



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**CAMPUS PONTA GROSSA**  
**DEPARTAMENTO DE PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**  
**PPGEP**

**FLAVIO TROJAN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITO-  
RAMENTO ESPECIALIZADO INTEGRANDO-O AOS  
PROCESSOS DE GESTÃO DE UMA EMPRESA DE  
ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA VISANDO A  
REDUÇÃO DE PERDAS DO PRODUTO**

**PONTA GROSSA**

**JUNHO - 2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**FLAVIO TROJAN**

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO ESPECIALIZADO INTEGRANDO-O AOS PROCESSOS DE GESTÃO DE UMA EMPRESA DE ABASTECIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA VISANDO A REDUÇÃO DE PERDAS DO PRODUTO**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Área de Concentração: Gestão Industrial, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, Campus Ponta Grossa, da UTFPR.

**Orientador:** Prof. Dr. Rui Francisco Martins Marçal

**PONTA GROSSA**

**JUNHO - 2006**

T845 Trojan, Flavio

Desenvolvimento de um sistema de monitoramento especializado integrando-o aos processos de gestão de uma empresa de abastecimento público de água visando a redução de perdas do produto. / Flavio Trojan. -- Ponta Grossa : UTFPR, Campus Ponta Grossa, 2006.

121 f.: il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Rui Francisco Martins Marçal

Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Ponta Grossa, 2006.

1. Sistemas de monitoramento. 2. Processos industriais (Gestão). 3. Água (Abastecimento público). 4. Gestão industrial. I. Marçal, Rui Francisco Martins. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Ponta Grossa. III. Título.

CDD 628.1



Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
– Campus de Ponta Grossa  
Departamento de Pós-Graduação  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**



**TERMO DE APROVAÇÃO**

Título de Dissertação N° 029

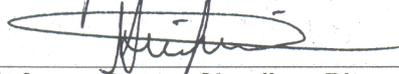
**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE MONITORAMENTO ESPECIALIZADO  
INTEGRANDO-O AOS PROCESSOS DE GESTÃO DE UMA EMPRESA DE ABASTE-  
CIMENTO PÚBLICO DE ÁGUA VISANDO A REDUÇÃO DE PERDAS DO PRODUTO**

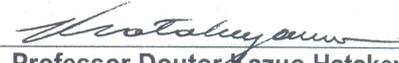
por

**Flavio Trojan**

Esta dissertação foi apresentada às **dez horas** da manhã do dia **14 de junho de 2006** como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, com área de concentração em **Gestão Industrial**, linha de pesquisa em **Produção e Manutenção**, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. O candidato foi argüido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

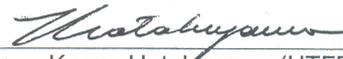
  
\_\_\_\_\_  
Professor Doutor Sérgio Eduardo  
Gouvêa da Costa (PUCPR)

  
\_\_\_\_\_  
Professor Doutor Claudinor Bitencourt  
Nascimento (UTFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Professor Doutor Kazuo Hatakeyama  
(UTFPR)

  
\_\_\_\_\_  
Professor Doutor Rui Francisco  
Martins Marçal - Orientador

Visto do Coordenador:

  
\_\_\_\_\_  
Kazuo Hatakeyama (UTFPR)  
Coordenador do PPGEP

## **AGRADECIMENTOS**

**A DEUS**, que ilumina nosso caminho;

**À minha família**, pelo apoio e amor dispensados;

**Aos meus amigos e colegas**, pelo grande apoio que me dedicaram;

**Ao meu orientador**, Prof. Dr. Rui Francisco Martins Marçal, um grande amigo;

**Aos professores do PPGE**, que proporcionaram todo o apoio necessário durante o transcorrer do curso;

**À instituição** pela grata satisfação de poder ingressar nessa respeitosa comunidade científica;

**À todas as pessoas** a quem devo a felicidade de poder compartilhar minha vida.

## RESUMO

Este trabalho tem por objetivo descrever a pesquisa, o desenvolvimento e a implantação de um Sistema de Monitoramento Especializado (SME) integrando-o aos processos de gestão, visando manter a qualidade e o fornecimento em sistemas públicos de abastecimento de água no segmento de saneamento básico.

Apoiado nos índices de desperdício de produtos demonstra a importância da implantação do SME para analisar e prescrever ações de intervenção de manutenção e embasar as decisões. Ressalta o surgimento de um Gerenciamento Especializado de Manutenção (GEM), decorrente da integração automatizada entre a manutenção e os demais setores das empresas, tais como: o setor de produção, de engenharia e de gestão.

A metodologia adotada é demonstrada no estudo dos processos de Automação e Gestão de Manutenção existentes em uma empresa de saneamento básico de uma cidade com 300 mil habitantes e na elaboração e implantação do SME entre os anos 2005 e 2006, nesta empresa. Os resultados obtidos na redução de perdas de água, no apoio às decisões e no gerenciamento da manutenção, se mostram evidentes.

Como conclusão, o trabalho aponta o SME como uma oportunidade de melhoria no controle e no gerenciamento da área de manutenção, através do seu sistema especialista que integra, analisa as informações e agiliza as decisões e prescrições de intervenção de forma fundamentada e consistente.

**Palavras-chave:** Manutenção de processos, Sistema de Monitoração Integrado, Abastecimento público de água.

## ABSTRACT

This paper has the objective of describing the research, the development and the implementation of a Specialized Monitoring System (SME) integrated to administrative processes, which aims to maintain the water quality and its supply in segments of public basic sanitation systems.

Based on levels of product losses, demonstrates the importance of the SME implementation to analyze and prescribe intervention actions in maintenance and orient decisions. It emphasizes the creation of a Specialized Maintenance Management System (GEM), derived from the automated integration between maintenance and the other company departments, such as: the production department, the engineering department and the administrative department.

The adopted method is demonstrated in the process studies about Automation and Maintenance Management in a basic sanitation company of a city with 300 thousand inhabitants. This method is also demonstrated in the making and the implementation of the SME in this company during 2005/2006. The results obtained in the reduction of water loss, the support in the decision making process and the improving of maintenance management are evident.

As conclusion, the paper indicates the SME as an opportunity for improving the control and the management of the maintenance department through its specialized system which integrates and analyses information, reduces the time used in the decision making process as well as prescribes a well-based and consistent way of intervention.

**Key words:** Maintenance Management System, Specialized Monitoring System, Expert system on decision making, Public water supply system.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Fornecimento de água - Concepção .....	23
Figura 2 Supervisão e Controle Operacional (hipotético) .....	31
Figura 3 Pontos frequentes de vazamentos em redes de distribuição .....	58
Figura 4 Rede Semântica .....	71
Figura 5 Mapa Temático – Divisão de vilas.....	80
Figura 6 Foto de Satélite com divisão de vilas .....	81
Figura 7 Mapa Temático – Divisão de áreas de medição.....	82
Figura 8 Foto de Satélite com divisão de áreas de medição .....	82
Figura 9 Simulação do Sistema SME.....	83
Figura10 Arquitetura do SME.....	86
Figura11 Etapas para implantação do SME .....	87
Figura12 Abrangência do monitoramento especializado em Ponta Grossa - PR .....	90
Figura13 Situação na implantação do SME .....	91
Figura14 Abrangência populacional da manutenção .....	92
Figura15 Situação após 5 meses de operação .....	93
Figura16 Sistema em operação – Tela principal .....	94
Figura17 Sistema em operação – Abrangência populacional.....	94
Figura18 Sistema em operação – Apresentação da decisão .....	95
Figura19 Descrição dos procedimentos.....	96
Figura 20 Rede Semântica do SME.....	98
Figura 21 Diagrama de contexto .....	99
Figura 22 Formulário de controle de patamar noturno .....	100
Figura 23 Formulário de controle dos procedimentos e aferição de resultados.....	101
Figura 24 Exemplo de procedimento – Manobra de área.....	102
Figura 25 Modelo Entidade Relacionamento (MER) do SME.....	102

Figura 26 Histograma dos serviços de manutenção - 2004.....	109
Figura 27 Polígono de freqüências dos serviços de manutenção - 2004.....	109

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 Consumo Hídrico no Mundo .....	17
Gráfico 2 Tendências no consumo global de água .....	18
Gráfico 3 Índice de Perdas (PSD <sub>12</sub> ) Ponta Grossa (1998 – 2005).....	33
Gráfico 4 Volume não faturado sobre volume produzido.....	53
Gráfico 5 Possível perda real / física por extensão de rede .....	54
Gráfico 6 Possível perda real / física por economia .....	54
Gráfico 7 Índice após implantação dos sistemas de automação e SME (2001 – 2006).....	111
Gráfico 8 Formulário – Controle de Perdas.....	112

## LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1 Causas prováveis de falhas e rupturas em tubulações.....	58
Quadro 2 Relação dos itens e prioridades em – O que fazer? .....	63
Quadro 3 Relação dos itens e características em – Como fazer? .....	65
Quadro 4 Comparação das ações do especialista com o SME.....	104
Quadro 5 Dados estatísticos dos serviços de manutenção Ponta Grossa – 2004.....	107
Quadro 6 Dados estatísticos dos serviços de manutenção Ponta Grossa – 2006.....	110
Tabela 1 Distribuição de água na biosfera e tempo de renovação .....	15
Tabela 2 Consumo de água por setor consumidor no Mundo .....	16
Tabela 3 Consumo de energia elétrica Ponta Grossa (1998 – 2003) .....	34
Tabela 4 Regras do sistema especialista .....	97

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABEAS	- Associação Brasileira de Estudo Agrícola Superior
ANA	- Agência Nacional das Águas
CCO	- Centro de Controle Operacional
DSS	- <i>Decision Support Systems</i> (Sistemas de suporte à decisão)
EEB	- Estação Elevatória de água Bruta
E-ERP	- <i>Expert Enterprise Resources Planning</i> ( Sistemas Especialistas de Gestão Empresarial)
ERP	- <i>Enterprise Resources Planning</i> (Sistemas de Gestão Empresarial)
ES	- <i>Expert Systems</i> (Sistemas Especialistas)
ESS	- <i>Expert Support Systems</i> (Sistemas Especialistas de Suporte)
ETA	- Estação de Tratamento de Água
IA	- Inteligência Artificial
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
I-ERP	- <i>Intelligent Enterprise Resources Planning</i> (Sistemas Inteligentes de Gestão Empresarial)
IN	- Informática
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Padronização)
km <sup>3</sup>	- Kilômetros cúbicos
kwh	- Kilowatt hora
m <sup>3</sup>	- Metros cúbicos
ONU	- Organização das Nações Unidas
%	- Porcento
PID	- Proporcional, Integral, Derivativa
PNCDA	- Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PSD	- Perdas no Sistema Distribuidor
PSD <sub>12</sub>	- Perdas no Sistema Distribuidor (média de 12 meses)
PSP	- Perdas no Sistema Produtor
SAD	- Sistemas de Apoio à Decisão
SANEPAR	- Companhia de Saneamento do Paraná
SCADA	- <i>Supervisory Control and Data Acquisition</i> (Supervisão Controle e Aquisição de Dados)
SI	- Sistemas de Informação
SE	- Sistemas Especialistas
SIG	- Sistema Integrado de Gestão
SME	- Sistema de Monitoramento Especializado
SNIS	- Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

## SUMÁRIO

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE GRÁFICOS

LISTA DE QUADROS E TABELAS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SUMÁRIO

<b>Capítulo 1 .....</b>	<b>15</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
1.1 Conceito de Hidráulica e Subdivisões .....	20
1.2 Fornecimento de Água - Concepção .....	21
1.3 Automação no Abastecimento público de água .....	25
1.4 Motivação do Trabalho .....	28
1.5 Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA.....	29
1.6 A automação do sistema .....	30
1.7 Objetivos .....	35
1.7.1 Geral .....	35
1.7.2 Específicos .....	35
<b>Capítulo 2 .....</b>	<b>37</b>
<b>2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>37</b>
2.1 Gestão Integrada .....	37
2.1.1 Gestão da Manutenção .....	37
2.1.2 Sistemas de Informação (SI).....	38
2.1.3 Definições básicas.....	40
2.1.4 A Arquitetura do Sistema.....	43
2.1.5 Sistemas Atuais .....	46
2.1.6 Gerenciamento de empresas .....	47
2.1.7 Modelo Especialista.....	49
2.1.8 Informática .....	49
2.2 Custos de Produção e Operação .....	51
2.3 Indicadores de Desempenho do Abastecimento de água no Brasil.....	52
2.4 Vazão mínima noturna (VMN) .....	54
2.5 Controle de perdas e dados operacionais: bases da integração .....	59
2.6 Controle de perdas integrado ao gerenciamento: o caso de Madrid .....	60

2.6.1	Critérios .....	61
2.6.2	Procedimentos.....	61
2.6.3	Manutenção .....	62
<b>Capítulo 3</b>	<b>.....</b>	<b>63</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>63</b>
3.1	O que fazer? .....	63
3.1.1	Estudo da estrutura dos sistemas (automação e gestão da manutenção).....	64
3.2	Como fazer? .....	65
3.2.1	O sistema especialista.....	65
3.3	Para quem fazer? .....	77
<b>Capítulo 4</b>	<b>.....</b>	<b>79</b>
<b>4</b>	<b>SISTEMA DE MONITORAMENTO ESPECIALIZADO (SME) .....</b>	<b>79</b>
4.1	Arquitetura do SME.....	84
4.1.1	Banco de Conhecimentos .....	84
4.1.2	Dispositivos de Inferência.....	84
4.1.3	Linguagem .....	84
4.1.4	Programa base .....	84
4.1.5	Saber Especializado .....	85
4.1.6	Sistema de Gestão .....	85
4.2	Etapas da implantação do SME .....	87
<b>Capítulo 5</b>	<b>.....</b>	<b>89</b>
<b>5</b>	<b>IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS .....</b>	<b>89</b>
	Conclusões.....	114
	Limitações e Trabalhos futuros .....	116
	Referências Bibliográficas .....	118
	Anexos .....	122
	Trabalhos publicados no desenrolar das pesquisas.....	122

# Capítulo 1

## 1 INTRODUÇÃO

Dentre todos os recursos naturais, certamente o mais importante para o bem-estar da humanidade é a água. Durante milênios, constituiu-se um patrimônio inteiramente livre de que os habitantes da Terra se serviam despreocupadamente. O volume total de água no planeta é constante e as reservas somam aproximadamente 1.400 bilhões de m<sup>3</sup>. O volume de água doce representa cerca de 37,8 bilhões de m<sup>3</sup>, ou 2,7% da quantidade total de água no planeta. Deste volume total, os rios representam 0,00009%, os lagos 0,009% e a água contida na atmosfera 0,0009%. O restante da água do planeta está distribuído entre oceanos, calotas polares, geleiras, água subterrânea e água misturada no solo (ABEAS, 1998).

A distribuição de água no planeta não é uniforme, o que produz alterações continentais, regionais e locais no uso dos recursos hídricos, com profundas implicações econômicas.

Na Tabela 1 é apresentada a distribuição de água na biosfera e seu tempo de renovação.

**Tabela 1. Distribuição de água na biosfera e tempo de renovação**

Local	Volume (m <sup>3</sup> )	Percentual do total e da água doce * (%)	Tempo de renovação
Oceanos	1.362.200.000	97,30	3100 anos
Água doce	37.800.000 *	2,70	-
Calotas polares e geleiras	29.181.000	77,20 *	16000 anos
Água subterrânea	8.467.200	22,40 *	300 anos
Água doce de lagos	132.300	0,35 *	1-100 anos
Rios	34.020	0,09 *	12-20 dias
Vapor d'água na atmosfera	15.120	0,04 *	9 dias

Fonte: ABEAS, 1998.

Com o progresso surgem também os agrupamentos urbanos, cujas múltiplas atividades exigem, a cada dia, uma maior quantidade de água. Além de ser um bem indispensável para a vida humana, a água que é também matéria-prima industrial, tem se tornado cada vez mais escassa.

O homem tem utilizado, em suas atividades, aproximadamente 2,5 vezes mais água do que a quantidade disponível em todos os rios do planeta, o que vem ocasionando assim a utilização desmedida da água existente nos lagos e em lençóis subterrâneos.

Na Tabela 2 é apresentado o consumo de água no planeta do ano de 1900 até o ano 2000, por setor consumidor:

**Tabela 2. Consumo de água por setor consumidor**

Setor/consumo anual (m <sup>3</sup> )	1900	1950	1970	1980	2000
Agricultura	409.000	859.000	1.400.000	1.730.000	2.500.000
Indústria	4.000	15.000	38.000	62.000	117.000
Municipal	4.000	14.000	29.000	41.000	65.000
Reservatório	-	7.000	66.000	120.000	220.000
Total	417.000	895.000	1.533.000	1.953.000	2.902.000

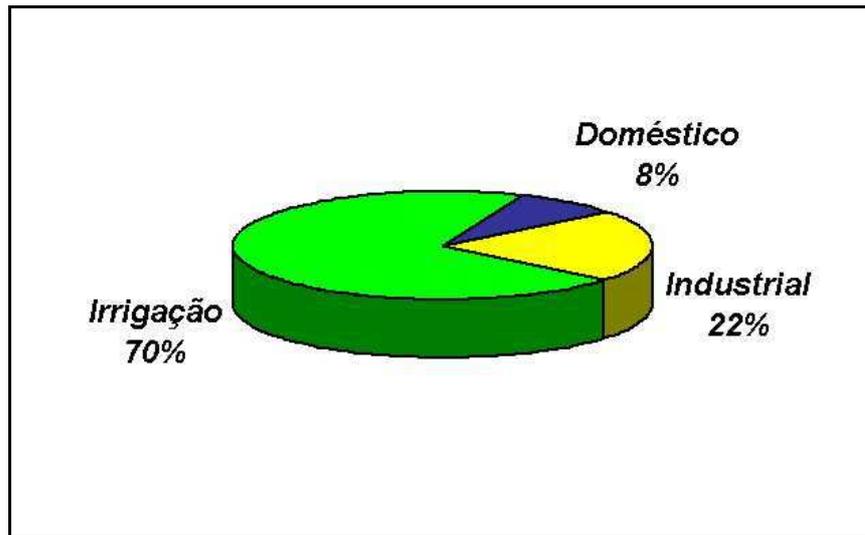
Fonte: Tundisi, 2005

A água é essencial à vida e todos os organismos vivos no planeta Terra dependem dela para sua sobrevivência.

O planeta Terra tem água nos três estados (sólido, líquido e gasoso), e as mudanças de estado físico da água no ciclo hidrológico são fundamentais e influenciam os processos biogeoquímicos nos ecossistemas terrestres e aquáticos.

O Gráfico 1 apresenta, com base nas informações do *World Resources Institute* – ONU, a porcentagem de consumo hídrico no mundo por atividade.

Destaca-se a agricultura, através da irrigação, como a atividade que mais utiliza água no mundo.



**Gráfico 1. Consumo Hídrico no Mundo**

Fonte: ONU, 1999.

Verifica-se, pelos estudos da ANA – Agência Nacional das Águas (2002), que a América Latina apresenta a melhor disponibilidade hídrica do planeta, dispondo de 24.973 m<sup>3</sup>/habitante/ano, valor muito superior à média mundial de 7.055 m<sup>3</sup>/habitante/ano. A Ásia e parte da África apresentam situação crítica, devido à enorme população concentrada nos países desses continentes. Inserido no contexto Latino Americano, o Brasil é um país privilegiado no que se refere à disponibilidade hídrica global, dispondo de um volume médio anual de 8.130.000 m<sup>3</sup>, que representa um volume per capita de 50.810 m<sup>3</sup>/habitante/ano. Entretanto, a concentração da população brasileira em conglomerados urbanos, alguns dos quais já se caracterizando como mega-cidades, vem ocasionando pressões crescentes sobre os recursos hídricos. O suprimento de água doce de qualidade potável é essencial para o desenvolvimento econômico, para a qualidade de vida das populações humanas e para a sustentabilidade dos ciclos no planeta (TUNDISI, 2005).

O Brasil possui aproximadamente 16% das águas doces do planeta, distribuídas desigualmente, e sempre houve grande dependência dos recursos hídricos para o seu desenvolvimento econômico. A água funciona como fator de desenvolvimento, pois ela é utilizada em inúmeras aplicações, diretamente relacionadas com a sustentabilidade da economia (regional, nacional e internacional). Os usos mais comuns e freqüentes dos recursos hídricos são: água para uso doméstico, irrigação, uso industrial e hidroeletricidade. Os usos múltiplos da água aceleram-se em todas as regiões,

continentes e países. Estes usos múltiplos aumentam à medida que as atividades econômicas se diversificam e as necessidades de água aumentam para atingir níveis de sustentação compatíveis com as pressões da sociedade de consumo, a produção industrial e agrícola (BISWAS, 1991).

O gráfico 2 apresenta as tendências no consumo global de água de 1900 a 2000 apresentado pela ANA (2002).

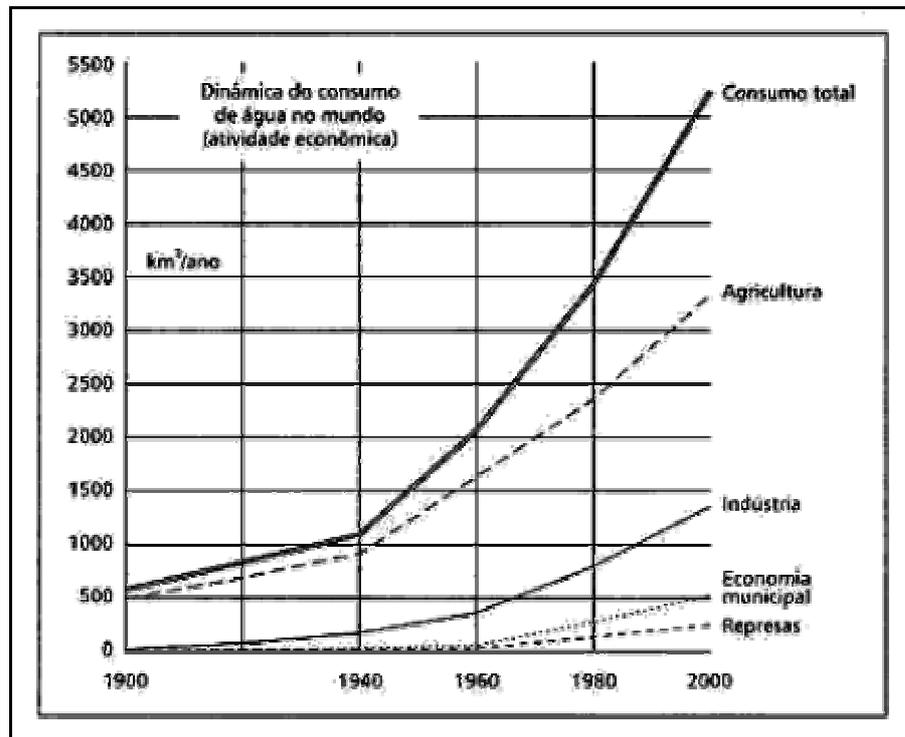


Gráfico 2. Tendências no consumo global de água, 1900-2000

Fonte: ANA, 2002.

