - Mudanças possíveis e desejadas

A tabela 4.3 aborda as mudanças desejáveis e factíveis para a Compesa diminuir os impactos ambientais. Esta tabela foi elaborada devido à comparação da Tabela 4.2 com a problemática de perdas de água que impactam negativamente o meio ambiente.

Tabela 4.3: Tabela de mudanças possíveis e desejáveis

MODELO CONCEITUAL	DESEJÁVEIS	FACTÍVEIS
Qualificação constante de funcionários na gestão de água	Sim	Sim
Produção de água no sistema Botafogo	Sim	Sim
Identificar fatores que contribuem para a perda de água no sistema Botafogo	Sim	Sim
Identificar as residências com pouco ou nenhum volume de água em Olinda	Sim	Não
Utilizar programas ambientais de incentivo ao uso racional da água para a população e combate às fraudes	Sim	Sim

A Compesa deve substituir equipamentos e estruturas antigas e utilizar manutenções periódicas	Sim	Sim
Sistema de águas com maior relevância ao meio ambiente	Sim	Sim
Implantação de válvulas redutoras de pressão e setorização em Olinda para o maior controle de água:	Sim	Sim
Abastecimento de água em Olinda com impactos ambientais minimizados em rede de distribuição	Sim	Sim
Avaliações periódicas dos volumes produzidos de água e índices de perdas	Sim	Sim

Fonte: esta pesquisa.

Identificar as residências com pouco ou nenhum volume de água em Olinda não é factível, pois os outros procedimentos são suficientes para garantir o volume de água distribuído corretamente para as residências, além de ser um processo extremamente burocrático.

Os impactos ambientais estudados neste trabalho foram baseados nos índices de perdas de água entre 2014 e 2015, mas a problemática da falta de água em Olinda é bastante antiga. As tabelas 4.2 e 4.3 servem para analisar um problema histórico na cidade de Olinda com mais facilidade, a dificuldade em elaborar as tabelas é devida a obtenção de informações gerais, pois para se construir as tabelas é necessário conhecer parte da história de Olinda e conhecer os procedimentos realizados pela Compesa para manter o funcionamento do Sistema Botafogo.

Estágio 7 - Ações para melhoria da situação problemática

O objetivo do último estágio é sugerir algumas ações para melhoria da situação problemática. De acordo com o setor de controle operacional da Compesa, alguns bairros na cidade de Recife foram setorizados e a utilização de válvulas redutoras de pressão resultou em um melhor controle sobre perdas de água.

A Abes (2013) também faz menção da importância de treinamentos de capacitação para funcionários que trabalham em sistemas de água e também a importância da substituição e utilização de equipamentos modernos no sistema.

A seguir, algumas ações são propostas:

- Implantar a setorização na cidade de Olinda e utilizar válvulas redutoras de pressão;
- Treinamentos periódicos para funcionários da Compesa;
- Utilização de equipamentos modernos e de controle de água;
- Elaborar programas ambientais do uso racional da água para a população olindense e para os funcionários da Compesa.

A elaboração de programas ambientais para o uso racional da água deve incluir distribuição de panfletos informativos e mídias disponíveis para todos na internet. Este trabalho deve ser periódico e a linguagem utilizada para as informações deve ser de fácil compreensão. Estas ações são fundamentais para a diminuição dos impactos ambientais causados por perdas de águas em rede de distribuição do sistema Botafogo de abastecimento de água.

4.3 Considerações finais sobre o capítulo

A aplicação da SSM para estruturação do problema ambiental permite visualizar possíveis soluções para uma situação desejável do sistema de água. Uma situação desejável descrita na metodologia SSM é a implantação da setorização dos bairros de Olinda visando instalações de novas tubulações, válvulas redutoras de pressão, micromedidores e macromedidores. Isto é um fator relevante para o controle de perdas e diminuição de impactos socioambientais, pois permitirá que a água distribuída em Olinda chegue às residências, não havendo necessidade de outros meios de captação e abastecimento de água por conta da população olindense. Algumas das ações sugeridas pelo estágio 7 da aplicação SSM já foram utilizadas em outras cidades. Parte de Recife já utiliza o processo de setorização e com isso o controle de perdas de água é mais eficiente, o desperdício é menor e o impacto ambiental reduzido. Elaboração de programas ambientais pode também melhorar a imagem da Compesa na cidade de Olinda, mostrando que a companhia se preocupa com a preservação dos recursos naturais. A utilização de treinamentos periódicos para a Compesa permitirá que o funcionário nunca se torne obsoleto em relação a novas tecnologias, da mesma maneira que auxiliará no

processo de produção de água tratada e influenciará a economia de maneira positiva, pois contribuirá para a diminuição de perdas de água.

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Este trabalho utilizou a metodologia SSM para estruturação de problemas de potenciais impactos ambientais relacionados com a perda de água na rede de distribuição do sistema Botafogo de abastecimento, responsável pelo volume de água consumido em Olinda/PE. A metodologia não é adotada pela Compesa, mas pode trazer muitas vantagens como a facilidade na modelagem de problemas em sistemas de abastecimento e apresentar uma melhor compreensão para todos os envolvidos.

A construção de tabelas que comparam o modelo conceitual com o modelo real da situação do sistema Botafogo permitiu observar as diferenças entre os modelos e com isso refletir sobre possíveis mudanças desejáveis e factíveis da Compesa para buscar soluções para a problemática ambiental.

A aplicação da SSM também pode servir como aprendizado para os funcionários do sistema Botafogo para o funcionamento regular do próprio sistema, ressaltando a importância da diminuição dos impactos ambientais.

5.1 Limitações

O presente trabalho não expressa o percentual separado de índice de perdas aparentes e o percentual de índice de perdas reais de água, pois a utilização do IPD calcula o índice geral de perdas na distribuição. O trabalho também não aponta quais bairros são mais afetados pelos potenciais impactos ambientais e por falta de água na região de Olinda.

Na abordagem SSM a resolução de problemas é vista como um processo que não tem fim, no qual alterações são realizadas, problemas e situações são redefinidos, ou as visões deles são alteradas, ou seja, SSM é utilizado como um sistema de aprendizagem. Também se indica que, na tomada de decisão gerencial, a SSM não pode ser usada para a previsão de efeitos de opções estratégicas (Patching, 1992).

5.2 Considerações finais

De acordo com a tabela 2.2 verificou-se que o sistema de Botafogo de abastecimento de água é classificado como um sistema mal gerenciado, já que o índice percentual de perdas de água na distribuição foi maior que 40% ao longo dos 12 meses. Aproximadamente 51,705% de água foi perdida, a perda de água distribuída foi geral (física e aparente). A perda

de água possui um forte potencial para impactos ambientais, principalmente na transmissão de doenças e contaminação de mananciais hídricos.

A análise de impactos ambientais é importante para diminuição de custos da empresa e também a melhoria de sua imagem para o mercado. A metodologia SSM, por ter um sistema de aprendizado contínuo, é um forte aliado ao incentivo de estudos ambientais, os problemas ambientais devem ser do conhecimento de todos os envolvidos no processo, desde a diretoria da Compesa até os funcionários responsáveis pelo sistema Botafogo. A SSM é um sistema cíclico, que sempre deverá ser estudados pelos responsáveis pelo abastecimento de água, assim é possível diminuir os impactos ambientais causados por perdas de água, mas não é possível acabar completamente com os impactos, pois haverá sempre interação entre os mananciais hídricos e a sistemas de abastecimento de água.

5.3 Sugestões para futuros trabalhos

Para futuros trabalhos, sugere-se a aplicação da metodologia SSM em estudos de esgotamento sanitário e a aplicação da SSM em outros sistemas de abastecimento de água da região metropolitana de Recife, para análise e discussão de possíveis impactos ambientais específicos de cada sistema. Também se sugere estudar a viabilidade ambiental e econômica da utilização dos poços para a população e as empresas responsáveis por abastecimento de água.

REFERÊNCIAS

ABENDI – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS. Detecção de vazamentos não-visíveis: Métodos acústicos. Apostila de treinamento para profissionais níveis 1,2 e 3. Cetrol. São Paulo, 2005.