A urbanização acelerada em todo o planeta produz inúmeras alterações no ciclo hidrológico e aumenta consideravelmente as demandas para grandes volumes de água, aumentando também os custos do tratamento, a necessidade de mais energia para distribuição de água e a pressão sobre os mananciais. À medida que aumenta o desenvolvimento econômico e a renda *per capita*, aumenta a pressão sobre os recursos hídricos superficiais e subterrâneos. As estimativas e projeções sobre os usos futuros dos recursos hídricos variam bastante, em função de análises de tendências diversificadas. Algumas estimativas são baseadas em projeções dos

usos atuais, outras em função de reavaliações dos usos atuais e introdução de medidas de economia da água, tais como, a reutilização e medidas legais para diminuir os usos e o consumo e evitar desperdícios, ou a cobrança pelo uso da água e o princípio do poluidor-pagador (TUNDISI, 2005).

O aumento e a diversificação dos usos múltiplos, o extenso grau de urbanização e o aumento populacional resultam em uma multiplicidade de impactos que exigem, evidentemente, diferentes tipos de avaliação, novas tecnologias de monitoramento e avanços tecnológicos no tratamento e gestão das águas. Este último tópico tem fundamental importância no futuro dos recursos hídricos, pois os cenários de uso excessivo estão relacionados com uma continuidade das políticas no uso e gestão pouco evoluída conceitualmente e tecnologicamente.

Os resultados de todos estes impactos são muito severos para as populações humanas, afetando todos os aspectos da vida diária das pessoas, a economia regional e nacional e a saúde humana. Estas conseqüências podem ser resumidas em:

- degradação da qualidade da água superficial e subterrânea;
- aumento das doenças de veiculação hídrica, com o conseqüente impacto na saúde humana;
- diminuição da água *per capita* disponível;
- aumento no custo da produção de alimentos;
- impedimento ao desenvolvimento industrial e agrícola e comprometimento dos usos múltiplos e
- o aumento dos custos de tratamento de água.

Também o crescimento exponencial da população promove uma enorme demanda sobre os recursos hídricos e aumenta, significativamente, a necessidade de grandes volumes de água para suprir as populações urbanas adequadamente sem causar danos à saúde pública. A urbanização avança sobre os mananciais e deteriora as fontes de suprimentos superficiais e subterrâneas. Os custos do tratamento para produção de água potável atingem altos valores especialmente se os mananciais estão desprotegidos de florestas, ripárias e cobertura vegetal suficiente nas bacias hidrográficas e se as águas subterrâneas estão contaminadas. No Brasil somente

20% dos esgotos municipais são tratados, produzindo um vasto processo de eutrofização de rios, represas e lagos naturais e águas costeiras (TUNDISI, 2005).

Na ocorrência destes fatos, o administrador público moderno enfrenta duas classes de problemas no que se relaciona ao uso da água:

- problemas de preservação ambiental nos países subdesenvolvidos, sem a correta destinação dos recursos hídricos em proveito das perspectivas populacionais e,

- problemas de educação ambiental, nos países desenvolvidos, com a difícil conscientização para a educação das pessoas em relação à preservação desses recursos naturais.

Para a sobrevivência e conforto da população mundial a produção e distribuição da água para a indústria e consumo doméstico são feitas através de sistemas públicos de abastecimento. A utilização da água para abastecimento da população deve ter prioridade sobre os demais usos dos recursos hídricos. Do ponto de vista operacional, o abastecimento de água pode ser considerado um processo que faz parte do Ciclo do Abastecimento de Água (PHILIPPI, 2005).

## 1.1 Conceito de Hidráulica e Subdivisões

O significado etimológico da palavra hidráulica é “condução de água” (do grego: “*hydor*”, água e “*aulos*”, tubo, condução).

O termo hidráulica assumiu um significado mais amplo “é o estudo do comportamento da água e de outros líquidos, quer em repouso, quer em movimento” (AZEVEDO NETO, 1977).

O tema é tratado das seguintes formas:

1. Geral ou Teórica (Hidrostática e Hidrodinâmica) e
2. Aplicada ou Hidrotécnica,

A Hidrostática investiga os esforços a que são submetidos os líquidos em equilíbrio, ao passo que a Hidrodinâmica tem por objeto o estudo dos líquidos em movimento.

Ainda a Hidráulica Aplicada subdivide-se em:

- a) Hidráulica Urbana (sistemas de abastecimento de água, esgotos sanitários, galerias de águas pluviais, drenagem de áreas);
- b) Hidráulica rural ou agrícola (Irrigação e drenagem);
- c) Hidráulica Fluvial (rios e canais);
- d) Hidráulica Marítima (portos, obras marítimas);
- e) Instalações hidráulicas industriais e
- f) Técnica hidrelétrica.

Este trabalho de pesquisa concentra-se numa das subdivisões da Hidráulica Aplicada: a Hidráulica Urbana - Sistemas Públicos de Abastecimento de Água.

## **1.2 Fornecimento de Água - Concepção**

O fornecimento de água para um centro urbano inicia-se na captação da água, onde são reunidos esforços energéticos para transportar a água, que normalmente encontra-se em rios, lagos ou grandes reservatórios (barragens), para águas superficiais; e poços perfurados para águas subterrâneas.

Para isso torna-se necessário elevar a água dos níveis altimétricos de captação, através de bombas hidráulicas de sucção, situadas em CASA DE BOMBAS ou EEB (Estação Elevatória de Água Bruta), até o SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA, nas Estações de Tratamento de Água (ETA).

A água passa por um processo de desinfecção, através da adição de produtos químicos (SUPRIMENTO QUÍMICO), mistura, filtração, floculação e decantação, até se tornar totalmente potável para ser distribuída por redes de tubulações e armazenada em reservatórios (ARMAZENAMENTO DA ÁGUA TRATADA), os quais garantem a reserva para o sistema.

Na distribuição da água, depois de tratada, as redes de tubulações (REDE MUNICIPAL DE ÁGUA), que partem das ETAs, abastecem reservatórios e ramificam-se através de interligações até atingirem os consumidores finais.

Essas tubulações dividem-se em áreas que formam as zonas de reservação e abastecem ligações de água nas residências a partir dos reservatórios do sistema.

Dentro das zonas de reservação, formam-se novas malhas de tubulações, que distribuem água à população de acordo com o consumo, características hidráulicas e estatísticas de cada área, tais como: número de habitantes, tipos de atividades econômicas, topologia, geografia, plani-altimetria e as variáveis que compõem o histórico de consumo característico da área.

Essas últimas, também chamadas zonas de pressão, formam-se quando há uma quebra ou elevação da pressão hidráulica nas redes. Essa quebra de pressão é realizada por válvulas de redução de pressão (VRP) e a elevação por bombeamento hidráulico em ESTAÇÃO DE BOMBAS REFORÇADAS (EET ou *booster*).

O estágio final do abastecimento de água é a medição das unidades individuais de consumo, através de medidores de pequenas vazões - hidrômetros. Este tipo de medição é denominado micromedição.

As medições intermediárias das redes de distribuições são aferidas pela macromedição, através de equipamentos instalados entre as tubulações de saídas das ETAs e reservatórios ou em malhas de alimentação.

As diferenças entre esses dois tipos de medições formam a base de cálculo para a determinação das perdas físicas de um sistema público de abastecimento de água, ponto vital para a atuação da manutenção, que através de técnicas de gestão objetiva reduzir o desperdício do produto.

As mais variadas formas de energia podem ser encontradas nesses sistemas de abastecimento. Na ilustração da figura 1, apresenta-se um croqui do fornecimento de água onde se pode visualizar a interação entre a energia elétrica, a hidráulica e as reações químicas. Essas últimas usadas para tratamento e garantia da qualidade da água.

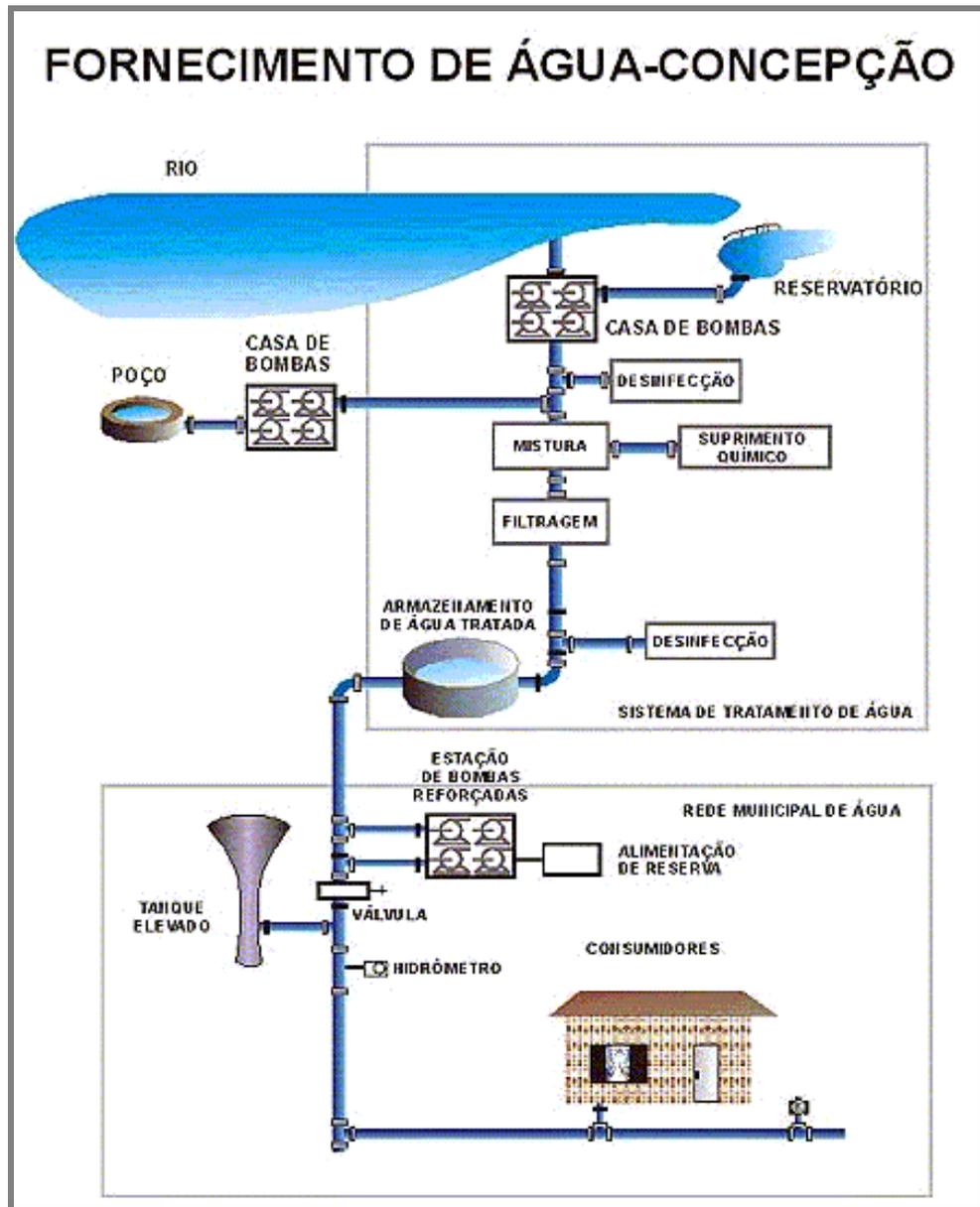


Figura 1. Fornecimento de Água – Concepção

Fonte: Sanepar, 2005.

De uma maneira geral os autores descrevem um sistema público de abastecimento de água com um conjunto de estruturas, equipamentos, canalizações, órgãos principais e acessórios, peças especiais destinadas ao fornecimento seguro e de qualidade potável para prédios e pontos de consumo público, para fins sanitários, higiênicos e de conforto da população.

Compreende basicamente: manancial (captação), adução, estação elevatória, tratamento, reservação e distribuição.

As redes de abastecimento de água potável das cidades são também chamadas de adutoras, linhas alimentadoras e linhas distribuidoras. Às primeiras é reservado o papel de aduzir a água dos mananciais às estações de tratamento e dessas aos reservatórios principais, estabelecendo a intercomunicação entre eles. As linhas alimentadoras servem para o abastecimento de reservatórios secundários e das linhas distribuidoras. Essas últimas fornecem água às derivações para o abastecimento da população da cidade (MACINTYRE, 1996).

O sistema geralmente surge e cresce com a comunidade. Ampliações, extensões, reparos e manutenção da estrutura existente são mais comuns na rotina dos serviços de abastecimento de água. Um sistema de abastecimento de água de uma cidade raramente é completo, está continuamente se desgastando e tornando-se obsoleto e inadequado, o que resulta em uma atividade contínua de projetos para renovação, manutenção e ampliação dos serviços existentes (BABBITT, DOLAND e CLEASBY, 1976).

O SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2002), aponta que, no Brasil, em 5.561 municípios amostrados, 75,3% são servidos por sistemas de abastecimento de água. A prestação dos serviços de saneamento está centralizada em 25 concessionárias estaduais e sociedades de economia mista, o restante dos municípios é atendido por empresas municipais autônomas. Cerca de 94,3% da população é atendida pelo sistema de abastecimento de água. A taxa de crescimento de novas ligações de água e de esgotos em 2002 foi de 8,4% e 15,9%, respectivamente. O consumo *per capita* de água no país varia entre 67 e 192 litros/habitante/dia.

O consumo *per capita* de água depende de diversos fatores, entre os quais: hábitos higiênicos e culturais das comunidades, índice de micromedição no sistema de abastecimento, instalações e equipamentos hidráulicos e sanitários dos imóveis, controle exercido sobre o consumo, valor da tarifa e subsídios sociais ou políticos, abundância ou escassez de mananciais, índices de industrialização, pressão na rede e ainda diversos outros fatores (PHILIPPI, 2005).

Diferenças de consumo podem ser encontradas em localidades com padrões diferentes de poder aquisitivo, como nas mansões do lago sul de Brasília e na cidade satélite de Brazilândia, no Distrito Federal. Na primeira, o consumo é de 905 li-

tros/habitante/dia e, na outra, é de 104 litros/habitante/dia. Nos Estados Unidos, em média, o consumo *per capita* é cinco vezes maior que no Oriente Médio. No Estado de São Paulo, o consumo médio nas cidades com população entre 2 mil e 120 mil habitantes é de 199 litros/habitante/dia. Incluem-se aí o consumo doméstico, comercial, público e industrial, bem como as perdas no sistema de distribuição que são, em média, de 35%. O consumo efetivo, portanto, para essa faixa de população é de 129 litros/habitante/dia. Já nas cidades com população maior do que 120 mil habitantes, o consumo efetivo é maior e varia entre 150 e 300 litros/habitante/dia (PHILIPPI, 2005).

As perdas físicas, representadas pelos vazamentos nas redes de distribuição têm sérias conseqüências no desempenho empresarial. Uma vez que a água perdida não é faturada, as perdas representam maiores custos de produção, e gastos com energia elétrica e produtos químicos do tratamento da água, que acabam incorporados à tarifa.

Uma das técnicas utilizadas para redução de perdas físicas envolve a instalação de macromedidores eletromagnéticos (medidores de vazão) nas tubulações de saída de água para a distribuição. Esses medidores fornecem vazões instantâneas de consumo e, por meio de *software* especialista, podem-se obter curvas de vazão de distribuição e vazões médias / mínimas noturnas. Com isso é possível detectar as oscilações que indicam irregularidade no abastecimento, permitindo o reparo imediato ou direcionando atividades de identificação de fraudes (PHILIPPI, 2005).

### 1.3 Automação no Abastecimento público de água

As empresas sempre procuram aplicar novas tecnologias para atender aos projetos de renovação, manutenção e ampliação dos serviços, com vistas à disponibilidade do produto e redução do desperdício. A automação é uma das tecnologias que vêm sendo aplicadas para esse fim.

Percebe-se que a automação de sistemas pode contribuir, significativamente, para um melhor controle e aproveitamento dos vários recursos naturais, seja no simples controle da iluminação de um ambiente ou no controle operacional de um sistema de abastecimento de água de uma cidade.

Silveira & Santos (1998), descrevem automação como sendo um conceito e um conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de agirem com eficiência pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Com base nas informações, o sistema calcula a ação corretiva apropriada para a execução da ação. Esta é a característica dos sistemas em malha fechada, conhecidos como sistemas de realimentação. Para tanto, são utilizados controladores que, por meio da execução algorítmica de um programa ou circuito eletrônico, comparam o valor atual com o valor desejado e efetuam o cálculo para ajuste e correção. O valor desejado também é conhecido na literatura inglesa como “*set-point*”.

Com os avanços da eletrônica e da informática há uma crescente profusão de equipamentos e aplicativos dedicados à automação. Se por um lado isto favorece a implantação de sistemas, pois há uma redução dos custos devido à grande oferta, por outro torna necessário cuidado na especificação desses equipamentos e, mais importante, na integração dos sistemas entre si.

Mário Filho (2001), explica que o conceito de automação em sistemas de abastecimento de água assemelha-se muito ao que acontece no setor elétrico. Da mesma forma que esse segmento pode ser dividido em geração, transmissão e distribuição de energia, o setor de saneamento possui a produção de água, transporte para os reservatórios e distribuição aos consumidores. A automação em saneamento ainda é pontual. Isso é reflexo da falta de recursos das companhias de saneamento, majoritariamente estatais. Um entrave enfrentado para a adoção da automação nesse segmento são os aspectos geográficos, que influenciam os meios de comunicação. Geralmente as unidades remotas de monitoração e controle estão instaladas em locais com pouca infra-estrutura de telecomunicação ou energia elétrica, implicando na utilização de estruturas alternativas como a telefonia celular, transmissão por ondas de rádio, etc.

Entre as inúmeras tecnologias desenvolvidas, a automação de processos operacionais e administrativos representa a maior contribuição da Tecnologia da Informação aos sistemas de abastecimento de água, tanto operacional quanto gerencial (PHILIPPI, 2005).

Os principais atrativos para se justificar o investimento em automação constituem na melhoria do tratamento de água através do monitoramento e controle em

tempo real, redução de custos operacionais, através do gerenciamento de energia elétrica consumida e controle de perdas físicas no sistema.

Existem perdas de água decorrentes de: vazamentos, ligações clandestinas e hidrômetros avariados, que influenciam no índice de atuação das companhias de saneamento. Quanto maiores forem os índices de aproveitamento pelas companhias, menores serão seus custos de produção.

Lambert (1999) apresenta um modelo conceitual do índice de vazamentos na infra-estrutura de um sistema de abastecimento (IVIN). Afirma que para se ter um potencial de recuperação do índice de perdas de água no sistema, necessita-se atuar no controle da pressão das tubulações de distribuição, atuar com rapidez e qualidade nos reparos em tubulações que apresentam vazamentos e, propiciar a criação de programas de escolha, instalação, manutenção e melhoria da qualidade das tubulações.

Mário Filho (2001) ressalta, ainda, que manter operadores nas unidades de tratamento soluciona uma série de dificuldades operacionais. Por comandos realizados principalmente por telemetria, várias unidades podem ser assistidas a partir de um centro de controle operacional, sem a necessidade do deslocamento de operadores, que atuam com funções de operação, otimização e planejamento (menor custo, maior segurança, etc).

Na realidade, existe uma necessidade imediata de sistemas de controle de processos mais sofisticados para as unidades de tratamento e distribuição de água. Do ponto de vista da supervisão, os acessos remotos via *Internet*, em processos industriais, emergem, dada à vasta abrangência e demais facilidades oferecidas pela rede mundial. Seguindo essa tendência, destacam-se os barramentos industriais, como o "*Foundation Fieldbus*", idealizado para processos contínuos distribuídos, e *Software* de supervisão e controle com recursos para *Web*.

Nas localidades em que a geografia é acidentada, faz-se necessário um sistema de automação para se obter controle eficiente sobre a manutenção, o que ajuda a diminuir os rompimentos em tubulações nos pontos em que a pressão nas tubulações poderia estar elevada ou, por outro lado, manter o mínimo de condições de abastecimento nos pontos mais elevados geograficamente.

## 1.4 Motivação do Trabalho

O trabalho tem sua motivação nos estudos realizados dos processos de gestão de manutenção e nos resultados obtidos na redução do índice de perdas de água, após um processo de automação do sistema público de abastecimento de água de uma concessionária da Unidade Regional de Ponta Grossa, Paraná. O período a que se refere o estudo é de 2001 a 2006.

O município de Ponta Grossa contabiliza uma população de aproximadamente 300 mil habitantes (IBGE, 2005). A concessionária abastece na cidade cerca de 85 mil ligações de água, através de aproximadamente 1.500 km de redes, distribuídas numa extensão territorial de 2.068 km<sup>2</sup>. Tem um consumo médio de água em torno de um milhão de m<sup>3</sup>/mês, ou seja, aproximadamente 120 litros/habitante/dia. (SANEPAR, 2005)

As companhias que atuam no setor de serviços de abastecimento público de água monitoram a variação de um indicador estratégico para o ramo: **o índice de perdas físicas**.

Este indicador é o reflexo da eficiência na detecção de problemas inerentes à operação do sistema, a saber:

- A identificação de vazamentos em tubulações e sua rápida manutenção,
- A análise da Micromedição (somatória dos consumos dos habitantes) para a detecção de problemas relacionados com o estado precário dos hidrômetros (medidores de vazão de consumo) e
- A ocorrência de ligações clandestinas e fraudes (apropriação indevida da água) na rede pública de abastecimento.

As perdas nesses sistemas são calculadas pela relação percentual entre as diferenças dos volumes de captação (Volume Aduzido), volume de distribuição (Volume Produzido ou Distribuído) e ainda, com o volume de medição (Volume Micromedido).

**Volume Aduzido:** é o volume, em m<sup>3</sup>, de água correspondente a toda água captada, oriunda de rios ou grandes reservatórios naturais, como barragens. É realizado através de sucção ou ação da gravidade com destino final nas ETAs (Estações de

Tratamento de Água). Nestas são adicionados produtos químicos para o tratamento da água, tornando-a potável. Pode-se quantificar esse volume com equipamentos medidores de grandes vazões, chamados macromedidores.

**Volume Produzido ou Distribuído:** trata-se do volume, em m<sup>3</sup>, da água distribuída à população por redes de tubulações para este fim, após seu tratamento nas ETAs. Esse volume pode ser quantificado também através de macromedidores, instalados nas saídas das Estações de Tratamento e dos reservatórios do sistema.

**Volume Micromedido:** compreende a somatória dos volumes registrados em hidrômetros (medidores de pequenas vazões) instalados na entrada de residências, que medem o consumo individual das ligações.

O cálculo do índice de perdas, adotado pelas empresas de saneamento, está na diferença percentual entre os volumes de água acima citados. Por exemplo, a diferença do volume aduzido, que não é distribuído, transforma-se em um percentual de perdas para a produção (PSP - Perdas no Sistema Produtor). Conseqüentemente, todo o volume distribuído que não é medido nas residências, transforma-se em percentual de perdas para a distribuição (PSD – Perdas no Sistema Distribuidor).

### 1.5 Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA

A criação do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA, na esfera federal, vem ao encontro de uma antiga demanda do Setor de Saneamento, delineada desde início da década de 1980 e sistematizada no Seminário Internacional sobre Economia de Água de Abastecimento Público. Em 1994, os estudos que deram origem à série Modernização do Setor Saneamento, apontaram, enfaticamente, para a necessidade de se incorporar, no âmbito federal, a coordenação de políticas e programas voltados à conservação e ao uso racional da água de abastecimento público. Em abril de 1997, em articulação com o Ministério do Meio-Ambiente, dos Recursos Hídricos e da Amazônia Legal e com o Ministério das Minas e Energia, o Ministério do Planejamento e Orçamento, por meio do Departamento de Saneamento, finalmente instituiu na esfera federal um programa de conservação e uso racional da água de abastecimento público (SNIS, 2002).

Trata-se, portanto de um projeto de longa maturação e tem por objetivo geral promover uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em

benefício da saúde pública, do saneamento ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes. Tem por objetivos específicos definir e implementar um conjunto de ações e instrumentos tecnológicos, normativos, econômicos e institucionais, concorrentes para uma efetiva economia dos volumes de água demandados para consumo nas áreas urbanas. A inclusão do componente, Tecnologia dos Sistemas Públicos incorpora parte do conteúdo de programas anteriores de melhoria operacional em controle de perdas no âmbito da conservação urbana de água. Esses conteúdos estão associados a uma visão mais ampla de combate ao desperdício, segundo a qual o objetivo de maior eficiência ao uso da água é buscado em todas as fases de seu ciclo de utilização, desde a captação até o consumo final (SNIS, 2002).

Os serviços de abastecimento de água, no Brasil, tiveram ganhos substantivos de eficiência ao longo das décadas de 70 e 80. No entanto, a crise de investimentos que se abateu sobre a maioria deles a partir da década de 90 determinou uma paralisação ou uma drástica desaceleração desse processo. Alguns serviços conseguiram, apesar dessas restrições, continuarem em uma trajetória de melhoria, enquanto outros sofreram grandes perdas de uma capacidade técnica que ainda não havia amadurecido o suficiente. Nessas condições, não seria razoável adotar-se uma política generalizada de incentivos à aquisição de instrumentos sofisticados de informação (SNIS, 2002).

## 1.6 A automação do sistema

O sistema de automação do caso estudado foi implantado em 2001 com o objetivo de monitorar e atuar nos pontos mais críticos do sistema e assim atender às necessidades hidráulicas do município, bem como se enquadrar no PNCD, através do uso racional e da redução do desperdício da água. A estrutura deste tipo de automação se baseia num sistema distribuído, em hierarquia, no qual, Controladores Programáveis (dispositivos capazes de desencadear ações segundo uma programação), interligados entre si, comunicam-se através da transmissão por ondas de rádio ou por *modem*. Estes últimos conectados por linhas privadas de telefonia.

Num ponto crítico de abastecimento de uma área automatizada, existem controladores, que fazem a aquisição dos dados de pressão, vazão ou nível de reserva-

tórios e transmite-os para controladores das áreas superiores ou “mestres” (áreas imediatamente mais próximas ao centro de supervisão), os quais desencadeiam ações de correção. Cada área opera de maneira autônoma, sendo que, ao ocorrer qualquer anormalidade no centro de controle (CCO), todas as áreas continuam operando sem prejuízo, exceto a comunicação, até que o sistema seja novamente restabelecido por completo. Desta maneira é constituída a malha de integração hierárquica do sistema, onde o ponto de gerenciamento dessa hierarquia é o centro de supervisão. Este centro é composto por uma estação SCADA (“*Supervisory Control and Data Acquisition*”), onde estão interligadas todas as áreas da automação com geração de alarmes, relatórios e gráficos de acompanhamento e, também, algumas estações “*Clients*”, que fornecem informações para os setores de engenharia, manutenção e gerência administrativa da empresa, filtrando a informação conforme a necessidade de cada setor. Na figura 2 é apresentada uma situação hipotética de Supervisão e Controle de um sistema de abastecimento de água, similar ao sistema estudado.

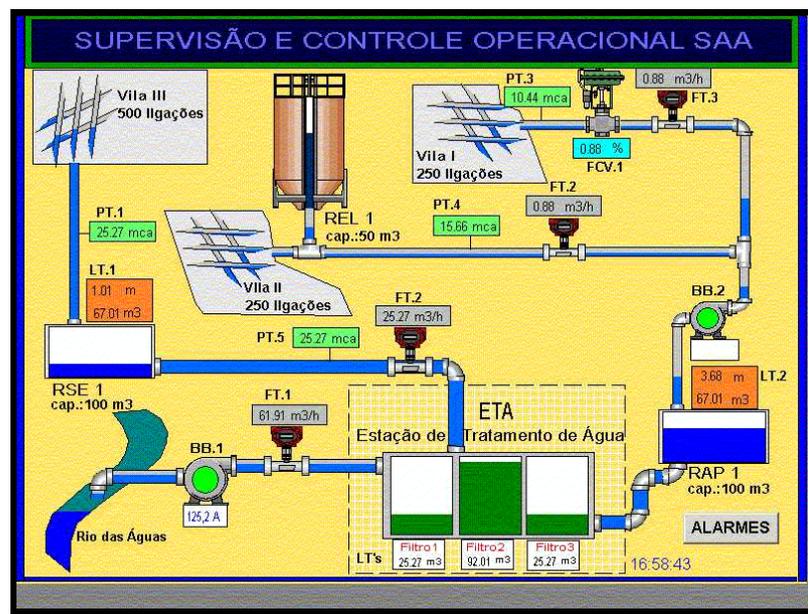


Figura 2. Supervisão e Controle Operacional (sistema de abastecimento hipotético)

Fonte: Elaboração própria, 2005.

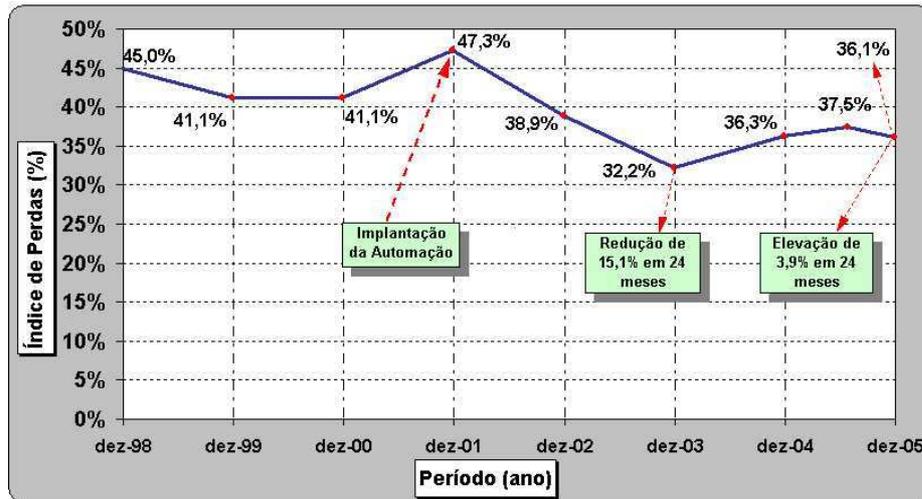
Este sistema baseia-se na concepção de um sistema de abastecimento de água como apresentado na figura 1 (**Fornecimento de Água – Concepção**), o qual apresenta todas as fases características para se produzir e distribuir a água tratada.

Na automação todas estas fases são monitoradas por equipamentos sensores, desde a captação em rios ou reservatórios até a distribuição para áreas residenciais, comerciais, industriais ou públicas. Cada um desses equipamentos fornece um tipo específico de informação para compor o sistema. Por exemplo: ao ligar a bomba BB.1, representada na figura 2, o sensor indicará a corrente na qual esta bomba estará trabalhando. Na seqüência do processo, outro sensor indica a vazão de água captada do rio e transferida pela tubulação para a ETA.

Na ETA, sensores de nível indicam os níveis e volumes de filtros e reservatórios. Em vários pontos das tubulações, sensores de pressão indicam o valor da pressão aferida na malha de distribuição. Nas válvulas de controle pode-se monitorar a porcentagem de abertura das mesmas em função do consumo da área que estão controlando. Para um aumento do consumo da área que controlam, por exemplo, ocorre uma abertura conforme um controle, denominado de PID (técnica de Controle Proporcional, Integral e Derivativo) das variáveis definidas para as características da área.

Num período de três anos antes da implantação do sistema de automação no sistema de abastecimento estudado, o indicador de perdas físicas acumulado em doze meses apresentava uma variação média de aproximadamente 3,5% ao ano. Constantemente eram empregadas ações como, por exemplo, pesquisa de vazamentos em toda a área urbana do município que, além de apresentar custos e esforços elevados, não alcançavam totalmente os resultados esperados. Pode-se verificar que após a implantação do sistema em 2001, ocorre uma recuperação significativa no indicador e, o mais importante, permanecendo em queda, na média de 7,5% ao ano, fato que não ocorria nos anos anteriores (SANEPAR, 2005).

Através do gráfico 3, verifica-se que o índice de perdas (percentual acumulado em um ano -  $PSD_{12}$ ) apresentou, após a implantação da automação, uma redução de 47,3% em 2001, para 38,9% em 2002. Manteve-se em declínio no ano seguinte até alcançar 32,2% em 2003 e retornou a um crescimento em 2004 para 36,3% e 37,5% até julho de 2005. Para comparação, a média desse índice no Paraná é em torno de 39% (SANEPAR, 2005).



**Gráfico 3. Índice de Perdas Sistema Distribuidor (PSD<sub>12</sub>) em Ponta Grossa (1998- 2005)**

*Fonte: SANEPAR, 2005.*

Em dois anos, o índice apresentou um declínio de 15,1%, representando o mais significativo declínio deste indicador em um curto espaço de tempo na história da empresa na cidade. Cabe ressaltar que ocorreu uma melhora significativa na operação do sistema, como já sinalizado por Mario Filho (2001), tanto no acionamento automático de motores para transmissão de água entre reservatórios (minimização de custos), bem como no acompanhamento das variações nos níveis desses reservatórios, que otimizam a reservação. Assim pressões médias nas tubulações diminuem, diminuindo também a possibilidade de vazamentos constantes.

Além dessa melhora pode-se também perceber a economia no consumo de energia elétrica, devido a um menor esforço necessário para produzir, já que mesmo com redução na produção pode-se atender à mesma demanda de outrora. Com isso aumentou a eficiência do uso da energia no sistema. A redução foi na ordem de 24%, conforme apresentado na tabela 3, em relação ao consumo médio em kWh com referência ao ano de implantação (2001) do sistema de automação (SANEPAR, 2003).

Tabela 3. Energia elétrica em relação a 2001 - em kWh (1998 – 2003)

ANO	1.998	1.999	2.000	2.001	2.002	2.003
Consumo	1.229.804	1.248.314	1.261.654		1.126.124	981.550
Médio kWh				1.297.722		
Variação %	-5%	-4%	-3%		-13%	-24%

Fonte: SANEPAR, 2003

As perguntas que se fazem são:

Por que, depois de decorridos alguns anos da implantação do sistema de automação na rede de distribuição do sistema de abastecimento de água da cidade, o índice de perdas voltou a apresentar crescimentos, mesmo que, percentualmente inferiores, se comparados à história da empresa?

O fato de a automação implantada ter-se mostrado eficiente por um período, sugere a necessidade de uma revisão e uma complementação sistematizada?

Com um monitoramento integrado composto de análise da informação e do conhecimento, pode-se minimizar erros de tomada de decisão e aumentar a velocidade de intercessão no processo? Garantindo desta forma, a qualidade nos serviços de manutenção e a redução das perdas de produto ou matéria prima e, conseqüentemente, redução dos custos de produção?

Através deste complemento sistematizado, especializado e integrado ao sistema de automação, manutenção e gerenciamento no abastecimento público de água, espera-se contribuir com resultados mais eficazes no controle do índice de perdas de água.

A problemática aponta para a carência deste tipo de monitoração especializada e integrada, pois o sistema automatizado por algumas vezes foi atualizado e mesmo assim apresenta novas tendências de crescimento nos índices de desperdício. Também, espera-se confirmar com a pesquisa, que somente a automação do sistema não é capaz de solucionar, de maneira estrutural, todos os problemas de manutenção e de perdas de água no abastecimento público.

Através da aplicação de técnicas de gestão da informação, destacam-se outros procedimentos no sistema que validarão ou anularão alarmes gerados pelo sis-

tema de automação. Essas informações passarão por uma análise antes de prescreverem alguma decisão em relação à manutenção ou investimentos no sistema. Nesta linha da evolução tecnológica surgem conceitos e interações entre os sistemas de informação, sistemas especialistas e gerenciamento de processos. Os sistemas especialistas estão sendo cada vez mais explorados, em função do seu potencial de auxiliar, de garantir e reproduzir o conhecimento humano na solução de problemas.

O presente trabalho de pesquisa propõe o desenvolvimento e implantação de um Sistema de Monitoramento Especializado (SME), integrado à automação, gestão da manutenção e aos demais processos de gestão, visando restabelecer a eficiência na redução das perdas, percebida quando da implantação do sistema de automação.

## **1.7 Objetivos**

### **1.7.1 Geral**

O objetivo deste trabalho é desenvolver um Sistema de Monitoramento Especializado (SME), integrando-o aos processos de gestão da produção (automação e manutenção), visando com esta integração a redução de perdas de água tratada. Com isso dar suporte às decisões, agilizando e apoiando quaisquer prescrições e intercessões de manutenção.

### **1.7.2 Específicos**

- Avaliar o modelo de supervisão existente na empresa de abastecimento de água e identificar dentre os processos existentes que possuem gestão ou controle informatizados quais possam ser integrados ao sistema de monitoramento especializado;
- Pesquisar na literatura modelos que possam servir de base para a construção dessa integração, monitoração e análise,
- Formular padrões e características do sistema, técnicas de análise e inter-relacionamentos de processos e
- Implementar o Sistema de Monitoramento Especializado (SME) proposto no sistema público de abastecimento de uma cidade.

Justifica-se a execução deste trabalho pela contribuição que poderá trazer ao setor de saneamento básico, hoje na sua maioria gerenciado por companhias estatais, que carecem da aplicação de tecnologias emergentes para a garantia de seu funcionamento, apoio à gestão de seus processos e suporte às tomadas de decisões para manterem a qualidade dos serviços e combaterem as perdas de água.

Esperam-se resultados positivos no controle do índice de desperdício e na gestão da manutenção para o sistema de abastecimento estudado.

Com isso pretende-se validar e disponibilizar a metodologia empregada às empresas do setor, para que possam ajustá-las às suas especificidades.

---

# Capítulo 2

---

## 2 REVISÃO DA BIBLIOGRAFIA

### 2.1 Gestão Integrada

#### 2.1.1 Gestão da Manutenção

Para garantir a sobrevivência no mercado, as empresas modernas preocupam-se com a disponibilidade dos produtos ou serviços, ou seja, há um aumento das atividades planejadas para a manutenção. Isto visa conservar (manter) da melhor maneira o sistema de produção, tornando-o disponível a maior parte do tempo para, com isso, reduzir os custos com quebras ou paradas indesejáveis.

Há ainda um ponto importante a se considerar, quando se considera a manutenção como estratégia na empresa: parar de produzir ou de prestar serviços ao cliente por quebras ou situações indesejáveis, pode se tornar fatal para o desempenho e desenvolvimento da empresa (KARDEC & CARVALHO, 2002).

A gestão da manutenção tem um papel importante no sucesso dos programas de combate ao desperdício e na eficácia das técnicas de controle e gerenciamento do sistema. As atividades não podem cessar sem que causem perdas inaceitáveis ao processo produtivo. Por isso a manutenção em algumas empresas chega a ter o grau de importância da produção. Se manter significa “estar disponível”, qualquer alteração desta situação pode levar a insatisfação de clientes ou até colocar em risco a competitividade e imagem da empresa.

Estrategicamente a manutenção não é apenas como um ato de planejar e efetuar uma ação de correção ou conservação de um item, mas também ações planejadas e programadas para garantir a disponibilidade de produtos ou serviços e a eficiência da organização perante o mercado e seus clientes.

São as empresas que atuam no abastecimento de água que fazem a manutenção nas redes de abastecimento. Seja de forma corretiva ou preventiva, a manutenção é uma constante neste setor, visto que as tubulações transportadoras rompem com frequência em virtude de diversos fatores: seja por consertos nas vias ur-

banas, seja pelo aumento nas pressões das redes de água ou ainda por fatores climáticos como as fortes chuvas.

A manutenção estratégica precisa ser aplicada de forma sistematizada neste ramo de negócio. Através de planos de gestão e programação de obras de melhorias no sistema de abastecimento, as empresas melhoram a oferta dos produtos e serviços decorrentes dessa atividade.

Planejar a manutenção de uma forma estratégica requer principalmente o estudo de modelos já aplicados na prática das empresas, com monitoramento nos pontos críticos e filtros que destaquem atividades que apresentem resultados positivos e que possam gerar padrões de excelência.

A ferramenta mais comum para se desenvolver e utilizar a gestão de processos voltados à manutenção do sistema, seja através de planilhas, *software* ou outras formas de controle é a chamada gestão integrada de processos ou sistema integrado de gestão (SIG). Os processos podem ser gerenciados e controlados em suas particularidades e, ao mesmo tempo, fornecerem subsídios para um banco de dados único, que ao ser consultado pode subsidiar a decisão para uma solução mais abrangente.

Os sistemas supervisórios, que são componentes dos sistemas de automação de processos, apresentam essa característica de gerenciadores de processos que se inter-relacionam por meio de bancos de dados. Logo, surgem também os conceitos e interações entre esses sistemas de informação.

### 2.1.2 Sistemas de Informação (SI)

A área de gerenciamento de sistemas de informação (SI) é bastante abrangente. Pode-se encontrar nesta área uma grande quantidade de termos, usados na tentativa de caracterizar e classificar os sistemas de informação.

Segundo Prates (1994), sistemas de informação são formados pela combinação estruturada de vários elementos, a saber: **a informação** (dados formatados, textos livres, imagens e sons), **os recursos humanos** (pessoas que coletam, armazenam, recuperam, processam, disseminam e utilizam as informações), **as tecnologias de informação** (o *hardware* e o *software* usados no suporte aos sistemas de informação) e **as práticas de trabalho** (métodos utilizados pelas pessoas no de-

sempenho de suas atividades), organizadas de tal modo a permitir o melhor atendimento dos objetivos da organização. Muitos termos são usados para classificar e caracterizar sistemas de informação. Uma forma de limitar e demarcar corretamente as fronteiras conceituais entre esses termos é relacionar cada tipo de SI com o estágio de utilização da informática em que uma organização se encontra.

Os sistemas de informação podem ter funções que forneçam informações para tomada de decisão. Qualquer sistema de informação que forneça informações para auxílio à decisão é um sistema de apoio à decisão (SAD). Sistemas de apoio à decisão, são também conhecidos como “*Decision Support Systems*” (DSS). Possuem funções específicas, não vinculadas aos sistemas existentes, que permitem buscar informações nas bases de dados existentes e delas retirar subsídios para o processo de tomada de decisão. Sistemas de apoio à decisão começam a ser desenvolvidos na organização a partir dos estágios de controle e integração, como no modelo proposto por Nolan (1977).

Existem ainda sistemas de informação que armazenam e disponibilizam o conhecimento e as experiências de especialistas. Esses SI são geralmente conhecidos como “*Expert Systems*” (ES), quando fornecem, eles mesmos, soluções para determinados problemas, e como “*Expert Support Systems*” (ESS), quando fornecem informações extraídas das bases de conhecimento, a profissionais e executivos para auxiliá-los no processo de tomada de decisão.

Normalmente, o desenvolvimento desses sistemas não depende da existência de outros SI e, portanto, podem ser desenvolvidos em qualquer um dos estágios da evolução da informática. As principais funções e características desses sistemas são:

- armazenar o conhecimento e as experiências de especialistas em bases de conhecimento;
- utilizar mecanismos de inferência integrados às bases de conhecimento para resolver, ou auxiliar a resolver problemas e
- possibilitar a inclusão de novos conhecimentos em suas bases sem eliminar os conhecimentos já armazenados.

Como sustentação literária apresenta-se uma abordagem de Barrella (2000), quando foram estudados os aspectos da integração da manufatura com a gerência através da criação de *software* especialista, baseado na filosofia ERP ( “*Enterprise Resources Planning* “).

Barrella (2000) aponta a necessidade deste desenvolvimento e alguns passos importantes na criação de *softwares* especialistas que procuram fazer ligação direta entre os processos de “chão de fábrica” e a gestão dos demais processos.

### 2.1.3 Definições básicas

Antes de prosseguir com o assunto, são necessários alguns esclarecimentos sobre o que se entende por Conhecimento, Sistemas Especialistas, Inteligência e outros conceitos.

As definições citadas a seguir foram parcialmente extraídas de BARRELLA (2000):

**Conhecimento:** é a combinação de instintos, dados, informações, regras e procedimentos que servem de suporte para análises de fatos e situações cotidianas, ou ainda para soluções de problemas baseados em experiências prévias. De maneira geral, o conhecimento é volumoso e possui diversos aspectos, características e detalhes.

A caracterização do conhecimento pode ser considerada complexa, pois, muitas vezes, tem-se apenas o conhecimento, mas não se sabe como foi adquirido nem como explicá-lo.

Na realidade, muitas vezes, não se tem consciência do conhecimento possuído, até porque ele está em constante mudança, sendo aperfeiçoado, ou seja, o conhecimento está sempre crescendo e se modificando. Também se pode dizer que o conhecimento é composto de dados organizados de forma lógica, de modo a permitir sua interpretação, mas é importante destacar que o conhecimento é uma aquisição individual, uma vez que duas pessoas não adquirem o mesmo conhecimento de uma forma idêntica. Pode-se afirmar que duas pessoas possuem um mesmo conhecimento genérico, mas não como um conceito idêntico, uma vez que cada indivíduo faz sua própria interpretação desse conhecimento. Por outro lado, para se utilizar o

conhecimento num sistema computacional, há necessidade de se elaborar uma estruturação para a representação do conhecimento.

Ao contrário do conhecimento em si, a representação do conhecimento tem como características principais:

**Generalização:** a representação do conhecimento é generalizável, ou seja, uma representação deve possuir vários pontos de vista do mesmo conhecimento, de modo que possa ser atribuído a diversas situações e interpretações. Apresentação passível de atualização e a correção do conhecimento formalizado devem ser possíveis, uma vez que o conhecimento não é estático.

**Utilização ainda que incompleta e imprecisa:** uma representação do conhecimento deve ser múltipla, isto é, permitir sua utilização mesmo que não aborde todas as situações possíveis.

**Compreensão:** é necessário que a representação computacional do conhecimento seja compreensível ao ser humano. Caso seja necessário avaliar o estado de conhecimento do sistema, a representação do conhecimento deve permitir a sua interpretação.

Tais características não são apenas recomendadas, mas sim, necessárias nos sistemas computacionais de Inteligência Artificial (IA). Levando-se em conta que, em Inteligência Artificial, o que se busca são repetições do comportamento humano, deve-se procurar copiar a estruturação de seu conhecimento.

Nem todas as aplicações de IA envolvem conhecimento estruturado, porém todas necessitam pré-processar o conhecimento existente, o que equivale a dizer que, em sistemas de IA são sempre utilizadas representações do conhecimento humano em formas computacionais.

**Sistema:** é a disposição das partes (ou elementos) de um todo coordenadas entre si, que funcionam como uma estrutura organizada.

**Especialista:** é a pessoa que se consagra com particular interesse e cuidado a certo estudo. Pessoa que tem habilidade, ou prática especial, em determinado assunto.