ABES - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate. Disponível em: <<http://abes-sp.org.br/arquivos/perdas.pdf>>. 2013. Acesso em dez 2015

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216 - Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Brasil. 1992. [b]

Ackermann, F. Problem structuring methods ‘in the Dock’: arguing the case for Soft OR. European Journal of Operational Research, v. 219, n. 3, p. 652-658, 2012. Disponível em<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0377221711010010>>. Acesso em: 03 jun. 2016.

Ackermann, F.; Eden, C.; Cropper, S. Getting Started with Cognitive Mapping. Tutorial paper, 7th young OR conference. (Available from Banxia Software Ltd.), 1992.

Alkassab, J. M. A.; Adlan, M. N.; Abustan, I.; Azis, H. A.; Hanif, A. B. M. Applying Minimum Night Flow to Estimate Water Loss Using Statistical modeling: A Case Study in Kinta Valley, Malaysia . Journal water resources manage. p 1439- 1455, jan. 2013.

Barbieri, J. C. Gestão ambiental empresarial: conceitos, modelos e instrumentos. São Paulo: Editora Saraiva, 2006.

Barbosa, P. S. F.; Costa, A. A. e Santos Jr, J. B. S. Um algoritmo de programação linear para análise de redes hidráulicas. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 4, n. 4. p. 75-84, 1999.

Bitoun, J.; Miranda, L.; SOUZA, M. A. A.; Lyra, M. R. S. B.Região Metropolitana do Recife no contexto de Pernambuco no censo de 2010. Observatório das metrópoles, Recife. 2010. Disponível em:<http://www.observatoriodasmetropoles.net/download/Texto_BOLETIM_RECIFE_FINAL.pdf>. Acesso 20 mar. 2016

BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos Brasil, 1997. 33p.

BRASIL. Política Nacional do Meio Ambiente. Lei federal nº 6938/81. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em 18/01/2015.

Bunch, M. J. Soft Systems Methodology and the Ecosystem Approach: A System Study of the Cooum River and Environs in Chennai, India. Environmental Management Vol. 31, No. 2, pp. 182–197, 2003

Carvalho, P.S.O.; Eficiente - Um método de dimensionamento econômico para redes de distribuição de água. 2007. 129 f. Dissertação de mestrado em engenharia urbana - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2007.

Cervo, A. L. Metodologia científica. 5. ed. São Paulo, Prentice hall, 2002.

Chama Neto, P. J. Materiais para redes. In: TSUTIYA, M. T. Abastecimento de água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 643p.

Checkland, P. Systems thinking, systems practice. New York: John Wiley & Sons, 1981.

COMPESA - COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. História e Perfil. Disponível em <<http://www.compesa.com.br/institucional/historiaeperfil>>. Acesso em 16/02/2015.

COMPESA - COMPANHIA PERNAMBUCANA DE SANEAMENTO. Descritivo técnico do sistema Botafoogo de abastecimento. Pernambuco, 1978.

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 001/1986. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>> Acesso em 08 out. 2015.

Costa, S. A metodologia de sistemas flexíveis aplicada a estudos em ciência da informação: Uma experiência pedagógica. Workshop Brasileiro de Inteligência Competitiva e Gestão do Conhecimento, 2002. v. 3.

Cunha, A. A. R ; Costa, D. M.; Silva Filho, J. L. (2015) Usando SSM para promover a melhoria da eficiência em sistemas de abastecimento de água. In: Simpósio brasileiro de pesquisa operacional. 47. 2015. Pernambuco, 2015. 10 p.

Curo, R. G. Mapa Cognitivo do método SODA aplicado ao problema da produção científica no ensino superior. *EPIO*, Buenos Aires, Argentina. 2012. Disponível em: <http://www.epio.org.ar/attachments/126_Seminario%20Belderrain%20-%20Castellini.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2016.

Donaire, Denis. Gestão ambiental na empresa. São Paulo: Atlas, 1999.