Os sistemas especialistas são projetados e desenvolvidos para atenderem a uma aplicação determinada e limitada do conhecimento humano. São capazes de

emitir uma decisão, apoiados em conhecimento justificado, a partir de uma base de dados, tal qual um especialista de determinada área do conhecimento humano.

Um especialista chega a uma decisão sobre um determinado assunto analisando os fatos que encontra, formulando hipóteses e usando conhecimento prévio, armazenado durante anos em sua memória.

Durante o processo de raciocínio, verifica-se qual a importância dos fatos encontrados, comparando-os com as informações já contidas no seu conhecimento acumulado sobre esses fatos e hipóteses. Nesse processo, formulam-se novas hipóteses, verificando novos fatos. Esses novos fatos influenciam o processo de raciocínio, que é sempre baseado no conhecimento prévio acumulado.

Com esse processo de raciocínio, um especialista pode não chegar a uma decisão adequada, se os fatos de que dispõe para aplicar o seu conhecimento prévio não forem suficientes.

Os sistemas especialistas são enriquecidos pelo conhecimento de peritos em campos específicos, auxiliando os processos de tomada de decisão. Tais sistemas também são conhecidos como sistemas que manipulam informações armazenadas em bases de conhecimento e que retratam o raciocínio de especialistas, onde é possível guardar as decisões tomadas e o raciocínio utilizado para se chegar a elas. Os sistemas especialistas podem buscar informações nessas bases de conhecimento para auxiliar futuras decisões (ROCKART & BULLEN, 1986).

Segundo Feigenbaum (1985), sistemas especialistas são sistemas que solucionam problemas que, normalmente, apenas pessoas especialistas (*“experts”*) conseguem resolver.

Podem se apresentar, também, como programas de computador que analisam situações problemáticas, ou dificuldades, em um determinado ambiente e buscam a melhor forma de eliminar tais problemas, emulando o raciocínio de um especialista e aplicando conhecimentos específicos e inferências.

Os sistemas especialistas, inspirados na lógica do raciocínio humano e em conhecimentos acerca de um determinado assunto, são expressos em regras.

O sistema se encarrega de avaliar quando esse conhecimento deve ser utilizado. Para isso, é preciso que o sistema especialista conheça todas, ou quase todas

as formas de resolução de problemas ou de execução de tarefas, sejam cálculos ou procedimentos.

Rockart & Bullen (1986), afirmam ainda que as tarefas especialistas são distintas das formais pela sua característica de serem atreladas ao conhecimento prático e por terem sua aplicação determinada por regras baseadas no comportamento humano.

São, portanto, mais complexas que as tarefas formais e envolvem a necessidade e uma gama maior de implementações computacionais.

O conhecimento e as experiências que uma pessoa detém sobre determinada área do conhecimento precisa ser, muitas vezes, preservado e disseminado para que pessoas com menos conhecimento e experiência possam deles se valer para resolver seus problemas (ROCKART & BULLEN, 1986).

#### 2.1.4 A Arquitetura do Sistema

A arquitetura é talvez o ponto crucial para o desenvolvimento do programa que utiliza *know-how* e abordagens de resolução de problemas com capacidade comparável à dos peritos humanos e deve conter:

**Banco de conhecimentos:** (contendo fatos, regras e padrões da situação). O banco de conhecimentos armazena regras, refletindo caminhos de raciocínio empregados pelos peritos e, assim, pelo sistema na resolução de um problema específico;

**Dispositivo de inferência:** (capaz de tomar decisões num dado domínio). Esse dispositivo controla o processo de invocação das regras pertencentes à solução do problema colocado para o sistema;

**Linguagem:** destinada a escrever as regras e estabelecer a comunicação máquina-homem. Um gerador de aplicações pode ser utilizado para apresentar como o sistema chegou a essa conclusão. As regras devem também ser incorporadas para funcionarem como ferramentas de aquisição de conhecimentos;

**Programa base:** engloba o dispositivo de inferência, o administrador de conhecimento e as interfaces de usuários. Usualmente devem refletir técnicas utilizadas para extrair conhecimento do domínio e, posteriormente, representá-lo no sistema.

Na Engenharia, deve-se considerar o auxílio do computador em tarefas de projeto, permitindo a aceleração do desenvolvimento e a otimização dos recursos envolvidos. Além do projeto, também se utilizam sistemas especialistas para detecção e correção de erros, administração e verificação de qualidade em empreendimentos na área.

**Saber Especializado:** é o conhecimento utilizado para objetivos e aplicações bem específicas e dentro de um universo delimitado, que serve de base para tarefas, como armar uma estratégia num jogo, realizar cálculos matemáticos ou até mesmo solucionar um problema.

Essas atividades são mais facilmente implementáveis em computadores, uma vez que se encontram em uma área bem definida de aplicação e possuem um contexto de conceitos e regras a serem aplicados para a resolução de um problema específico.

No caso de jogos, é necessária a organização das ações e reações dos jogadores, todas elas previsíveis e, portanto, manipuláveis dentro de regras claras.

Da mesma forma, nos problemas matemáticos, há regras para a construção de formas geométricas, encadeamento de expressões de lógica e derivação no cálculo integral, entre outras aplicações.

O conhecimento de um sistema especialista consiste em fatos e heurísticas. Os fatos constituem um corpo de informações largamente compartilhado, publicamente disponível e geralmente aceito pelos especialistas em um campo. As heurísticas são, em sua maioria, privadas. São regras pouco discutidas e de bom discernimento (regras do raciocínio plausível, regras de boa conjectura), que caracterizam a tomada de decisão em nível especializado. O nível de desempenho de um sistema especialista é função principalmente do tamanho e da qualidade do banco de conhecimento que possui (HARMON & KING, 1988).

**Sistema (ou *software*) de Gestão:** é um programa de computador que auxilia na administração, total ou parcial, da empresa, podendo ser composto por vários módulos, cada qual com uma finalidade. Em geral, não possui estrutura lógica para trabalhar em rede com outros computadores e/ou usuários.

**Sistema Integrado de Gestão - SIG:** é um conjunto de programas e cálculos realizados para administração da empresa, que consideram a mesma base de dados para todos os departamentos e setores. O Sistema Integrado de Gestão é uma evolução dos sistemas administrativos que busca garantir a unificação e a confiabilidade dos números e cálculos, necessários para a administração da empresa, fazendo com que as orientações e ações tomadas pela empresa sejam mais seguras. As resultantes dos cálculos, assim como as previsões e estimativas assumidas, influenciam, direta ou indiretamente, em diferentes graus os demais setores da empresa.

**Base de Conhecimento:** é um elemento residente e específico de um sistema especialista, onde estão armazenados os dados (fatos e regras), nos quais se baseiam as análises e decisões do sistema.

**Inteligência:** é a faculdade de aprender ou compreender. Qualidade ou capacidade de compreender, perspicácia. Destreza mental e habilidade.

**Inteligência Artificial:** é o conhecimento embutido no *hardware* para a solução de problemas, o que permite um determinado conjunto de estados possíveis de funcionamento através de programas de computador.

A inteligência de máquina é uma ferramenta construída pelo homem, portanto, artificial. O conceito de Inteligência Artificial (IA) abrange mais do que a inteligência de máquina. Busca-se, com ela, capacitar o computador com um comportamento inteligente.

Entende-se por comportamento inteligente as atividades que envolvem, entre outras, tarefas de aprendizado e raciocínio (planejamento e estratégia).

Também pode-se dizer que inteligência artificial é um conjunto de sistemas cooperativos que assistem de perto os humanos em seu trabalho diário e, em alguns casos, são sistemas autônomos que podem operar sem intervenção humana. Isso inclui a aquisição, o aprendizado, a especificação da base de conhecimento direcionado e as metodologias de trabalho.

**Conjuntos Difusos (Lógica Fuzzy):** são os sistemas inspirados nos adjetivos característicos da linguagem humana. Baseiam-se na representação matemática da incerteza. Variáveis lingüísticas, não determinísticas, tais como os adjetivos alto e baixo, para a característica altura, podem ser utilizadas e combinadas. Esses siste-

mas têm como principais características a capacidade de utilizar, manipular e combinar dados imprecisos.

**Redes Neurais:** são sistemas que possuem inspiração nos princípios do processamento neurofisiológico, baseado no processamento paralelo e distribuído de informações. Esses sistemas têm como principais características o aprendizado através de exemplos, a capacidade de generalização e a execução em tempo real.

**Sistemas de Informação:** são sistemas que permitem a coleta, o armazenamento, o processamento, a recuperação e a disseminação de informações. Esses sistemas são hoje, quase sem exceção, baseados no computador e apóiam as funções operacionais, gerenciais e de tomada de decisão existentes na organização. Os usuários de SI são provenientes tanto do nível operacional, como do nível tático e estratégico e utilizam o SI para alcançar os objetivos e as metas de suas áreas funcionais.

**Simulação:** é a experiência ou o ensaio realizado com auxílio de modelos.

Muitas decisões poderão ser tomadas através de modelos simulados em computadores, que servirão para analisar e avaliar um amplo conjunto de problemas do mundo real (FITZPATRICK, BAKER e DAVE, 1993).

**Interface:** é o conjunto de dispositivos, métodos e filosofias responsáveis pela conexão e integração entre o homem e a máquina, mais especificamente, o computador. Na atual situação tecnológica existente, é impossível não considerar as *benesses* dos sistemas multimídias, nos quais são utilizados componentes audiovisuais, além do teclado e dos sensores de toque.

**Interfaces Amigáveis:** é a representação da informação exibida através de várias mídias (voz, sons, imagens, animação, texto, etc.) de maneira simples, auto-explicável e, principalmente, agradável aos usuários.

### 2.1.5 Sistemas Atuais

Nos últimos anos, a informática tornou-se uma importante ferramenta para todas as áreas do conhecimento, transformando-se, em alguns casos, num instrumento não apenas relevante, mas imprescindível para o desenvolvimento das mais diversas atividades. Um bom exemplo desse fato é a aplicação dessa ferramenta na Engenharia de Produção, que procura principalmente as melhores soluções para

vários problemas relacionados à melhoria da produtividade, dos custos e da qualidade dentre outros.

Para o bom funcionamento da empresa, é preciso que haja uma troca intensa de dados e informações entre as áreas de manufatura e administrativa. Entretanto, ao se analisar essa estrutura com mais profundidade, observa-se que, ao contrário das informações, o curso de decisões flui num único sentido.

Considerando-se que as alterações de condições econômicas e tecnológicas (exemplos: variações cambiais, demanda, consumo, etc.) têm sido cada vez mais velozes, é natural que haja também um aumento na velocidade de tomadas de decisões e, mais do que isso, que essas decisões sejam mais acuradas.

### 2.1.6 Gerenciamento de empresas

Barrella (2000), observando os Sistemas Integrados de Gestão, constatou que, embora esses sistemas representem avanços no *modus operandi* das empresas, acabam por tirar a flexibilidade dessas empresas. Em consequência disso, detectou a necessidade de sistemas que realizassem as tarefas administrativas, sem tirar a liberdade de escolha dos usuários e das empresas. Para dar início ao desenvolvimento desse tipo de sistemas são consideradas três fases distintas de pesquisa, que são:

- a) O que fazer?
- b) Como fazer?
- c) Para quem fazer?

Em cada uma dessas fases da proposta de construção de sistemas especialistas o objetivo é estruturar o sistema para que possibilite o gerenciamento de uma empresa através da integração - via computador - da administração, operação e manutenção com a manufatura.

#### 2.1.6.1 O que fazer?

Barrella (2000), afirma que este tipo de sistema é considerado uma evolução dos sistemas ERP, passando ao estágio denominado “*Expert Enterprise Resources Planning*” (E-ERP) e posteriormente ao “*Intelligent Enterprise Resources Planning*” (I-ERP). Sendo assim, a escolha de um formato visa à eliminação das falhas de co-

municação entre os vários setores abrangidos, buscando a otimização de recursos através de Sistemas Especialistas e da consolidação dos dados da empresa.

Destaca-se ainda que a integração desejada implica em um ajuste na estrutura gerencial das empresas, em que se percebe que há uma troca constante de dados e informações entre as áreas administrativa e produtiva. O ajuste acima citado é realizado com a utilização de sistemas integrados e banco de dados compartilhados, interligados por uma rede computadorizada.

O aumento de velocidade e a precisão no processo decisório devem ser conseguidos eliminando-se o uso de aplicativos específicos para solucionar problemas isolados.

Devido às incompatibilidades de programas e tecnologias, a utilização de *softwares* origina, em muitas empresas, um número ainda maior de tarefas, por exemplo, as transcrições manuais de resultados que, por sua vez, fornecerão subsídios a um processo decisório da empresa.

Sendo assim, há uma preocupação em elaborar uma nova ferramenta, livre de incompatibilidades que gere redundância de trabalho, permitindo que a área de planejamento industrial e manutenção programem e controlem melhor e mais rapidamente, a utilização dos seus recursos. É importante destacar o fato que, o aplicativo deve ser compatível com os principais bancos de dados e programas comerciais. Essas condições possibilitam a resolução de diferentes, porém comuns, problemas da Engenharia de Produção.

Os modernos programas de gestão possuem uma arquitetura modular baseada num banco de dados único e que busca, desse modo garantir a integridade e exatidão das informações distribuídas na empresa. Essa arquitetura de sistema será usada como base dos sistemas de informação nas empresas (CORRÊA, GIANESE e CAON, 1997).

O avanço tecnológico tem permitido às empresas utilizarem sistemas computacionais para apoiar suas atividades. Entre os principais problemas decorrentes dessa aplicação, destacam-se a dificuldade na obtenção de informações consolidadas e a inconsistência de dados redundantes, armazenados em mais de um sistema.

### 2.1.6.2 Como fazer?

Este é um trabalho que requer esforços científicos multidisciplinares (computacionais e comportamentais), trabalhando juntos em sinergia.

Num primeiro momento, é preciso adotar uma filosofia básica a ser seguida, em que se considere a estrutura do sistema especialista e a forma de aplicação que serão seguidas por esse programa.

### 2.1.6.3 Para quem fazer?

Aconselha-se a realização de várias análises para chegar à eliminação de uma série de conflitos e desconforto nas interfaces, principalmente naquelas que relacionam o usuário com o sistema.

## 2.1.7 Modelo Especialista

O modelo trata do desenvolvimento de algoritmos e de outras atividades de cálculo. Essa área se preocupa com a definição dos modelos matemáticos e com ferramentas e atividades auxiliares, incluindo:

**Desenvolvimento e Análise de Algoritmos:** baseado nas informações fornecidas pelo sistema de automação e demais sistemas de gestão passa-se a elaborar o algoritmo aritmético que irá solucionar o problema.

É preciso enfatizar que esses algoritmos podem utilizar funções matemáticas e de lógica de complexidades variadas, ou seja, utilizarem-se desde a simples adição até equações diferenciais, matrizes e outros.

Considerando as ferramentas matemáticas como instrumentos auxiliares, avalia-se que se possa ter liberdade para utilizar diferentes concepções relacionadas às árvores de decisões.

## 2.1.8 Informática

A Informática (IN) está incumbida de tornar os algoritmos e a lógica desenvolvida em programa de computador, utilizando linguagens de programação modernas e de fácil utilização. Ressalta-se que essa tarefa deve utilizar os conceitos de qualidade de *software*, o que implica o trabalho conjunto com o setor de Gerência da Produção, que será posteriormente o usuário do sistema desenvolvido, ou seja, é necessária a aprovação posterior pelo usuário final do sistema desenvolvido.

O aplicativo segue algumas políticas de independência na linha de programação orientada a objetos.

As principais atividades de pesquisa incluem:

#### **2.1.8.1 Elaboração de Algoritmos**

É necessária, para que esteja de acordo com as linguagens modernas de alto nível e de maior aceitação comercial e sejam compatíveis com o mercado, tais como: *LISP*, *C++*, *Smalltalk*, *Visual Basic*, etc.

#### **2.1.8.2 Qualidade de Software**

As orientações ISO devem ser seguidas para se obter um sistema já aprovado internacionalmente, o que facilitará sua aceitação pelo mercado.

#### **2.1.8.3 Redes de Computadores**

Recomenda-se que o sistema tenha opções de conexões para diferentes sistemas operacionais. Além disso, o sistema deve possuir uma arquitetura lógica que possibilite o acesso de diferentes pontos da rede e, logicamente, deve ser dotado de uma política de perfil de usuário que habilite o acesso a diferentes arquivos, respeitando-se as necessidades e permissões configuradas.

Outra característica relevante na busca da manipulação do aplicativo é que as interfaces sejam projetadas com um componente visual, ou seja, que as tarefas (funções) possam ser rápida e facilmente identificadas pelo usuário.

Esse componente visual procura, através de um desenho de tela, fazer com que o usuário manuseie o programa baseando-se apenas nas suas interpretações visuais da tela, tentando eliminar a necessidade de outras leituras.

A partir de observações e análises do estudo apresentado até aqui, é elaborada uma proposta para minimizar tais perdas e proporcionar o retorno aos índices alcançados na implantação da automação e garantir a sua manutenção ou declínio.

Após o embasamento alicerçado na pesquisa de Barrella (2000), que trata da construção de um *software* especialista para o gerenciamento da produção nas empresas, o próximo passo será definir o rumo e a especificidade da pesquisa, com

vistas a cumprir o objetivo principal, que é monitorar o sistema através desta integração, para redução das perdas.

Segundo as considerações de Luna (2002), o pesquisador é o intérprete da realidade. Espera-se que ele demonstre, segundo critérios públicos e convenientes que o conhecimento que ele produz é fidedigno e relevante teórica ou socialmente.

A pesquisa visa à produção de conhecimento novo, relevante. Ela deve preencher uma lacuna importante no conhecimento disponível em determinada área do conhecimento.

Complementar os sistemas de abastecimento de água automatizados pela monitoração dos mesmos, através da integração de seus processos de gestão com a detecção dos problemas nas redes de distribuição destes sistemas, através de um Sistema de Monitoramento Especializado (SME), para indicar pontos de manutenção de maneira eficaz, garantindo a qualidade dos serviços através da gestão desta manutenção e redução de perdas de água.

## **2.2 Custos de Produção e Operação**

Os custos de produção e operação são preocupações quando se considera a qualidade e a disponibilidade do produto. Sendo assim, uma das motivações deste estudo, saber como esses sistemas de gestão e controle (gestão da manutenção, automação) podem auxiliar na minimização desses custos.

Uma das principais diferenças entre as empresas modernas e as tradicionais é a constante procura de melhoria em suas atividades. É necessário que concentrem esforços na busca constante de seu aprimoramento, não apenas com inovações tecnológicas, mas também com a eliminação de desperdícios existentes no processo. A empresa que não se atualizar será suplantada por concorrentes mais competentes, pois todas as suas atividades podem ser aprimoradas constantemente. A empresa moderna ainda possui a peculiaridade de priorização da qualidade. Comumente a qualidade é subdividida em qualidade de projeto, relacionada com a adequação do produto ao mercado e a qualidade de conformação, relativa ao atendimento das especificações de projeto durante a produção. Na empresa tradicional, a qualidade, normalmente entendida como qualidade de conformação, era em função de um departamento. (BORNIA, 2002)

O Custo de Produção (ou fabricação) é o valor dos insumos consumidos na fabricação dos produtos da empresa, ou seja: materiais, insumos, mão-de-obra, energia elétrica, máquinas e equipamentos. Os custos de fabricação estão relacionados com a produção, sendo normalmente divididos em Matéria-Prima (MP), Mão-de-Obra Direta (MOD) e Custos Indiretos de Fabricação (CIF), assim:

$$\text{Custos de Fabricação} = \text{MP} + \text{MOD} + \text{CIF}$$

A principal alteração nos custos de produção em sistemas de abastecimento de água, está na variação dos custos de matéria-prima (MP), onde decorrem de variações no meio ambiente. Essas variações são suficientemente importantes para aumentar esses custos no decorrer do processo, elevando-se ao longo do tempo.

Já nos custos de operação, estão relacionados aqueles que decorrem da atividade de manutenção e combate ao desperdício de água nas tubulações transportadoras. Estão diretamente relacionados a custos de serviços. Podem ser divididos em Materiais (MT), Mão-de-obra Direta (MOD), Custos com Tecnologia (CT), então:

$$\text{Custos de Operação} = \text{MT} + \text{MOD} + \text{CT}$$

Nos custos com tecnologia estão relacionados os sistemas de apoio à decisão e de monitoramento do processo, diretamente ligados à operação e tecnologia empregada para manter e gerir o sistema. São exemplos: sistemas de automação, Tecnologia da Informação, custos com equipamentos de informática e *softwares* destinados aos processos de gestão da manutenção. Ao mesmo tempo em que a incidência em custos com materiais e mão-de-obra vem decrescendo, os custos indiretos de fabricação (CIF), como a depreciação, os gastos com engenharia e processamento de dados têm aumentado sensivelmente.

### 2.3 Indicadores de Desempenho do Abastecimento de água no Brasil

Atualmente, nos foros setoriais nacionais e internacionais, existe uma nítida preferência com relação aos percentuais para representar indicadores, considerando sua maior precisão na detecção direta de eficiência em diferentes condições de operação, sem a necessidade de valer-se de um número tão grande de indicadores complementares. Os trabalhos da IWA (*International Water Association*) indicam

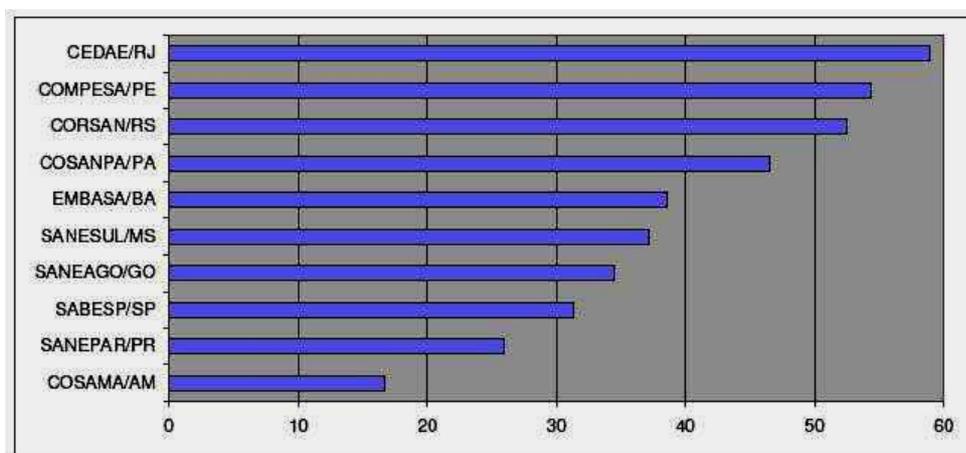
ser oportuno se trabalhar com índices de perda por economia abastecida, o que resultará em uma unidade de volume por economia, por dia.

Dentro deste enfoque, a partir de dados do SNIS (2001), procedeu-se uma ordenação de alguns serviços brasileiros, com base em três indicadores:

- volume não faturado sobre volume produzido, em percentual, no conceito de perda de faturamento;
- perda física por extensão de rede, em  $m^3/km/dia$ , na hipótese de 50% das perdas totais (de faturamento) corresponderem a perdas físicas e
- perda física por economia, em  $m^3/economia/dia$ , na mesma hipótese de relação perda física/perda total do caso anterior.