Eden, C.; Huxham, C. Action – oriented strategic management. *Journal of the Operational Research Society* 39, 889-899, 1988

Faculdade Oswaldo Cruz. Sulfato de Alumínio. Abril, 2013. Disponível em <<https://www.oswaldocruz.br/download/fichas/Sulfato%20de%20alum%C3%ADnio2003.pdf>> Acesso em 20 jun 2016

Farley, M. et al. The Manager's Non-Revenue Water Handbook – A Guide to Understanding Water Losses, Ranthill Utilities Berhad and USAID, 2008

Friend, J.; Hickling, A. Planning under pressure. Third ed. Elsevier Butterworth-Heinemann: Oxford, 2005.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. Redução de perdas em sistemas de abastecimento de água. Brasília: FUNASA, 2014. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/reducao_de_perdas_em_saa74.pdf>. Acesso em 16 mar. 2016.

- Ganem, L.; Martinez, C. B.; Jacob, A. C. Calibração e proposição de melhorias de um sistema de abastecimento de água de uma pequena localidade utilizando o software Epanet. 20º Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Bento Gonçalves - RS. 2013
- Gil, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- Gomes, A. S. (Org.). Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Brasília: SNSA, 2007.
- Gonçalves, E. Metodologias para controle de perdas em sistemas de distribuição de água – Estudo de casos da CAESB. 1998. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Brasília. Brasília, 1998.
- Gonçalves, Elton et al. Guias Práticos -Técnicas de Operação em Sistemas de Abastecimento: Controle de Pressões e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão. PNCD - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasil: Grau Design, 2007, v.4, 51p.
- Guimarães, A. J. A.; Carvalho, D. F. de; Silva, L. D. B. da. Saneamento básico. Disponível em:
<<http://www.ufrrj.br/institutos/it/deng/leonardo/downloads/APOSTILA/Apostila%20IT%20179/Capit%204%20parte%202.pdf>> Acesso em: 27 mai. 2016.
- Gularte, C. B. Um estudo sobre a submedição em hidrômetros para aplicação no controle de perdas aparentes no sistema de abastecimento de água de Blumenau. 2005. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005, 138 p
- Gusmão Filho, J. A. A cidade histórica de Olinda: Problemas e soluções de engenharia. Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco. Pernambuco, Ed Universitária 2001 52p.
- Heller, L.; Pádua, V.L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010. 2 v. 872 p.
- Herstein, L. M.; Fillion, Y. R.; Hall, K. R. Evaluating Environmental Impact in Water Distribution System Design. September 2009, Vol. 15, No. 3, pp. 241–250.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Dados e informações sobre municípios brasileiros. Brasil. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br>>. Acesso em 5 ago. 2015.
- Klingel, P. & Knobloch, A. A Review of Water Balance Application in Water Supply. Journal American Water Works Association. p 339-350. Julho, 2015
- Koche, J.C. Fundamentos de metodologia científica: teoria da ciência e iniciação à pesquisa. 21 ed. Petrópolis: Vozes, 1997.
- Malavolta, E.; Andreaola, F.; Cavalcante, F. S. Efeito dos excessos de Alumínio, Cloro e Manganês em dois cultivares de Soja. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, São Paulo, V. 37. P. 343 -351, 1980
- Martinelli, D. P.; Ventura, C. A.A. (org). Visão Sistêmica e Administração: conceitos, metodologias e aplicações. Editora Saraiva, 2005 (no prelo).