Os gráficos 4,5 e 6 demonstram a situação de algumas empresas brasileiras em 2001 em relação a esses indicadores. (SNIS, 2002)

As comparações entre as três ordenações, mostram que os critérios adotados resultam em diferenças na classificação de desempenho dos serviços. As tendências gerais são aproximadamente as mesmas, à medida que um serviço não aumenta ou diminui mais que um intervalo na escala de ordenação. Observa-se uma diferença mais acentuada na ordenação, com reflexos sobre a suposta escala de eficiência.



**Gráfico 4. Volume não faturado sobre volume produzido (percentual)**

*Fonte: SNIS, 2001.*

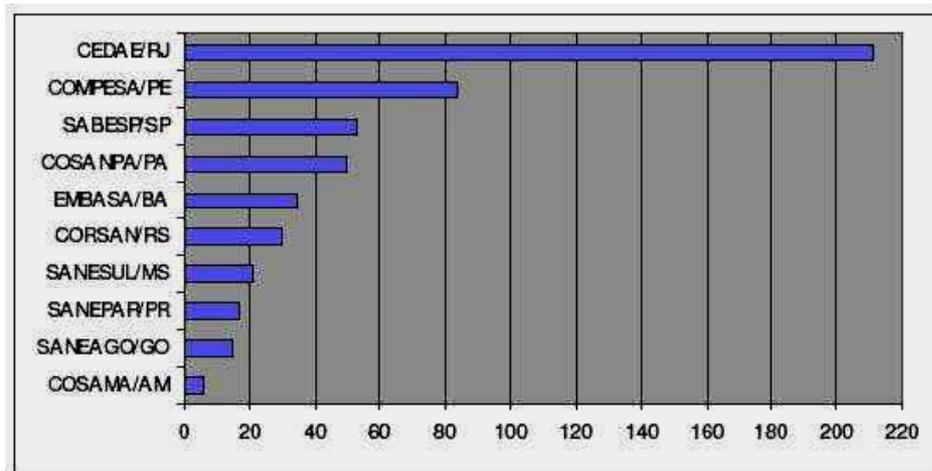


Gráfico 5. Possível perda real / física por extensão de rede (m<sup>3</sup> / km / dia)

Fonte: SNIS, 2001.

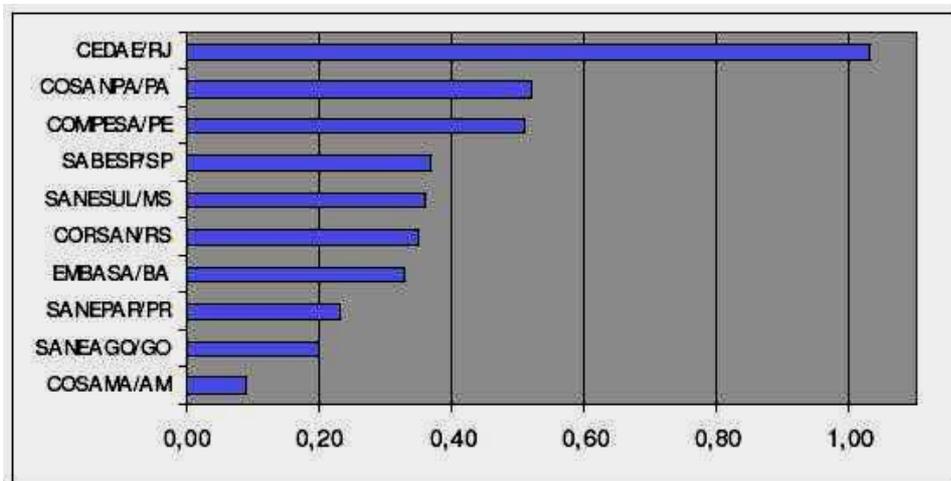


Gráfico 6. Possível perda real / física por economia (m<sup>3</sup> / economia / dia)

Fonte: SNIS, 2001.

## 2.4 Vazão mínima noturna (VMN)

Lambert (1999) define vazão mínima noturna (VMN) como sendo: a vazão medida na entrada de um dado setor e tem o seu valor mínimo em um período noturno específico. Esta vazão é determinada através da macromedição na entrada deste setor. Nesse caso, é necessária a medição em intervalos com períodos constantes e regulares. Estes intervalos de medição podem ser realizados de acordo com as características e capacidades do aparelho registrador. Geralmente trabalha-se com períodos de 10 segundos até 1 hora de intervalo.

A medição de vazão nos equipamentos macromedidores pode ser armazenada através de equipamentos tipo “*data logger*” (equipamentos registradores de vazão e pressão, quando conectados nas tubulações) ou enviada a uma central de controle via telemetria por um sistema de automação. Após a aquisição dos dados, eles podem ser visualizados em micros tipo PC, onde podem ser analisados e interpretados.

Segundo Lambert (1999), a vazão mínima noturna ocorre diariamente no horário entre 01h00 e 05h00. É neste intervalo de tempo que ocorrem as maiores perdas e existem maiores facilidades de determinar o que ocasiona estas perdas.

As perdas noturnas são maiores que as perdas de mesmas causas ocorridas durante o período do dia. Isto é em decorrência da pressão noturna da rede de distribuição de um setor ser maior que a pressão diurna.

Para este mesmo autor, a vazão mínima noturna possui dois principais componentes, que também podem ser divididos em sub-itens, conforme descritos a seguir:

- Vazão noturna de abastecimento (VNA) – é a vazão consumida pela população do setor no período em que a vazão mínima noturna é medida. A VNA é composta da vazão noturna líquida (VNL) e do consumo noturno excepcional,
- Perda da distribuição na vazão noturna (PDVN) – consiste na diferença entre a vazão mínima noturna e a vazão noturna de abastecimento. As causas da PDVN podem ser: vazamentos, extravasamentos de reservatórios, perdas nas ligações prediais, perdas na rede principal e perdas devido às ligações clandestinas.

A vazão mínima noturna pode variar diariamente de forma sistemática ou de forma aleatória. Determinadas regiões podem possuir padrões de utilização para uso da água em atividades domésticas que afetam os valores da VNA.

A ocorrência de vazamentos também pode produzir variações no valor do VNA. Nesse caso, isso pode acontecer devido às causas de forma aleatória.

A estimativa das perdas de água em um sistema de abastecimento ocorre por meio da comparação entre o volume de água transferido de um ponto do sistema e o

volume de água recebido em um ou mais pontos do sistema, situados na área de influência do ponto de transferência.

A identificação e separação das perdas reais de água das aparentes são tecnicamente possíveis mediante pesquisa de campo, utilizando a metodologia da análise de histograma (registros contínuos) de consumo das vazões macromedidas. Nesse caso, a oferta noturna estabilizada durante a madrugada (abatendo-se os consumos noturnos contínuos por parte de determinados tipos de usuários do serviço, fábricas, hospitais e outros). Representa, em sua quase totalidade, a perda física no período pesquisado, decorrente de vazamentos na rede ou ramais prediais, descargas na rede e extravasamentos em reservatórios.

A perda não física será a diferença entre a perda total de água na distribuição (Água Não Contabilizada) e a perda física levantada. Em relação às perdas reais nas tubulações, os ramais prediais que registram a maior quantidade de ocorrências (vazamentos). Isso nem sempre significa, porém, que esta seja a maior perda em termos de volume. As maiores perdas reais na rede de distribuição, em volume, ocorrem por extravasamento de reservatórios ou em vazamentos nas tubulações adutoras de água tratada e nas tubulações da rede de distribuição.

As causas e a magnitude das perdas, assim como a natureza das ações para seu controle, podem ser sensivelmente diferentes nos diversos componentes de um sistema de abastecimento de água. É desejável que o controle de perdas seja feito por subsistema. Pode-se dividir o programa de controle nos seguintes subsistemas:

- Adução de Água Bruta - compreende a captação e adução de água bruta,
- Tratamento - ETA ou unidade de tratamento simplificado,
- Reservação,
- Adução de Água Tratada - consiste nas adutoras e sub-adutoras de água tratada e instalações de recalque e
- Distribuição - consiste na rede de distribuição de água tratada e ramais prediais.

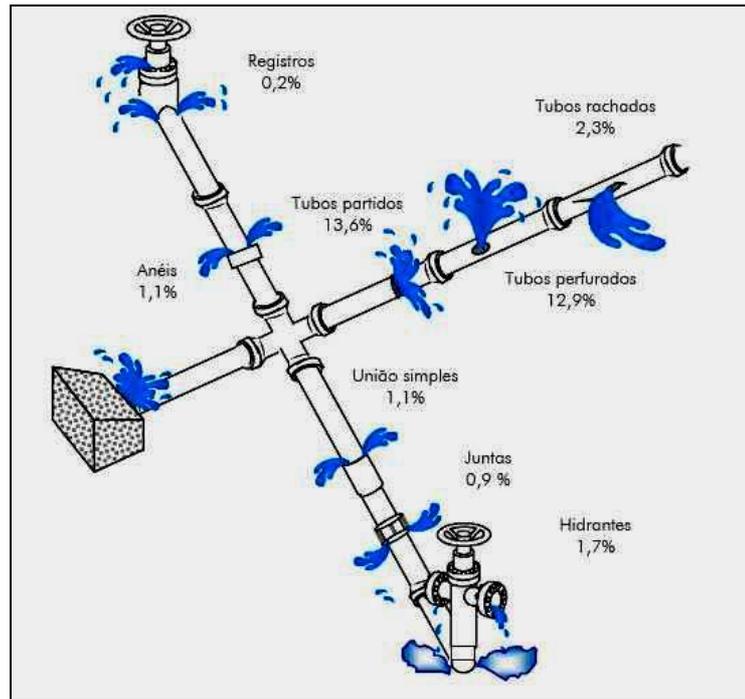
Essa subdivisão facilita o diagnóstico das perdas no sistema de abastecimento e a orientação para ações preventivas e corretivas. Por exemplo, perdas nas ETAs ocorrem de forma concentrada e, mesmo que sejam pequenas percentualmente, em

termos de vazão podem ser significativas, podendo propiciar retornos rápidos com simples melhorias operacionais ou reparos estruturais. No caso das perdas no subsistema de reservação, o mesmo fato pode ocorrer, implicando também em ações corretivas de caráter localizado. Já no caso da distribuição, que inclui os ramais prediais são muitas vezes elevadas, porém dispersas.

As perdas reais que ocorrem nas redes de distribuição, incluindo os ramais prediais, são muitas vezes elevadas, mas estão dispersas, fazendo com que as ações corretivas sejam complexas, onerosas e de retorno duvidoso, caso não sejam realizadas com critérios e controles técnicos rígidos. Nesse sentido, é necessário que as operações de controle de perdas sejam precedidas por criteriosa análise técnica e econômica. Nesse caso também, se enquadram as perdas decorrentes de descargas para melhoria da qualidade da água ou esvaziamento da tubulação para reparos. A magnitude das perdas será tanto mais significativa quanto pior for o estado das tubulações, principalmente nos casos de pressões elevadas.

As experiências de técnicos do ramo indicam que a maior quantidade de ocorrências de vazamentos está nos ramais prediais (algo entre 70% e 90% da quantidade total de ocorrências), conforme ilustrado na figura 3. Em termos de volume perdido, a maior incidência é nas tubulações da rede distribuidora.

O uso de materiais adequados, associados à execução da obra com pessoal treinado e equipado com ferramentas compatíveis com os materiais utilizados, incluindo a realização de testes de estanqueidade (testes realizados em malhas fechadas de tubulações que verificam que, se ao fechar os registros de entrada dessas áreas, a água cessa ou fica estanque dentro delas), são pré-requisitos para a existência de baixos níveis de perdas.



**Figura 3. Pontos freqüentes de vazamentos em redes de distribuição**  
 (Percentuais ilustrativos baseados em experiência da SANASA)  
 Fonte: SNIS, 2002

O quadro 1 apresenta as prováveis causas de rupturas nas tubulações nas respectivas fases de um sistema de abastecimento.

**Quadro 1. Causas prováveis de falhas e rupturas em tubulações**

Causas Prováveis de Falhas e Rupturas em Tubulações		
FASE DA FALHA	CAUSA DA FALHA	CAUSA DA RUPTURA
Planejamento e Projeto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• subdimensionamento</li> <li>• ausência de ventosas</li> <li>• cálculo de transientes</li> <li>• regras de operação</li> <li>• setorização</li> <li>• treinamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sobrepessão</li> <li>• subpressão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> <li>• sobrepessão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> </ul>
Construção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• construtivas</li> <li>• materiais</li> <li>• peças</li> <li>• equipamentos</li> <li>• treinamento</li> </ul>	
Operação	<ul style="list-style-type: none"> <li>• enchimento</li> <li>• esvaziamento</li> <li>• manobras</li> <li>• ausência de regras</li> <li>• treinamento</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sub e sobrepessão</li> <li>• subpressão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> </ul>
Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sem prevenção</li> <li>• mal-feita</li> <li>• treinamento</li> <li>• interação</li> <li>• operação/usuário</li> <li>• tempo de resposta</li> </ul>	
Expansão	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sem projeto</li> <li>• sem visão conjunta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• sub e sobrepessão</li> <li>• sub e sobrepessão</li> </ul>

Fonte: SNIS, 2002

## 2.5 Controle de perdas e dados operacionais: bases da integração

É a ação voltada à conservação e ao combate ao desperdício de água vinculada-se, simultaneamente, ao planejamento, ao projeto, à construção, à operação e à manutenção dos sistemas. Seria incorreto associá-la, alternativamente, ao planejamento ou à operação. Nesse sentido, a convergência de sistemas de informação para planejamento e operação vem em benefício da conservação e amplia consideravelmente a perspectiva de melhora nos padrões de monitoramento dos serviços. Enquanto as diferentes áreas de planejamento e gestão dos serviços trabalharam sobre bases de informações estanques, as restrições econômicas sempre obrigaram que o planejamento fosse feito a partir de um conhecimento bastante limitado da realidade.

Seria pouco racional, do ponto de vista da gestão econômica dos serviços, montar bases de informação cujos custos, aparentemente, superassem os benefícios (em muitos casos não tangíveis) de um planejamento sofisticado.

Essa situação tende, logicamente, ao caso da profecia que se auto-realiza, uma vez que o planejamento feito sobre bases precárias mostrar-se pouco eficaz e, assim sendo, cada vez menos se habilitaria como atividade merecedora de atenção na escala de prioridades dos serviços de saneamento.

Com a utilização comum de bases informatizadas mais sofisticadas e completas, o planejamento e a operação podem compartilhar um nível de conhecimento da realidade muito mais avançado do que anteriormente.

Especificamente quanto à conservação de água, a ampliação de capacidade de informação no conjunto do serviço abre perspectivas, antes impensáveis de domínio sobre a demanda. Em termos econômicos, os custos dos controles e, em última análise, das vazões recuperadas, são sensivelmente reduzidos, ampliando as margens de benefício líquido da recuperação. Os elementos mais conhecidos desse conjunto ampliado de informações de interesse para o controle da demanda de água são:

- sistemas de informação geográfica - GIS, relativos às áreas de operação dos serviços, juntamente com os sistemas de aquisição e controle de dados operacionais,

- SCADA, que permitem avaliar as condições de serviço em tempo real e em diferentes pontos do sistema e
- dispositivos de telecomando e de autocomando (dispositivos inteligentes), destinados a corrigir as condições de serviço sempre que necessário.

Junta-se a esses elementos a preocupação em servir e, portanto, conhecer melhor os usuários, o que reforça o papel dos sistemas de informação, que passam também a integrar dados mais detalhados sobre os usuários. (SNIS, 2002)

Em relação à auditoria dos serviços em termos de eficiência no uso da água, as experiências internacionais mais recentes têm sido em sua maioria baseadas em manejo integrado de informações operacionais e conhecimento da demanda.

Casos como o de Waterloo (Ontário, Canadá) e de Madrid (Espanha) são alguns exemplos dessa tendência, que vem se mostrando crescente e predominante nos últimos anos (PIÑERO E CUBILO, 1995).

## **2.6 Controle de perdas integrado ao gerenciamento: o caso de Madrid**

O nível de controle de perdas, do ponto de vista da relação custo/benefício do controle, no caso do Canal de *Isabell* de *Madrid*, foi considerado a partir de três aspectos:

- adoção do controle preciso do consumo mínimo noturno como indicador prioritário,
- ênfase na detecção e na localização de vazamentos em fluxos claramente identificáveis dentre os principais componentes dos fluxos noturnos classificados (vazamentos e drenos com fluxo notável mas não evidente; vazamentos triviais e distribuídos; uso público noturno para regular a lavagem de ruas; uso industrial e comercial real; vazamentos e perdas não controlados nas instalações prediais; e uso residencial real) e
- aplicação de tecnologias de gerenciamento integradas em redes como alternativa ao uso generalizado e sistemático de detectores acústicos (geofones) em toda a rede.

O método constitui uma estratégia válida e efetiva contra o desperdício de água, uma vez que incorpora procedimentos de detecção e controle de vazamentos a

outras finalidades da operação. Ele também provê uma base sólida para a justificação de custos e estabelece um nível máximo de vazamento, uma vez que seja aplicado sistematicamente.

O método empregado em Madrid inclui:

### 2.6.1 Critérios

- uso de vazões noturnas mínimas como principal indicador de perdas em cada zona específica, medido em (l/hora/propriedade e em l/h/km),
- as diferenças entre volume anual fornecido e volume anual faturado foram também incluídas como indicadores correlatos e
- medição *online*, a intervalos de um minuto, das vazões fornecidas à zona.

Por meio de georeferenciamento, os dados obtidos são relacionados à topologia da rede e aos usuários.

### 2.6.2 Procedimentos

As zonas de abastecimento foram setorizadas em áreas com população máxima de 50.000 habitantes. Os setores foram isoláveis e seus consumos mensuráveis. Detecção de setores que pareciam ter uma maior probabilidade de apresentar vazamento.

Os fatores examinados incluíam:

- a idade das tubulações, os tipos e materiais de conexões, as altas incidências de interrupção no abastecimento ou de vazamentos evidentes, a média de pressão noturna, os mínimos noturnos de vazão por extensão de rede, por propriedade e por ligação e as relações entre volumes abastecidos e volumes faturados,
- medidas contínuas ou esporádicas de consumo instantâneo nos setores,
- medidas de pressão e de vazões circulando em pontos particulares do setor, como elemento auxiliar à localização de vazamentos ou de água utilizada para finalidades não explicadas,
- localização exata de vazamentos mediante detecção acústica,

- controle da pressão de água nos setores mediante válvulas reguladoras de pressão e
- conserto de pontos de vazamento.

### 2.6.3 Manutenção

Controle na detecção de elevações repentinas em vazões noturnas mínimas, em setores e zonas. Os instrumentos empregados para implementar-se o método descrito incluem:

- medição de vazões (em particular, monitoramento telecomandado),
- sistemas de informação geográfica como único meio de determinar e atualizar a precisa localização de consumidores com relação à rede,
- modelos de simulação hidráulica para redes inteiras e
- equipamento de detecção acústica.

O uso cotidiano de quase todos esses instrumentos constitui a base para os sistemas de gestão de distribuição na rede. Dessa maneira, os benefícios da detecção de perdas podem ser considerados como valor adicionado ao suporte técnico de planejamento e operação das redes (PIÑERO E CUBILO, 1995).

A tendência registrada internacionalmente diz respeito, em geral, a serviços que já atingiram patamares satisfatórios de setorização, de macromedição e de conhecimento de consumo real, mediante micromedição e estimativas controladas de consumos permitidos, onde os benefícios da informação mais sofisticada vêm somar-se aos advindos daquelas medidas básicas, e não substituí-las.

Percebe-se então a necessidade de criação de um Sistema de Monitoramento Especializado (SME) e integrado, que por meio de um sistema especialista de apoio às decisões, visa evitar ou ainda reduzir novos indicativos de crescimento do índice de perdas dos sistemas públicos de abastecimento de água.

# Capítulo 3

## 3 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste trabalho trata do desenvolvimento de um sistema complementar de gestão e monitoramento especializado, através do estudo de sistemas de automação, processos de gestão da manutenção. Também é apresentado um estudo da implementação do sistema desenvolvido, como forma de validação, em uma empresa de abastecimento público de uma cidade com aproximadamente 300 mil habitantes.

São feitas comparações entre as informações obtidas na pesquisa e as afirmações dos autores da revisão bibliográfica, visando promover um processo de melhoria nos padrões atuais e contribuir com o conhecimento existente. Através dessas comparações, observa-se a necessidade de construção do sistema inteligente, que propõe o fornecimento de informações e diretrizes para a tomada das decisões em manutenção.

### 3.1 O que fazer?

Desenvolver e implantar um Sistema de Monitoramento Especializado (SME), integrado a processos de gestão que vise dar apoio à manutenção de qualidade e fornecimento em sistemas públicos de abastecimento de água. O quadro 2 descreve as etapas do desenvolvimento e a respectivas prioridades:

**Quadro 2. Relação dos itens e prioridades em - O que fazer ?**

<b>O que fazer:</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Prioritário</b>
1. Estudar as falhas do sistema existente (automação – gestão manutenção)	<b>SIM</b>
2. Propor SME como complemento ao sistema existente	<b>SIM</b>
3. Desenvolver Sistema de Monitoramento Especializado (SME)	<b>SIM</b>
4. Implantar o SME seguindo as etapas de COMO FAZER?	<b>SIM</b>
6. Promover melhorias no gerenciamento da manutenção	<b>NÃO</b>
5. Promover a redução dos índices de perdas	<b>SIM</b>

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

O SME objetiva a economia do produto água, apoio à manutenção em decisões assertivas para a redução dos índices de desperdício, com alta relevância para o processo produtivo, pela rápida intervenção na resolução dos problemas emergentes de manutenção.

### 3.1.1 Estudo da estrutura dos sistemas (automação e gestão da manutenção)

Normalmente um sistema de automação no abastecimento público de água, como já explanado nos capítulos anteriores, trata-se de um Centro de Controle Operacional (CCO). Nele reside o *software* de supervisão e onde estão registrados todos os dados resultantes da aquisição por CLP (Controlador Lógico Programável) e por equipamentos medidores de pressão e vazão para as redes de abastecimento e nível de reservatórios no sistema de reservação.

O que se pode perceber ao estudar tais sistemas, é que existe uma grande quantidade de informações que permanecem armazenadas e dependem da decisão de um especialista que, só após analisá-las, pode apontar soluções para os problemas emergentes nesses sistemas. Alarmes e alertas do sistema chamam a atenção para situações que estão se desviando da normalidade, porém não são capazes de indicar pontos específicos de atuação ou ainda, determinar qual ação é apropriada para a resolução.

Paralelamente ao sistema de automação, a gestão de manutenção se organiza de maneira que possa atender suas demandas de intervenções, melhorias e ampliação do sistema como um todo. Não é essencial que este setor possua informações tão detalhadas sobre um problema eminente, e sim, apenas a informação sobre qual ação ou procedimento deve ser executado para que o problema seja resolvido o mais rápido possível. Torna-se impraticável um sistema cuja detecção, análise, diagnóstico e prescrição de intercessão demandem tempo e ocasionem demora na solução. A pretensa proposta almeja propiciar ações integradas.

Além da interação e velocidade de atuação nas causas dos problemas, os sistemas de informação abrem possibilidades para o registro das decisões que foram assertivas e com elas apontam novas decisões mais consistentes. Isto revela o surgimento de um Gerenciamento Especializado de Manutenção (GEM), decorrente da integração automatizada entre a manutenção e os demais setores das empresas.

Os argumentos a seguir demonstram os caminhos que deverão ser tomados para uma construção sólida do SME.

### 3.2 Como fazer?

Assumindo que o programa deve ser flexível, deve-se utilizar a forma temática e uma interface amigável. Esse formato tem se constituído como característica principal dos *softwares* modernos de supervisão e monitoramento.

A escolha dos dados e o seu compartilhamento implicam na formação e no registro de conjuntos de dados em um Banco Central de Dados, possibilitando que os diferentes setores da empresa possam acessá-los. Essa atividade deve ser revista freqüentemente e, se necessário, incrementada com novos tipos de dados. Os conjuntos de dados escolhidos devem ser suficientes para o gerenciamento da empresa BARRELLA (2000).

Abaixo, o quadro 3 ilustra as principais ações a serem tomadas na preparação e no desenvolvimento do SME.

**Quadro 3. Relação dos itens e características em - Como fazer?**

<b>Como fazer:</b>	
<b>Descrição</b>	<b>Banco de Dados</b>
1. Sistema de automação registrando informações de “chão de fábrica” - <i>on-line</i>	<b>SIM</b>
2. Elencar variáveis para entrada no Sistema especialista	<b>NÃO</b>
3. Tratamento das variáveis de entrada – valores, padrões, unidades de medida...	<b>SIM</b>
4. Análise e filtros em outros sistemas de gestão com registros relevantes	<b>SIM</b>
5. Geração de informações Geoprocessadas para apoio ao sistema	<b>SIM</b>
6. Ajustes na estrutura dos bancos de dados existentes dos sistemas paralelos	<b>SIM</b>
7. Formatação do Banco do SME com intercomunicação com os demais	<b>SIM</b>
8. Criação das principais regras do sistema especialista	<b>SIM</b>

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

#### 3.2.1 O sistema especialista

##### 3.2.1.1 Representação de problemas

Antes que se possa encontrar a solução para um problema é necessário que o mesmo seja representado de uma forma tal que seja manipulado por um computador. Tal representação reduz-se a um modelo do problema dentro da estrutura de

dados do computador. Um problema é representado através da construção de um modelo que é análogo ao problema original. Desta forma, a idéia é solucionar o problema original através da solução do modelo análogo.

Os modelos de problemas são usados como representação desde que eles reduzam o problema original a um conjunto de estados de fácil entendimento para que possa ser trabalhado num computador.

Para criar um sistema que solucione um problema em particular torna-se necessário:

- a) Definir o problema precisamente. Esta definição tem de incluir especificações precisas sobre qual será a situação ou situações iniciais (estado inicial) e também sobre quais situações finais serão consideradas soluções aceitáveis para o problema,
- b) Analisar o problema. Um poucas características importantes podem ter enorme impacto sobre a adequação de várias técnicas possíveis para a solução,
- c) Isolar e representar o conhecimento necessário para a solução e
- d) Escolher a melhor ou as melhores técnicas de solução de problemas e aplicá-las.

### **3.2.1.2 Características de problemas**

A fim de escolher o método ou uma combinação de métodos mais apropriada para um determinado problema, é necessário analisá-lo sob alguns aspectos relevantes para sua solução:

- o problema pode ser decomposto em um conjunto de subproblemas, menores de solução mais fácil?
- alguns passos na direção da solução podem ser ignorados ou pelo menos desfeitos, caso fique provado que são imprudentes ou inapropriados?
- o universo do problema é previsível?
- uma solução para o problema pode ser considerada óbvia sem haver comparação com todas as outras soluções possíveis?
- a solução desejada é um estado objetivo ou um caminho para um estado objetivo?

- há necessidade absoluta de grande quantidade de conhecimento para resolver o problema, ou o conhecimento é importante apenas para limitar a busca?
- um computador que simplesmente receba o problema tem condições de retornar a solução, ou esta exige interação entre o computador e uma pessoa?

Pode-se fazer ainda uma classificação de problemas baseada nos procedimentos necessários para sua solução. Assim têm-se três classes importantes de problemas apresentadas a seguir.

**1. Problemas ignoráveis**, nos quais as etapas para solução que não lograram êxito podem ser ignoradas. É o caso, por exemplo, dos problemas de demonstração de teoremas.

Caso o esforço inicial tenha caminhado para uma direção errada, perde-se apenas o tempo despendido, porém tudo o que se sabia para provar o teorema continua válido e disponível na memória,

**2. Problemas recuperáveis**, nos quais as etapas para a solução podem ser desfeitas. Por exemplo, o quebra-cabeça de 8 (oito) números e um espaço vazio numa matriz 3x3,

**3. Problemas irrecuperáveis**, nos quais as etapas para a solução não podem ser desfeitas. Por exemplo, um jogo de xadrez ou de damas.

A possibilidade de recuperação de um problema tem papel importante na determinação da complexidade da estrutura de controle necessária para sua solução.

Os problemas ignoráveis podem ser solucionados usando uma estrutura de controle simples, que nunca retrocede. Tal estrutura de controle é fácil de implementar.

Os problemas recuperáveis podem ser solucionados através de uma estrutura de controle mais complicada que às vezes apresenta erros.

O retrocesso será necessário para recuperar tais erros. Logo, a estrutura de controle precisa ser implementada usando-se uma pilha, na qual as decisões são gravadas caso precisem ser desfeitas mais tarde. Os problemas irrecuperáveis, por outro lado, precisarão ser solucionados por um sistema que despenda muito esforço para tomar as decisões, já que elas são definitivas.

### 3.2.1.3 Estrutura de um sistema especialista

**Base de conhecimento:** contém as regras usadas no processo de raciocínio. A maioria dos sistemas usa regras de produção. Entretanto, os SE podem incorporar na sua base de conhecimento elementos de lógica, de redes semânticas ou quadros. Quando isso acontece são usadas regras de produção para direcionar o raciocínio do sistema para a estrutura de conhecimento adequada.

Nos sistemas de emprego real podem existir centenas e até milhares de regras.

**Base de dados:** é o contexto do sistema. Possui os fatos disponíveis ao sistema a cada momento. É no contexto que o sistema procurará os elementos necessários à satisfação das regras.

**Interpretador:** também chamado de motor de inferência, guia o processo de raciocínio do sistema através da base de conhecimento, fazendo o casamento dos elementos da base de dados com as regras. Traz a solução para os conflitos.

### 3.2.1.4 Como funciona um SE

Um sistema especialista possui basicamente três modos de operação:

1. Modo de aquisição de conhecimento;
2. Modo de consulta e
3. Modo de explanação.

**Modo de Aquisição do Conhecimento:** para adquirir conhecimento é necessário interagir com um especialista humano. O processo de aquisição de conhecimento é o maior gargalo do sistema.

Geralmente isto é feito por um especialista do conhecimento que será o responsável pela extração e formalização do conhecimento humano e pela sua integração à base de conhecimento do sistema.

O conhecimento que deve ser transferido para o sistema inclui:

- Vocabulário ou jargão usado no domínio,
- Fatos e conceitos gerais usados no domínio,
- Problemas que ocorrem no domínio,
- Solução de problemas baseada em experiência e
- Habilidades para solução de problemas.

O especialista do conhecimento é também responsável por testar a precisão das conclusões obtidas pelo sistema através da simulação de problemas.

**Modo de Consulta:** o sistema estará no modo consulta quando desempenhar sua função de fonte de consulta computadorizada. Neste modo um usuário não especialista no assunto interagirá com o sistema fornecendo dados e respondendo perguntas. Os dados fornecidos serão incluídos na base de dados do sistema e serão utilizados pelo interpretador para satisfação de regras e condução do raciocínio do sistema.

**Modo de Explicação:** permite que o sistema explique suas conclusões e seu processo de raciocínio. Dá ao SE uma de suas características mais importantes que é a capacidade de explicação, isto é, capacidade de explicar qual o caminho usado para chegar à conclusão obtida e como foram usadas as informações disponíveis.

#### **3.2.1.5 Alguns benefícios associados ou resultantes do desenvolvimento de SE:**

- Distribuição de conhecimento especializado;
- Memória institucional;
- Flexibilidade no fornecimento de serviços;
- Facilidade na operação de equipamentos;
- Maior confiabilidade de operação;
- Possibilidade de tratar situações a partir de conhecimentos incompletos ou incertos e
- Treinamentos.

#### **3.2.1.6 Redes semânticas**

Rede semântica é uma rede de símbolos que representam relações entre elementos de conhecimento. Trata-se de uma relação gráfica com o conhecimento, um método de representação do conhecimento bastante flexível que permite representar conhecimento de diversos tipos.

O termo semântica refere-se à relação existente entre símbolos e o que estas relações significam. As redes semânticas foram desenvolvidas originalmente como um modelo descritivo do método utilizado pelo cérebro humano para associar objetos e conceitos.

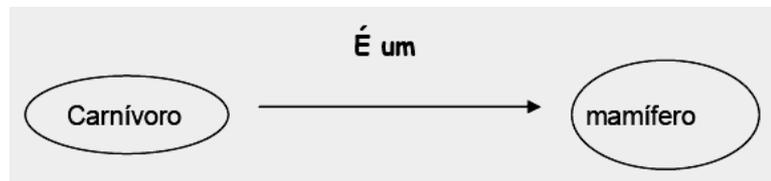
Redes semânticas são compostas por nós e arcos que une estes nós. Os nós contêm objetos, conceitos ou situações no domínio do problema. Os arcos representam relações entre os nós.

Existem dois tipos de nós: os genéricos que estão nos níveis intermediários na rede e os nós individuais que estão nas extremidades da rede.

Os nós genéricos podem ser aplicados a diversos indivíduos. Por exemplo: em uma árvore para classificação de animais serão nós genéricos: mamíferos, pássaros, répteis, peixe. Os nós individuais, ao contrário, são específicos. Geralmente representam descrições que são aplicáveis a um único elemento.

Conseqüentemente, os nós genéricos ocupam níveis intermediários da rede enquanto nós individuais são as folhas da rede.

As ligações entre os nós são as verdadeiras fontes de conhecimento dentro da rede. Uma das ligações mais freqüentes é: “**é um**”. Outros exemplos: **Está contido, Está sobre, Possui como parte, É parte de,...**



Quando o arco **É um** conecta um nó individual a um nó genérico ele expressa uma relação de pertinência entre um elemento e um conjunto.

#### 3.2.1.7 Propriedades de redes semânticas

As ligações são feitas de nós bastante genéricos para nós menos genéricos, até indivíduos. Esta maneira de conectar nós naturalmente estabelece uma estrutura hierárquica em árvore. No caso de uma implementação, cada nó da árvore poderá receber um rótulo de modo que ele possa ser chamado como uma subrotina, para permitir acesso a um fato particular.

As redes semânticas possuem uma estrutura hierárquica.

**Herança:** o conhecimento relacionado com um nó hierarquicamente superior ou geral é passado para os nós menos genéricos ligados a ele.

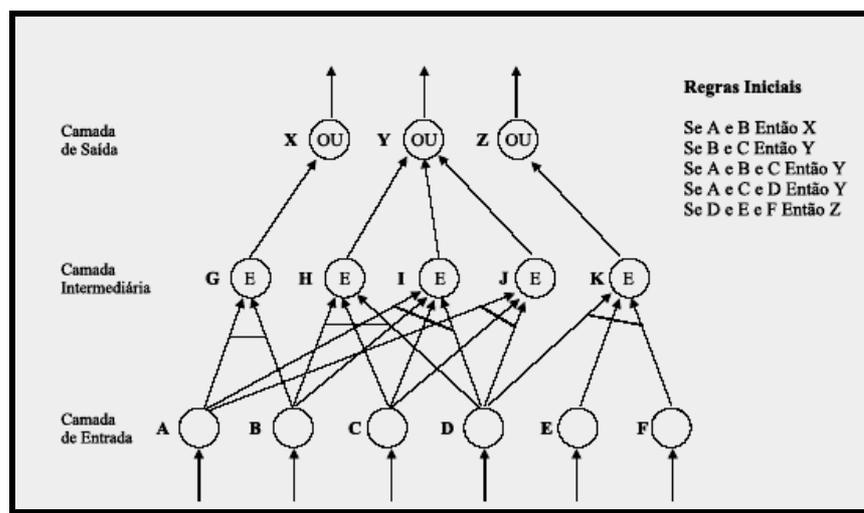
A propriedade de possuir herança permite às redes semânticas fazer raciocínio dedutivo e economiza espaço de memória, já que algumas características serão representadas apenas uma vez.

O computador usando uma rede semântica raciocina simplesmente seguindo as conexões da rede. As conexões funcionam como ponteiros na execução de um programa. O sistema inicia em um determinado nó e segue as conexões para nós

relacionados com ele e assim por diante até encontrar o nó objetivo. O “raciocínio” do sistema consiste em iniciar por um nó e prosseguir através das ligações até atingir o nó desejado.

A **herança** permite que o sistema salte de uma idéia para outra relacionada a ela, de forma semelhante ao que ocorre no raciocínio humano.

Uma conexão **É um** permite que fatos sejam compartilhados por vários nós de uma rede. Desta forma, uma grande quantidade de relações complexas pode ser representada por um conjunto pequeno de fatos. Isso produz uma ferramenta bastante eficiente para representação do conhecimento. Podem-se também utilizar as regras de produção para raciocinar dentro da rede. Pode-se usar lógica para provar que uma conclusão está certa e assim por diante. Não existe uma estrutura geral de *links*, cada rede possui uma estrutura particular de *links*. Na figura 4 é apresentado um exemplo de rede semântica.



**Figura 4. Rede Semântica**

*Fonte: Brasil & Azevedo, 2003*

A elaboração de um SE envolve várias etapas: aquisição de conhecimento, representação do conhecimento, motor de inferência, interface com usuário, aprendizagem e justificativa.

Nem todos os sistemas baseados em conhecimento incluem todos estes itens, entretanto estes elementos constituem um sistema ideal para desempenharem tarefas de raciocínio complexo. Estes itens não seguem, necessariamente, uma ordem já que seus frutos são interdependentes entre si.

### 3.2.1.8 Aquisição do Conhecimento

Alguns autores, tais como Cordingley (1989) abordam o tema "Aquisição de Conhecimento" como um processo que se divide em três etapas, a saber: decisão de qual é o conhecimento necessário; a aquisição do conhecimento propriamente dita, nos termos de extração do conhecimento do especialista e a terceira, diz respeito à representação do conhecimento extraído.

A tarefa de aquisição de conhecimento refere-se à transferência de conhecimento de alguma fonte, normalmente humana, para um programa de computador. No contexto de construção de um SE, a aquisição de conhecimento é o processo de captar procedimentos, regras, métodos, enfim, o raciocínio do especialista de forma a entender e reproduzir a forma como ele resolve o problema para, posteriormente, transferi-lo para o sistema.

Quando da aquisição de conhecimento inicialmente é fundamental que se compreenda o processo de raciocínio do especialista como um todo, para somente depois projetar a base de conhecimento e aprofundar o nível de abstração.

Uma das tarefas mais difíceis do especialista do conhecimento é exatamente captar do especialista humano a estrutura do domínio do conhecimento. Dessa forma, o especialista do conhecimento deve ter uma visão clara do universo de conhecimento que ele irá extrair do especialista.

Hoffman (1987) sustenta que o processo de aquisição do conhecimento caracteriza o grande gargalo no desenvolvimento de sistemas especialistas.

### 3.2.1.9 Representação do Conhecimento

Algumas formas de representação do conhecimento são: regras de produção, redes semânticas e *frames*, entre outras (WEBER, 1993).

Regras de produção são comandos do tipo "SE" <condição> "ENTÃO" <ação>. Quando à parte da condição SE da regra é satisfeita, a ação da parte "ENTÃO" será executada.

As regras de produção podem ser aplicadas sobre uma estrutura de conhecimento. Estes comandos orientam as informações no sentido da solução do problema.

A escolha do conteúdo das regras é proveniente da aquisição do conhecimento e concluem a tarefa da representação do conhecimento.

Os *frames* são uma rede de nós interligados onde se classificam os objetos do domínio como uma hierarquia, uma estrutura generalização-especialização, todo / parte ou apenas conexões. Cada nó representa um objeto que contém atributos.

#### **3.2.1.10 Motor de Inferência**

O motor de inferência determina a ordem com que serão processadas as informações, manipulando os dados a fim de inferir novos fatos, chegar a conclusões ou recomendar ações. Ele representa a forma de manipular o conhecimento, já representado na base, a fim de resolver o problema. Este mecanismo determina qual parte do conhecimento deve ser utilizada a cada momento da execução do sistema.

Um motor de inferência utiliza um tipo especial de conhecimento: o metaco-nhecimento, que é o conhecimento sobre o conhecimento do sistema. O metaco-nhecimento é adquirido e representado da mesma forma que o conhecimento do sistema. A diferença reside na forma com que ele é utilizado, por exemplo: quando o processo de encadeamento deve parar; qual parte do conhecimento deve ser analisado e em qual ordem. A decisão a ser tomada quanto ao motor de inferência também é consequência da aquisição de conhecimento.

Sendo assim, é necessário verificar como o motor de inferência deve manipular o conhecimento, ou seja, como aplicar as regras aos fatos de maneira que represente fielmente o raciocínio do especialista. A decisão é, finalmente, sobre a forma de encadeamento a ser aplicado para as regras.

Existem, basicamente, duas formas de encadear as regras: o encadeamento para frente e o encadeamento para trás (WATERMAN, 1986).

#### **3.2.1.11 Mecanismo de Justificativa**

Os mecanismos de justificativa são capazes de descrever a linha de raciocínio empregada no sistema, o conhecimento que explica como o sistema chegou às suas conclusões e justifica os passos utilizados no processo (INTERRANTE & BIEGEL, 1990).

Alguns dos objetivos dos mecanismos de justificativa são: ensinar o usuário sobre o assunto, mostrar que sua conclusão é consistente e lembrar o usuário dos elementos importantes da análise que levam o sistema à determinada conclusão. Este tipo de mecanismo torna o sistema mais confiável perante os usuários e ainda representa um mecanismo de simulação, pois a partir de uma alteração nos dados

de entrada, é possível verificar as conseqüências desta alteração no desenvolvimento do raciocínio.

#### **3.2.1.12 Interface com o Usuário**

No desenvolvimento de um sistema especialista deve-se pensar quem é o usuário alvo, qual é a sua formação e quais são os seus interesses. Normalmente o usuário não está interessado nas técnicas de programação da Inteligência Artificial.

Alguns SE contêm mecanismos de aquisição de conhecimento em tempo real que permitem que o usuário "converse" com o sistema. Outros SE permitem ao usuário acrescentar comentários voluntários durante a execução do sistema.

Genericamente, a interface deve ser clara, apresentar opções para esclarecer dúvidas, justificar suas perguntas e resultados.

#### **3.2.1.13 Aprendizagem**

Com a implementação de mecanismos de aprendizagem, procura-se manter o dinamismo dos especialistas humanos. O desenvolvimento de um sistema de IA pressupõe uma capacidade de atualização do mesmo. Este fato deve-se a uma analogia com a inteligência humana que só é reconhecida nos indivíduos com capacidade de aprendizagem (INTERRANTE & BIEGEL, 1990).

A aprendizagem nos sistemas computacionais é expressa pela modelagem e desenvolvimento dos seguintes processos: aquisição de novo conhecimento, desenvolvimento da capacidade de aprendizagem, representação efetiva do conhecimento e o uso de observação para descobrimento de novo conhecimento.

#### **3.2.1.14 Teoria dos Conjuntos Difusos**

Segundo Rabuske (1995), "existe em nossa comunicação cotidiana muita palavra e sentença com significado não preciso ou vago. Isto acontece porque, tanto quem fala como quem ouve, não necessita de informações mais precisas e está acostumado a lidar com tais tipos de imprecisão".

Interessado em representar tais imprecisões, o professor Lofti A. Zadeh, da Universidade da Califórnia, Berkeley, desenvolveu a teoria dos conjuntos difusos, publicando um primeiro artigo sobre o assunto em 1962. Zadeh tratou o assunto pela denominação *fuzzy sets*, que é traduzida para o português, como conjuntos difusos ou conjuntos nebulosos. O mundo real indica estas classes através da incerteza,

imprecisão ou do duvidoso. A teoria dos conjuntos difusos também permite que se tenha uma função característica, a qual é chamada de função de pertinência. Esta função de pertinência, em geral, assume valores no intervalo  $[0,1]$  e faz com que um objeto passe a não mais ser classificado como estritamente pertencente ou não a um conjunto, mas sim, designa seus graus de pertinência em relação a diferentes conjuntos (RAUTENBERG, 1996).

A função quantifica o quanto cada objeto pertence ao conjunto. Um exemplo, extraído de Welstead (1994), emprega a função trapezoidal, onde  $x$  representa o lucro anual (em milhões de US\$) de uma empresa. O lucro pode ser caracterizado como:

$$a) \mu_{\text{pequeno}}(x) = (4 - x)/2 \text{ se } 2 < x < 4, 0 \text{ se } x \geq 4 \text{ e } 1 \text{ se } x \leq 2$$

$$b) \mu_{\text{médio}}(x) = (x - 2)/2 \text{ se } 2 < x < 4, (8 - x)/2 \text{ se } 6 < x < 8, 0 \text{ se } 2 \geq x \geq 8 \text{ e } 1 \text{ se } 4 \leq x \leq 6$$

$$c) \mu_{\text{grande}}(x) = (x - 6)/2 \text{ se } 6 < x < 8, 0 \text{ se } x \leq 6 \text{ e } 1 \text{ se } x \geq 8$$

### 3.2.1.15 Sistemas de Regras de Produção (Eventos)

Os Sistemas de Regras de Produção foram os primeiros tipos de Sistemas de Raciocínio Lógicos. Esta linguagem de representação do conhecimento foi construída com base na idéia de que o processo de tomada de decisão humano poderia ser modelado por meio de regras do tipo **se condição então conclusões e ações**. Logo, as regras de produção podem expressar relacionamentos lógicos e equivalência de definições que poderiam simular o processo de raciocínio humano através de inferências sobre estas regras.

Os pares de condição-ação: Se condição (ou premissa ou antecedente) ocorre então ação (resultado, conclusão ou conseqüente) deverá (ou deveria) ocorrer.

Esta forma de representação pode ser vista como uma simulação do comportamento cognitivo de especialistas humanos, dos quais estes conhecimentos são mantidos de forma modular e com um alto nível de independência.

Esta linguagem de representação é chamada **regras de produção** pelo fato de que quando utilizadas com a modalidade de raciocínio progressivo produzem novos fatos e regras na Base de Conhecimento.

A programação baseada em regras usa um **Motor de Inferência** para manipular regras e fatos para produzir novos fatos.

Isto significa que pode, posteriormente, usar novas regras até chegar a um resultado final. As regras de produção podem ser representadas, estruturalmente, da seguinte forma: “**SE** [condições] “**ENTÃO**“ [conclusões] “**FAÇA**“ [ações]. Onde, a parte **SE** é uma lista de condições a serem satisfeitas, a parte **ENTÃO** é uma lista de conclusões e a parte **FAÇA** são ações a serem executadas.

Cada uma das condições da lista é verificada quanto a sua validade ou não e, caso todas forem satisfeitas, as conclusões consideradas serão verdadeiras e as ações da lista serão executadas.