- Meunier, I. M. J.; Silva, H. C. G. Horto D'el Rey de Olinda, Pernambuco: História, estado atual e potencialidade da cobertura vegetal de uma área verde urbana (quase) esquecida. REVSBAU, São Paulo, v.4, n.2, p.62-81, 2009
- Mierzwa, J. C.; Hespanhol, I. Água na indústria: uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2005.
- Mingers, J., Rosenhead, J., 2004, "Problem structuring methods in action", European Journal of Operational Research, v.152, pp. 530-554.
- Miranda, E. C. Gerenciamento de perdas de água. Capítulo 17. In: Abastecimento de água para consumo humano. Léo Heller e Valter Lúcio de Pádua (Organizadores). Belo Horizonte: Editora UFMG, 2006.
- Montibeller Neto, Gilberto. Universidade Federal de Santa Catarina. Mapas cognitivos: uma ferramenta de apoio à estruturação de problemas, 1996. 205p, tese (mestrado)
- Moura, E. M. de; Dias, I. C. S.; Silva, J. S.; Silva, F. C. DA. Abordagem sobre perdas de água em sistemas de abastecimento: breve explanação sobre os tipos e principais causas. IV SEREA - Seminário Hispano- Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. João Pessoa. 2004.
- Mutikanga HE, Sharma SK, Vairavamoorthy K (2013) Methods and Tools for managing Losses in Water Distribution Systems. Journal Water Resour. Plann. Management, v.139, p. 166-174, abril, 2013.
- O'day, D. K. Organizing and analyzing leak and break data for making replacement decisions. Journal of American Water Works Association, v. 74, n. 11, p. 589-594, nov. 1982.
- Oldford, A.; Filion, Y. Regulatory, Analysis, and Decision Support Challenges to Reduce Environmental Impact in the Design and Operation of Water Distribution Networks. J. Water Resour. Plann. Manage., 2013, 139(6): 614-623
- OLINDA. Prefeitura Municipal. Plano municipal de cultura em Olinda/PE. Disponível em: <http://www.olinda.pe.gov.br/pmc/consulta-publica/diagnostico-da-cultura/3-6_diaagnosticos-setoriais/3-6-5-carnaval/>. Pernambuco. Acesso em 8 mar. 2016.
- Patching, D. Seeking out the issues: how soft systems methodology was employed to advise a social services department on the use of information technology. *OR Insight*, v. 5, n. 1. 1992, pp. 9-14.
- Rosenhead, J. Past, present and future of problem structuring methods. Journal of the Operational Research Society, v. 57, n. 7, p. 759-765, 2006. <http://dx.doi.org/10.1057/palgrave.jors.2602206>
- SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Perdas em sistemas de abastecimento de água - Conceitos gerais. São Paulo: SABESP, 2005. Disponível em [http:// www.sabesp.gov.br](http://www.sabesp.gov.br). (Apresentação em agosto de 2005).
- SABESP - COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Programa de redução de perdas na região de São Paulo: SABESP, 2006. Disponível em <http://www.sabesp.gov.br>. (acesso em 27 mai 2016).

- Sanchez, L. E. Avaliação ambiental estratégica e sua aplicação no Brasil. Instituto de estudos avançados da universidade de São Paulo. Dezembro 2008. Disponível em: <<http://www.iea.usp.br/publicacoes/textos/aaeartigo.pdf/view>>. Acesso em Agosto de 2016.
- Santana, G. C. Otimização da operação de sistemas de distribuição de água abastecidos por bombeamento e reservatórios de regularização. Tese de Doutorado – Faculdade de Engenharia Elétrica e Computação, UNICAMP, 1999.
- SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2011. Brasília, 2011.
- SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2013. Brasília, 2013.
- Stokes, J. R.; Horvath, A.; Sturm, R. Water loss control using pressure management: Life-cycle energy and air emission effects. *Environmental Science & Technology*. v. 47, n. 19, 2013, p. 10771-10780.
- Suriya, S.; Mudgal, b. v. Soft systems methodology and integrated flood management: a study of the Adayar watershed, Chennai, India. *Water and environment journal*, 27. pp 462–473, 2013.
- Tardelli Filho, J. Controle e redução de perdas. In: Abastecimento de Água. TSUTIYA, M.T. (org.). 2ª ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005.
- Tardelli Filho. J. Controle e redução de perdas, in: Tardelli Filho, M. T. Abastecimento de Água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.
- Tsutiya, M. T. Abastecimento de água. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004 43p.
- Vidal, R.,V.,V., 2006, “Operational Research: a Multidisciplinary Field”, Pesquisa
- Viterbo, J. E. Sistema integrado de gestão ambiental: como implementar um sistema de gestão que atenda à norma ISO 14001, a partir de um sistema baseado na norma ISO 9000. 2ª Ed. São Paulo: Aquariana. 1998.
- Wang, W.; Liu, W.; Mingers, J. A systemic method for organisational stakeholder identification and analysis using Soft Systems Methodology (SSM). *European Journal of Operational Research*, p. 562-574, 2014.
- Yazbek Filho, V. D. Minimização de perdas físicas em redes de distribuição de água com a utilização de algoritmos genéticos. Dissertação (Mestrado) - 87. Departamento de Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, 2003. 76 p.