#### 3.2.1.15.13.2.1.1.1 Características

Os Sistemas de Regras de Produção são linguagens de representação do conhecimento baseadas em regras.

São estruturalmente independentes e com conhecimentos separados onde uma variedade de esquemas de controles é utilizada. É uma forma bastante natural de representar o conhecimento de especialista humano.

#### 3.2.1.15.23.2.1.1.2 Componentes

Os Sistemas de Regras de Produção possuem três componentes básicos: memória de trabalho, base de regras e motor de inferência.

A memória de trabalho de um sistema consiste em uma coleção de assertivas (afirmações) verdadeiras. Ela possui um conhecimento volátil, dos quais fazem parte: as hipóteses e os objetivos atuais, o estado atual do problema, os resultados intermediários e a agenda com os conjuntos de possíveis regras a serem aplicadas.

A base de regras é o conjunto de sentenças (regras de inferência) que determinam as ações que devem ser tomadas de acordo com as percepções. Caracteriza-se pelos conhecimentos permanentes, dos quais fazem parte: os fatos, asserções, regras de produção, estratégias de resolução de problemas, estratégias de recuperação, conhecimento do problema e asserções relevantes e meta-conhecimento que são as estratégias de resolução de conflitos. O motor de inferên-

cia é a parte do sistema que determina o método de raciocínio (inferência) e utiliza estratégias de busca e resolução de conflitos.

### 3.2.1.15.33.2.1.1.3 Funcionamento

O funcionamento dos Sistemas de Regras de Produção é escalonado em três fases, que são: casamento, resolução de conflitos e execução.

Na fase de casamento o sistema, em cada ciclo, processa o subconjunto de regras satisfeitos pelos conteúdos atuais da memória de trabalho. Tradicionalmente ele possui uma forma ineficiente de unificação o que leva a utilização do algoritmo de "rete" (rede), que permite a eliminação de duplicações entre regras e elimina a duplicação ao longo do tempo.

Na fase de resolução de conflitos o sistema decide quais regras devem ser executadas. Podem ser utilizadas algumas estratégias de controle: a "não duplicação", que não permite a repetição da mesma regra nos mesmos argumentos duas vezes. A "recency", que visa preferir os elementos da Memória de Trabalho criados recentemente. A "especificidade", que visa preferir as regras mais específicas e finalmente a "prioridade de operação", que se prefere às ações de maior prioridade, especificada por alguma categoria. A última fase é execução das ações propriamente ditas.

## 3.3 Para quem fazer?

O monitoramento nas áreas de medição e vazões mínimas noturnas, como sugerido por Lambert, (1999), através dos bancos de dados da supervisão (automação), com a detecção *on-line* de anormalidades que possam sugerir um problema potencial, visa possibilitar ao usuário (operador) a visão apurada dos problemas.

O processamento e a análise, realizados pelo sistema estão baseados em um modelo elaborado por especialistas, retratando fielmente as decisões a serem tomadas na confirmação de uma anormalidade e resolução de problemas.

Com o sistema integrado é possível interpretar as informações geradas pelas fontes e indicar, de forma informatizada e automática, as melhores decisões e procedimentos de manutenção para a solução dos problemas eminentes do sistema.

As construções são focadas no setor de manutenção juntamente com o pessoal técnico que estarão operando o sistema. Nessas construções as opiniões e su-

gestões dos setores envolvidos devem ser analisadas e acatadas. Estarão envolvidos nestas construções, engenheiros de produção e conhecimento, especialistas, operadores e gestores de processos.

---

# Capítulo 4

---

## 4 SISTEMA DE MONITORAMENTO ESPECIALIZADO (SME)

Neste capítulo são descritas as etapas e os pontos considerados para o desenvolvimento do SME, a sua integração com a automação, com o gerenciamento dos processos de manutenção e demais processos.

Um primeiro ponto a ser considerado é a determinação de uma variável principal, que neste caso identificará o surgimento de problemas de manutenção emergentes. A vazão mínima noturna (VMN) é determinada como a variável principal neste estudo.

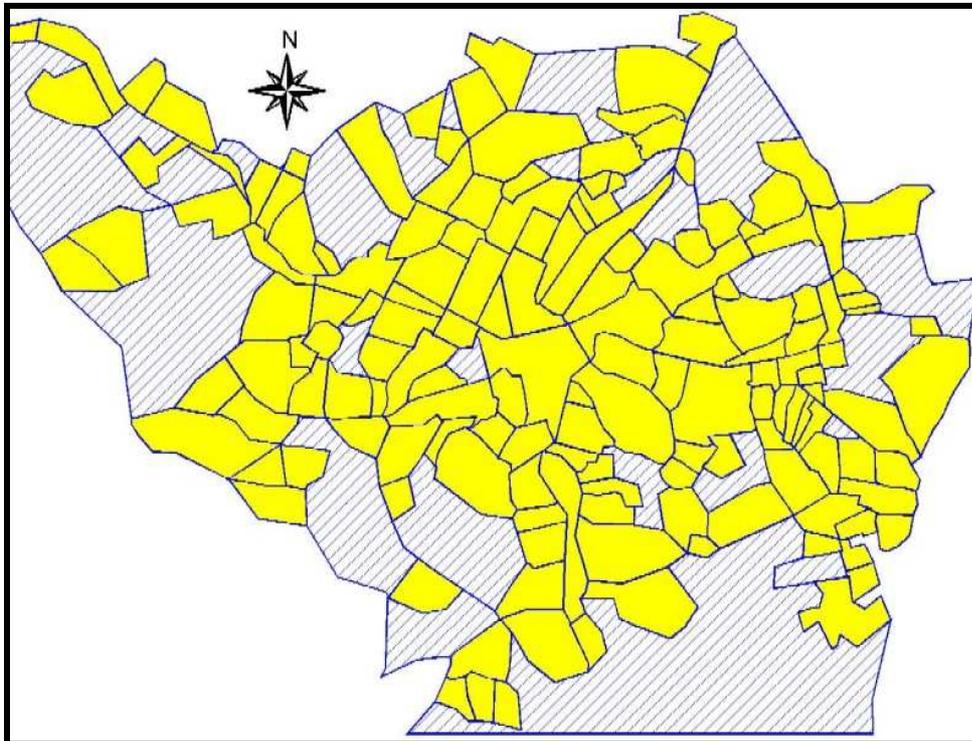
Ao dar início à construção do SME, é preciso considerar o sistema de automação, onde são coletados os dados de “chão de fábrica” e gerados os alarmes por gerenciamento do *software* supervisor. Além disso, deve-se preparar esses dados, para que sejam registrados sistematicamente em bancos de dados relacionais. Assim o sistema assume os dados principais como variáveis de entrada para definir as regras do seu sistema especialista. Essas variáveis são comparadas a outras advindas de outros sistemas de gestão. Depois disto, deve-se fazer a efetiva escolha das variáveis, nomeando-as e tratando-as como as variáveis de entrada. O maior volume de dados virá naturalmente do sistema automatizado, pois é um sistema que é atualizado automaticamente.

Faz-se necessário uma verificação para o uso das informações dos sistemas paralelos de gestão, os quais possuem em seus bancos, dados que serão compartilhados para compor a análise. Esses dados devem ser filtrados, evitando assim a sobrecarga com a construção de informações irrelevantes.

O sistema de geoprocessamento, como ilustrado na foto da figura 4, tem em seu banco de dados o registro das características populacionais, comerciais e geográficas da cidade e do sistema de abastecimento. Isto também deve ser compartilhado para que o sistema especialista possa utilizar esses dados com vistas à criação de padrões de referência para estruturar a geração de uma decisão. Este siste-

ma não necessita de atualização constante, pois as características de um sistema como este não se alteram radicalmente num curto espaço de tempo. Porém as delimitações das áreas de medição, número de ligações, população afetada pela manutenção, devem estar disponíveis para que o sistema especialista possa operar.

A figura 5 ilustra a divisão urbanística de uma cidade com os limites entre suas vilas e áreas desabitadas. Desta forma pode-se através de *softwares* de geoprocessamento e de seus bancos de dados, correlacionados com cadastro técnico, cadastro imobiliário e de consumo, aferir padrões de consumo dessas vilas e áreas, estimar população, número de ligações e comprimentos das redes de água.



**Figura 5. Mapa Temático – Divisão de Vilas**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

Como mostra a figura 6, as delimitações das vilas da cidade podem ser transpostas em foto de satélite com o objetivo de apresentar as informações de forma visual, tais como vegetação, principais vias que atravessam a cidade, além de ser uma interface amigável ao usuário.



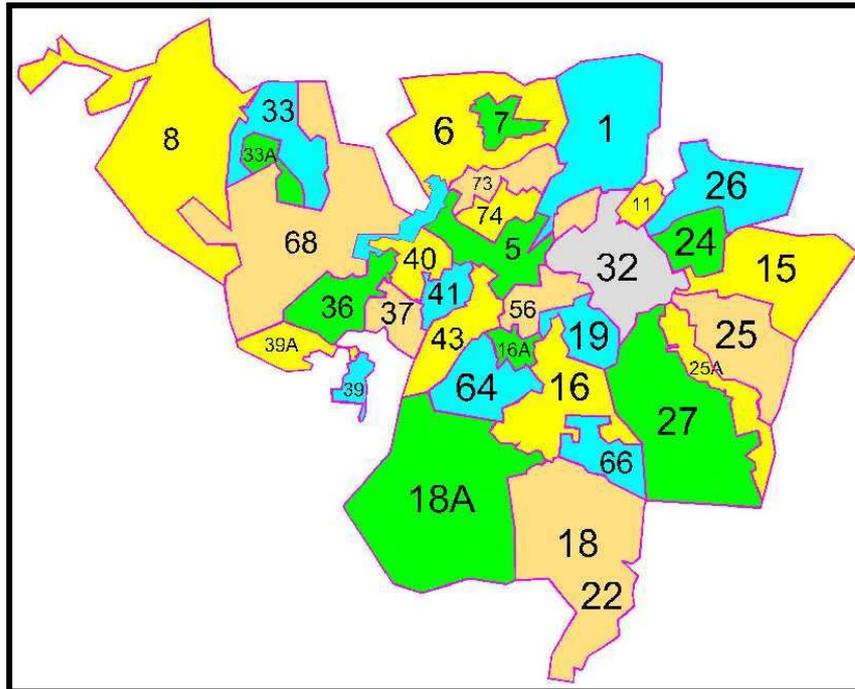
**Figura 6. Foto de Satélite com Divisão de Vilas**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

Da mesma forma, as figuras 7 e 8 têm uma construção similar à das figuras 5 e 6, respectivamente, porém apresentam a divisão das áreas de medição de vazão da cidade, onde serão concentrados os esforços do setor de manutenção, com base nas decisões apontadas pelo SME, relacionados à redução dos índices de perdas de água.

Sugere-se que todas essas construções sejam gráficas e por trás desta visualização ocorra o processamento das informações relevantes para o SME. Estas servirão de base para as inferências realizadas pelo sistema especialista.

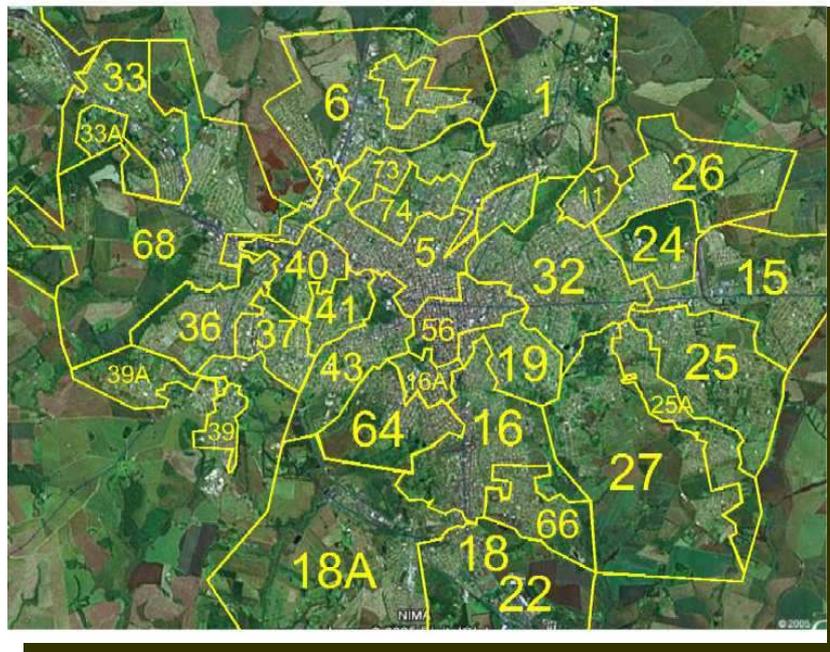
Na figura 7 estão apresentadas as delimitações das áreas de medição, conforme a estrutura hidráulica e dos instrumentos de medição instalados na automação, os quais fornecem dados *on-line* dessas áreas.



**Figura 7. Mapa Temático – Divisão de Áreas de Medição**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

A figura 8 mostra o resultado da transposição das delimitações da figura 6 na foto de satélite, possibilitando maior riqueza nos detalhes e informações gráficas adicionais.



**Figura 8. Foto de Satélite com Divisão de Áreas de Medição**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

É importante ressaltar, que os sistemas que interagem com o SME devem sofrer uma análise minuciosa com a intenção de padronização das informações. Quando o SME necessitar de um dado de qualquer sistema integrado, o formato desse dado deverá ser conhecido.

Logo, os sistemas existentes poderão sofrer alterações estruturais, visando padronizar os tipos de pesquisas que serão realizadas, formas de registros e interpretações das leituras por parte dos usuários. A verificação minuciosa dos formatos e a realização dos ajustes devem ser concluídas neste estágio.

O SME deverá possuir seu próprio banco de dados gerencial. Nele serão registradas as decisões sugeridas para uma intervenção, bem como as decisões tomadas e os resultados desta correlação. Assim o sistema pode utilizar esses resultados em futuras decisões ou sugestões, ou seja, as decisões tomadas no passado farão parte das regras do sistema especialista no futuro.

Na figura 9 é apresentado um modelo simulado do SME, com algumas regras do sistema especialista gerando uma decisão simulada.

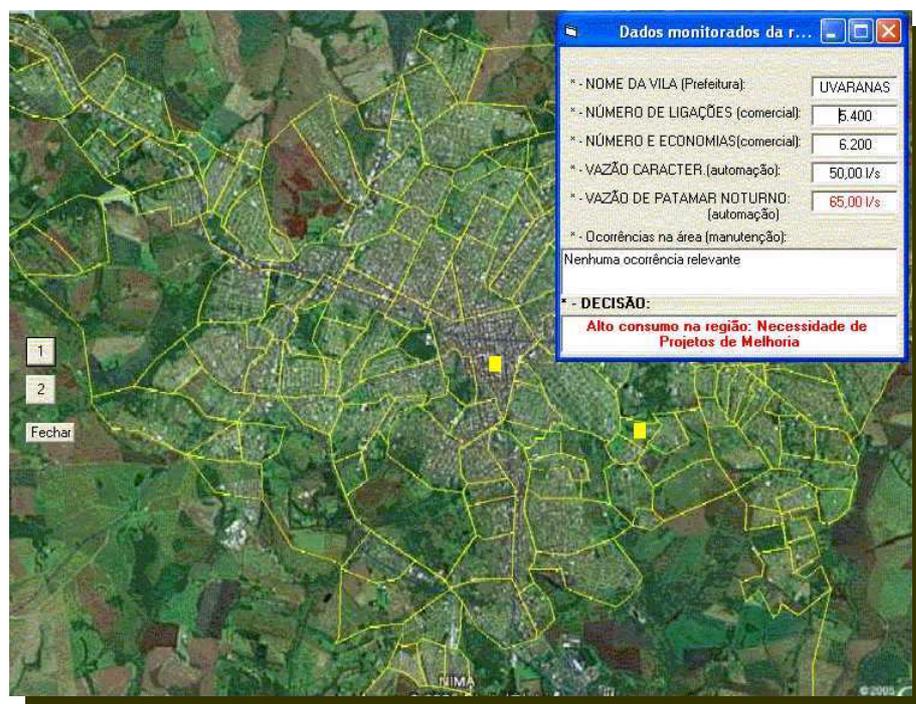


Figura 9. Simulação do Sistema - SME

Fonte: Elaboração própria, 2006

## **4.1 Arquitetura do SME**

### **4.1.1 Banco de Conhecimentos**

O sistema armazena as regras e padrões das situações ocorridas, bem como as decisões exercidas pelo setor de manutenção. São essas decisões que, confirmadas por seus resultados positivos, consolidam as regras e os padrões para o funcionamento e a eficiência do SME. Futuramente esses padrões podem sofrer modificações para cada nova situação ocorrida, podendo definir uma nova e assertiva decisão apontada pelo SME.

Esta base está registrada no SME em seu banco de dados principal, onde são consideradas apenas as informações referentes ao funcionamento e a consolidação.

### **4.1.2 Dispositivos de Inferência**

Para a tomada de decisão, o sistema deve aferir dados de outros bancos distribuídos por toda a empresa. Contudo a rede de computadores deve suportar tal tráfego.

Os dispositivos para as inferências devem ser cuidadosamente monitorados para que ao surgir uma falha de comunicação, essa falha não forneça falsas informações na decisão sugerida ou que possa ser descartada como inconsistente.

### **4.1.3 Linguagem**

A comunicação homem-máquina ocorre de maneira amigável nas interfaces gráficas, o que fornece informações necessárias para que o usuário possa tomar decisões.

Os detalhes sobre medidas técnicas e informações mais detalhadas, são disponibilizados apenas nos setores competentes para isso.

O SME limitar-se-á a analisar as informações e, com base em padrões e regras, informar ao usuário qual a decisão que ele deve tomar frente a uma situação que pode ou não ter ocorrido de forma similar no passado.

### **4.1.4 Programa base**

As técnicas utilizadas na extração do conhecimento estão voltadas para as experiências de especialistas e nas ocorrências registradas.

A posterior pesquisa e confronto dessas informações, com padrões e regras predeterminadas por esses mesmos especialistas, possibilitam a criação de regras mais consistentes.

#### **4.1.5 Saber Especializado**

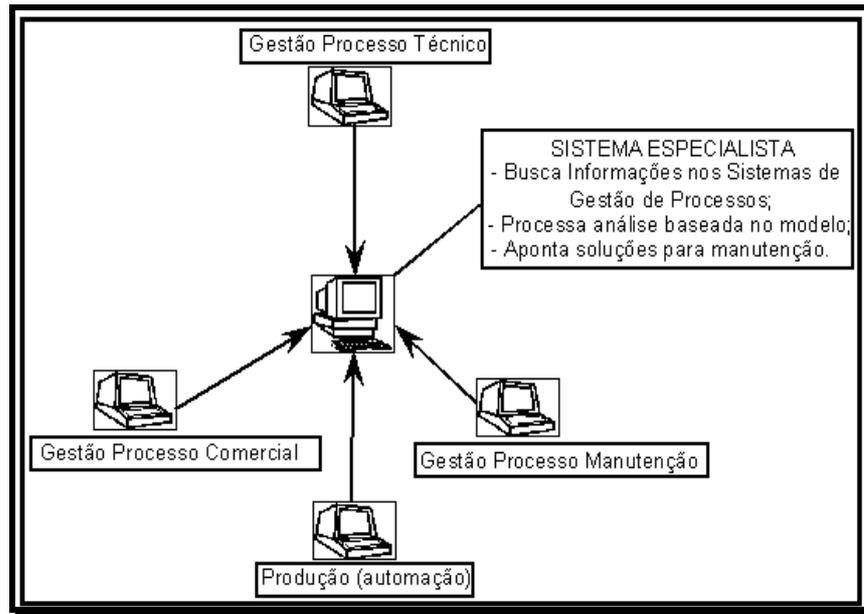
Antes da implantação do SME cada especialista, tradicionalmente, usa de variadas técnicas de manutenção para a resolução dos problemas nos setores de abastecimento. Com o registro das melhores técnicas, ocorre a padronização do saber especializado. Assim, esses especialistas podem utilizar técnicas padronizadas e testadas, após terem apresentado resultados eficazes.

#### **4.1.6 Sistema de Gestão**

Na gestão o SME procura proporcionar uma visão voltada para a aferição dos resultados de uma decisão tomada em face à sugestão do sistema e sua validação perante as regras, assim como o registro das ocorrências, as melhores técnicas e os resultados físicos e financeiros.

O funcionamento do sistema, como ilustrado na figura 10, está baseado nas seguintes condições:

- na monitoração do sistema de automação, com a ocorrência de problemas, detectados nos alarmes gerados a partir do centro de supervisão;
- na busca de informações sobre as atividades e ocorrências registradas na gestão dos processos inter-relacionados com o problema em questão;
- na análise e comparação de informações para a formulação de hipóteses, conforme regras e padrões, em face de decisões tomadas no passado. Decisões essas que deverão estar registradas no banco de conhecimento do sistema, assim como a nova decisão que será tomada e
- no apontamento da solução para o problema, como resposta à análise realizada, no modelo elaborado por especialistas e que indica a mesma solução se o analisassem pelo método tradicional.



**Figura 10. Arquitetura do SME**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

**Monitoração da automação** – Na monitoração automatizada pode-se alertar sobre um problema de vazão mínima noturna alterada, por exemplo:

O sistema supervisor da automação tem a finalidade de gerar alarmes no momento em que um indicador ou variável esteja fora do seu controle (*set-point*). O surgimento de um alarme não indica com certeza que há um problema eminente. Neste momento apenas considera-se esse alarme como um problema potencial (uma incipiência).

**Busca de informações** – As variáveis que poderão validar a ocorrência do problema estão em outros processos inter-relacionados com a causa da anormalidade e essas informações podem compor a análise para a formulação das hipóteses.

**Análise e formulação de hipóteses** – As variáveis de entrada do sistema trazem informações que possibilitam a análise e diagnóstico. A partir daí podem-se formular hipóteses que justifiquem a ocorrência, testá-las e compará-las às decisões tomadas frente a um problema similar (severidade).

**Sugestão de Decisão** – A sugestão para a decisão é apresentada através de uma interface gráfica com base nas regras do sistema especialista e ainda possibilitando o questionamento da decisão e ajustes no sistema quando necessário.

Com as definições acima consolidadas, o próximo passo está voltado para a construção do *software* que fará o processamento de todas as regras do modelo especialista e as inter-relações entre processos.

#### 4.2 Etapas da implantação do SME

Após o desenvolvimento do SME, é feita a implantação e um estudo de caso para aferir resultados e, através disso, validar a proposta.

É importante ressaltar que no caso estudado, a empresa possui o controle e gerenciamento de seus principais processos, além de um nível de automação, que permite a supervisão e geração de alarmes quando ocorrem anormalidades.

Todos esses processos possuem informações registradas em bancos de dados individuais. As etapas da implantação do proposto representam a execução de alguns passos necessários para garantir o funcionamento do SME, conforme ilustrado na figura 11:



Figura 11. Etapas para implantação do SME

Fonte: Elaboração própria, 2006

**Sistematização da informação** – O conhecimento do formato das informações geradas pelos processos paralelos existentes na empresa é imprescindível, como também fazer a análise de como estão registradas essas informações. Com isso, consegue-se definir uma linha de sistematização, validando ou aperfeiçoando os sistemas existentes, de modo que as informações geradas atendam às necessidades do SME e a análise possa ser processada de maneira eficaz.

---

**Construção do modelo de análise** - O modelo para o processamento da análise no sistema baseado em regras é moldado por especialistas da área, através das técnicas que utilizam a cada vez que se deparam com as situações problemáticas. O modelo será construído e testado conforme as experiências dos especialistas e transformado em regras para o sistema especialista contido no SME.

**Desenvolvimento de rotinas de programação** - As rotinas de programação, construídas em linguagens de alto nível, refletem o processamento dos passos indicados pelos especialistas para se chegar à solução do problema. A partir daí pode-se testar todas as hipóteses geradas na configuração de um problema e na sua resolução.

**Aplicação** - A aplicação ou implementação do SME está baseada em simulações e testes de funcionamento das intercomunicações entre os processos de gestão, os quais fornecem subsídios ao sistema principal. É possível deparar-se, neste momento, com alguns problemas relacionados aos ajustes nos processos de gestão, para que os documentos registrados por eles sejam fontes fidedignas de informação.

**Avaliação e acompanhamento** - Nesta etapa o sistema é avaliado e sofre constantes ajustes em qualquer uma das etapas anteriores, visando aperfeiçoar as diretrizes que nortearão o processo de análise do sistema especialista, as rotinas de programação, a estrutura das informações, as regras e os padrões.

---

# Capítulo 5

---

## 5 IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS

Com a construção do SME, através das etapas descritas nos capítulos 3 e 4 e com as especificidades da empresa em que foi realizado o estudo, pode-se implementar tal sistema e avaliá-lo em relação ao objetivo principal do trabalho.

Após a implantação do SME na empresa de abastecimento público de água da cidade de Ponta Grossa, torna-se possível pela verificação de resultados, sustentar a contribuição do desenvolvimento e da integração para a melhoria da gestão e prescrição de soluções.

Após cinco meses de funcionamento, o sistema indicou, através de seu banco de dados, que o índice de perdas de água apresentou redução. O comparativo destes e dos demais dados demonstra os ganhos e prejuízos dos cenários anteriores e posteriores à implantação.

Com o levantamento e discussão dos resultados, apresentam-se subsídios para a validação dos objetivos deste trabalho e assim construir generalizações importantes para a Engenharia de Produção.

A figura 12 demonstra a abrangência do sistema e indica o nome/número das áreas monitoradas na cidade. Trinta e seis áreas de medição de vazão estão monitoradas e seus dados constantemente registrados para análise das anormalidades ocorridas. As delimitações dessas áreas possibilitam a atuação eficaz na detecção e resolução de problemas relacionados à elevação da vazão mínima noturna, principal variável analisada. Nestas delimitações são utilizadas técnicas de geoprocessamento aplicadas ao cadastro técnico e bancos de dados comerciais, os quais propiciam o correto levantamento dos dados sobre as características das áreas de medição. Estas características são:

- número de ligações de água,
- número de economias de água,

- população estimada,
- consumo *per capita* de água desta população e das ligações,
- volume de água produzido para cada área, metragem de redes e diâmetros de dutos e
- volume estático estimado nas redes.

Ainda nestas delimitações foram correlacionadas as vilas com suas respectivas áreas de medição. A figura 12 apresenta o total de trinta e seis áreas monitoradas. Este é o universo de atuação do SME. A figura 13 traz uma visão de como o sistema da cidade de Ponta Grossa se apresentava em relação aos pontos monitorados, na implantação do SME.



Figura 12. Abrangência do Monitoramento Especializado em Ponta Grossa – 36 áreas

Fonte: Elaboração própria, 2006

Com esta apresentação tem-se a visão geral do monitoramento na cidade. A mesma possibilita num primeiro momento a macro visão dos problemas de manutenção que se sobressaem.

Logo após a implantação do SME, as áreas indicadas sofreram intervenções através das ações por ele indicadas.

Imediatamente, essas ações produziram resultados satisfatórios ou foram remodeladas em função de novas variáveis que passaram a influenciar o cenário.

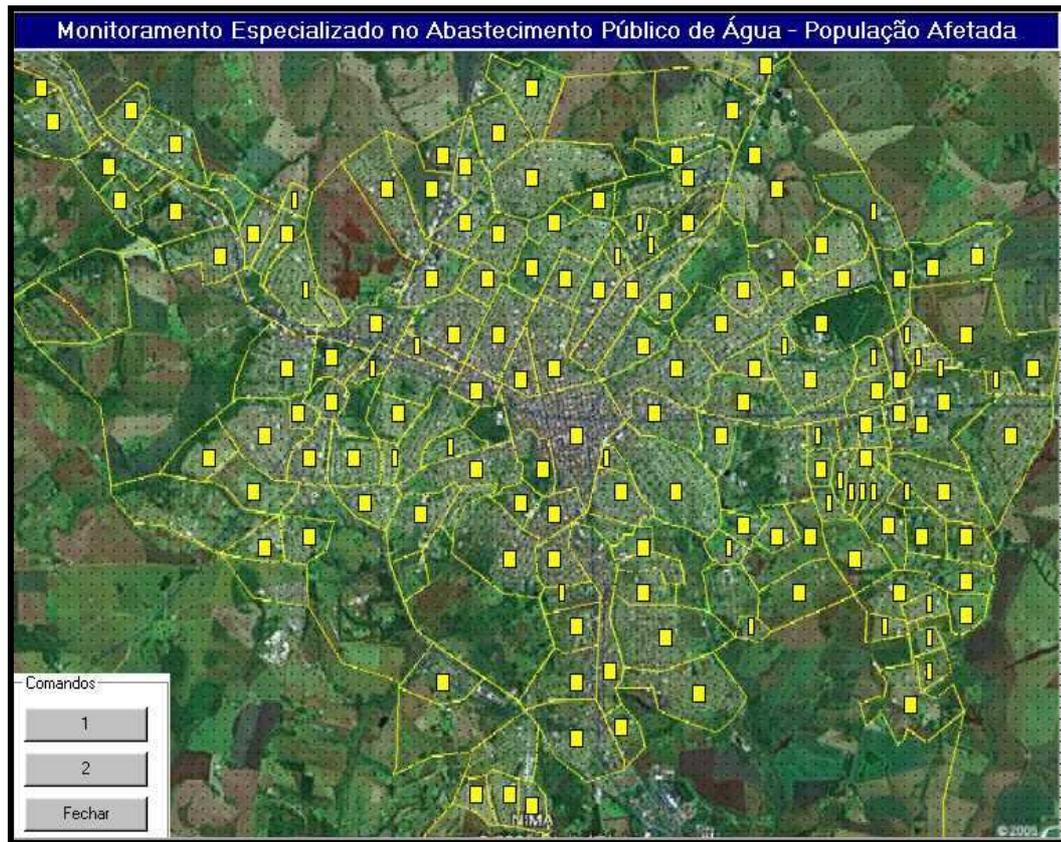


Figura 13. Situação na Implantação do SME – áreas para manutenção = 27 áreas

Fonte: Elaboração própria, 2006

Do universo apresentado, vinte e sete áreas se apresentavam com alguma anormalidade. Algumas necessitando de pequenas atuações sugeridas pelo SME e outras com necessidade maior de intervenções e ações a serem executadas.

A figura 14 demonstra a abrangência populacional e urbanística, através das delimitações de vilas contidas em cada área de medição. Com isso, pode ser delimitado o número de clientes da empresa que estão sendo afetados pelos problemas, bem como o grau de severidade e urgência das intervenções.



**Figura 14. Abrangência Populacional da Manutenção a ser realizada**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

No decorrer da operação do sistema foi necessário realizar alguns ajustes para que este se tornasse mais claro aos usuários do sistema.

A criação de legendas e separação da manutenção em dois tipos distintos (hidráulica e eletrônica) possibilitou a visão mais acurada das ocorrências.

Como demonstrado na figura 15, a indicação em “amarelo” que representa “Manutenção Hidráulica”, estabelece quais áreas devem sofrer intervenção direta, pois os níveis de vazão mínima noturna acusam a incidência de vazamentos frequentes e, conseqüentemente, desperdício de produto.

A indicação em “azul” representa áreas com problemas na automação (equipamentos eletrônicos). Este tipo de manutenção é específico e depende de mão-de-obra especializada.

Assim um alarme inconsistente não acontecerá, pois os tipos de manutenção são distintos e dependem de intervenção específica.

Já a indicação em “verde” significa área “em manutenção” e que, apesar disso, ainda apresenta disfunções em seu controle.

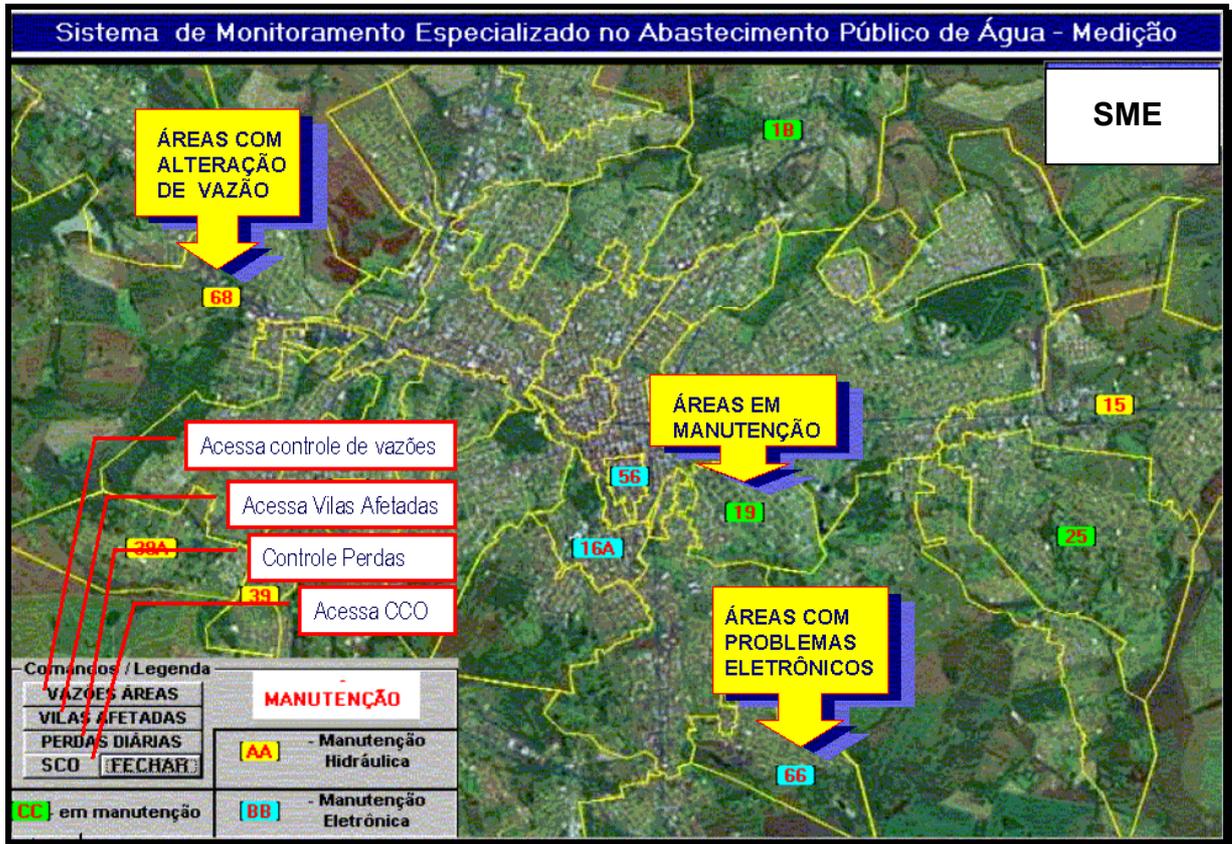


Figura 15. Sistema em Operação – tela principal

Fonte: Elaboração própria, 2006

Nos cinco meses em que o SME esteve em operação foram intensificadas ações de intervenção na manutenção.

Como apresentado na figura 16, de um universo de vinte e sete áreas que inicialmente apresentavam problemas (figura 13), após cinco meses, apenas dezoito apresentavam problemas. Isto demonstra o dinamismo do sistema em monitorar e controlar as ações focadas de manutenção tão logo sejam detectadas.

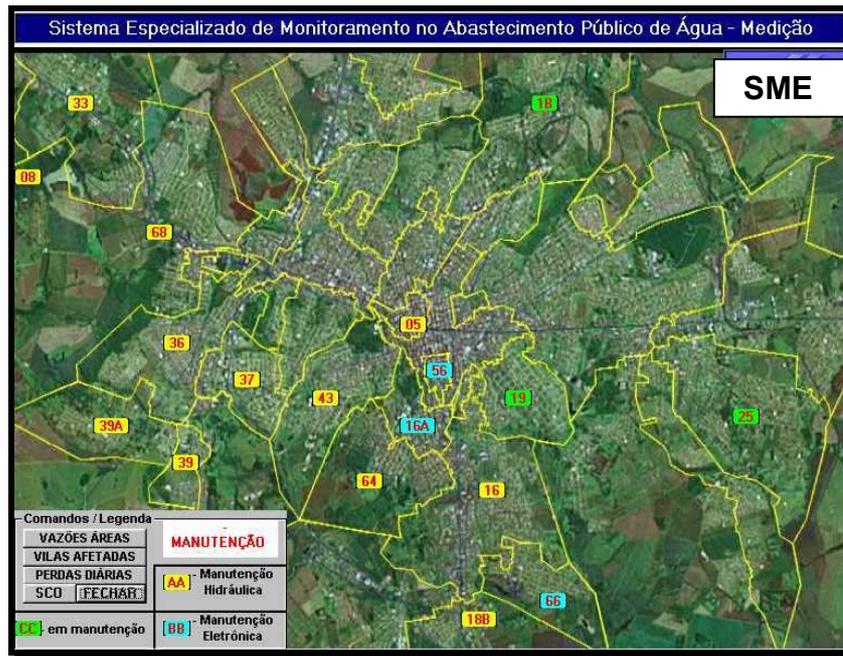


Figura 16. Situação após 5 meses de operação - 18 áreas

Fonte: Elaboração própria, 2006

A figura 17 apresenta referenciais concernentes às vilas e à abrangência populacional, correlacionadas às áreas monitoradas, e que têm desvio.



Figura 17. Sistema em Operação – Abrangência Populacional

Fonte: Elaboração própria, 2006

Na figura 18 pode ser visualizada a tela principal do sistema em operação. Um novo formulário de “Dados monitorados da região” é apresentado ao comando “MoveMouse”, na tela, que mostra informações específicas sobre a área em questão. Essas informações foram especificadas e normalizadas pelos especialistas, para que independente de turno ou supervisor sejam entendidas e estão listadas a seguir:

- nome ou número da área: exemplo: 01FT08 = transmissor de vazão (FT) número 08 da área número 01,
- nome da região: exemplo: Monteiro Lobato,
- número de ligações contidas na área,
- número de economias contidas na área,
- vazão admitida calculada em função das ligações,
- vazão aferida indicada pela automação e
- descrição de ocorrência externa e decisão a ser tomada ou ação de intervenção.

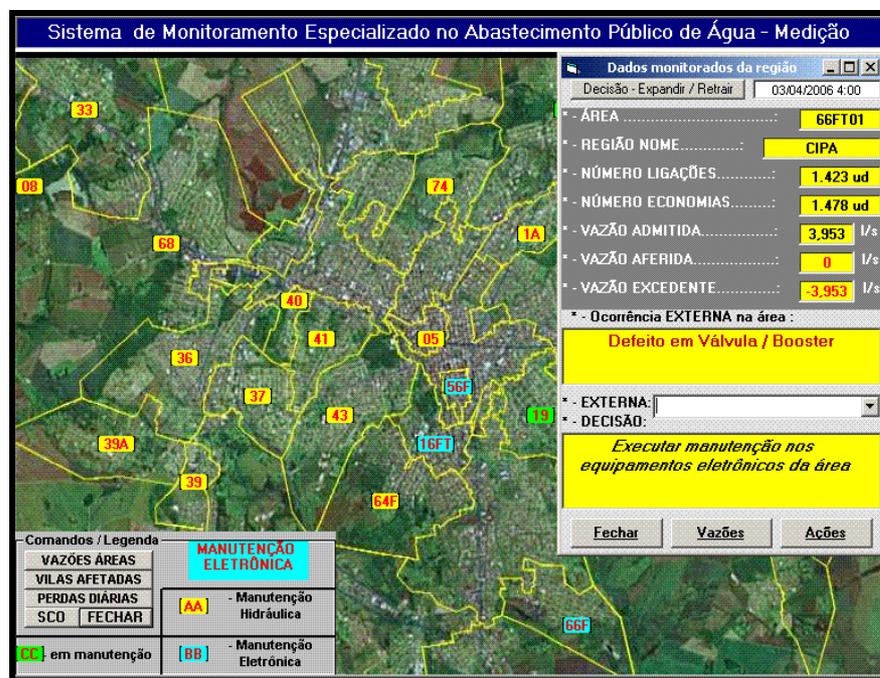


Figura 18. Sistema em Operação – Apresentação da Decisão

Fonte: Elaboração própria, 2006

Ao comando *click* na caixa de texto referente à decisão sugerida pelo sistema, é apresentada uma descrição de cada procedimento a ser adotado para o cumprimento da decisão, figura 19. Esta descrição representa a maneira de se executar o referido procedimento, conforme entendimento dos especialistas.

Esta fase representa o **modo explicação** de um Sistema Especialista, onde será possível se conhecer o caminho percorrido até chegar à decisão, bem como a maneira eleita como a mais adequada para se executar a ação.

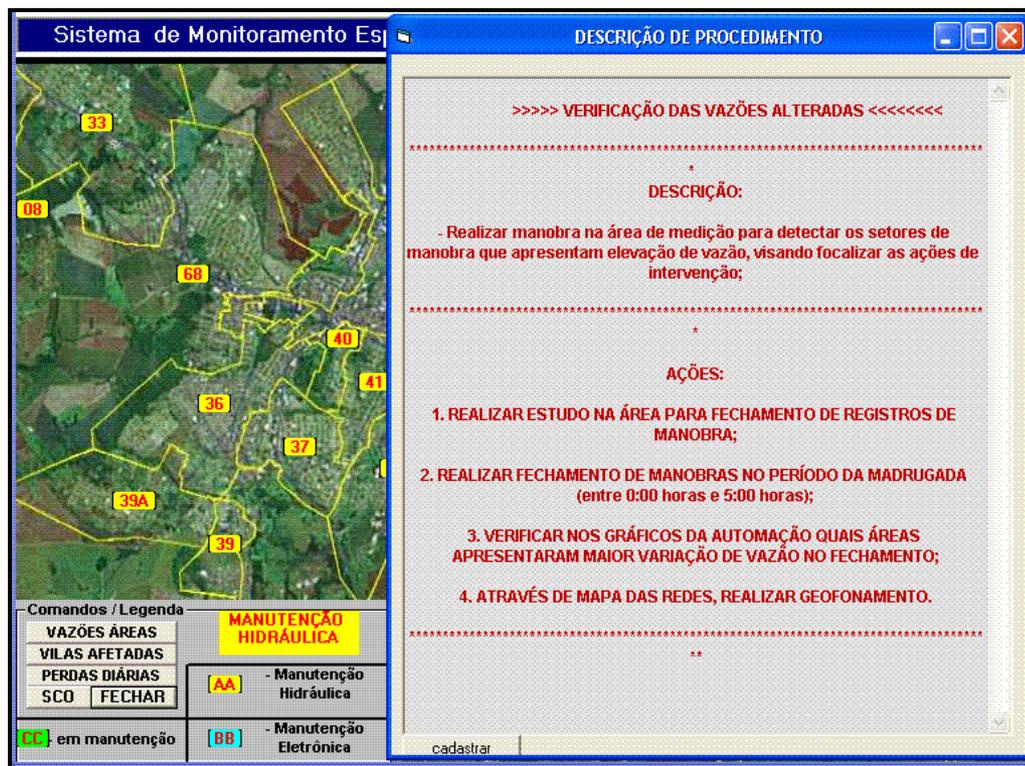


Figura 19. Descrição dos Procedimentos

Fonte: Elaboração própria, 2006

O **modo de consulta**, onde as informações devem alimentar as entradas para o SE, acontece através das intercomunicações entre os bancos de dados, ou seja, a integração do SME com os demais sistemas de gestão da empresa.

As informações são coletadas nos bancos através da rede de computadores e atualizadas automaticamente.

O usuário insere informações após as ações serem executadas. Isto inicia um novo processo em análise, conseqüentemente, uma nova decisão.

Na tabela 4, estão representadas as regras que são a estrutura para a análise que o SE realiza. São simbolizadas através de códigos conforme o grau de prioridade.

Ocorre uma função lógica e intercomunicações entre as variáveis. As letras A, B e C, aqui representadas se correlacionam, assumindo as três principais variáveis de entrada, sendo que uma dessas variáveis (letra C – variável de realimentação) representa uma decisão tomada em estágio anterior da manutenção ou intervenção executada no passado. A variável representada pela letra “X”, tem seu valor nulo na correlação, ou seja, qualquer que seja a situação assumida por ela, não terá maior peso ou prioridade em relação às outras. Assim, nesta situação existe apenas uma correlação entre duas variáveis, o que anula aquela simbolizada pelo “X”, ou ainda ocorrer a situação em que apenas uma variável define a decisão final.

Tabela 4. Regras do Sistema Especialista

REGRAS DO SISTEMA ESPECIALISTA					REGRAS DO SISTEMA ESPECIALISTA				
ITEM	A	B	C	DECISÃO	ITEM	A	B	C	DECISÃO
1	1	0	0	1	21	1	4	3	4
2	1	0	1	1	22	1	4	4	5
3	1	0	2	2	23	1	4	5	6
4	1	0	3	1	24	1	4	6	6
5	1	0	4	1	25	1	5	0	1
6	1	0	5	1	26	1	5	1	2
7	1	0	6	1	27	1	5	2	2
8	1	1	X	4	28	1	5	3	4
9	1	1	7	0	29	1	5	4	5
10	1	2	0	4	30	1	5	5	5
11	1	2	1	4	31	1	5	6	6
12	1	2	2	4	32	1	6	0	4
13	1	2	3	4	33	1	6	1	4
14	1	2	4	5	34	1	6	2	4
15	1	2	5	6	35	1	6	3	4
16	1	2	6	6	36	1	6	4	5
17	1	3	X	0	37	1	6	5	6
18	1	4	0	1	38	1	6	6	6
19	1	4	1	1	39	2	X	X	7
20	1	4	2	2	40	3	X	X	4

**X = qualquer ocorrência**

**A = STATUS**  
 0 = Normal  
 1 = Vazão Alta  
 2 = Defeito Eletrônico  
 3 = Em manutenção

**B = EXTERNA**  
 0 = Obra Prefeitura  
 1 = Nenhuma Relevante  
 2 = Manobra de área  
 3 = Defeito Válvula / Booster  
 4 = Melhorias Hidráulicas  
 5 = Obras esgoto  
 6 = Em manutenção

**C = DECISÃO**  
 0 = Normal alto consumo  
 1 = Verif. Ruas e galerias  
 2 = Verif. Ramais e cavaletes  
 3 = Limpeza registros  
 4 = Verif. manobra patamar  
 5 = Geofonamento  
 6 = Verif. fraudes  
 7 = Verif. Equip. Eletrônicos

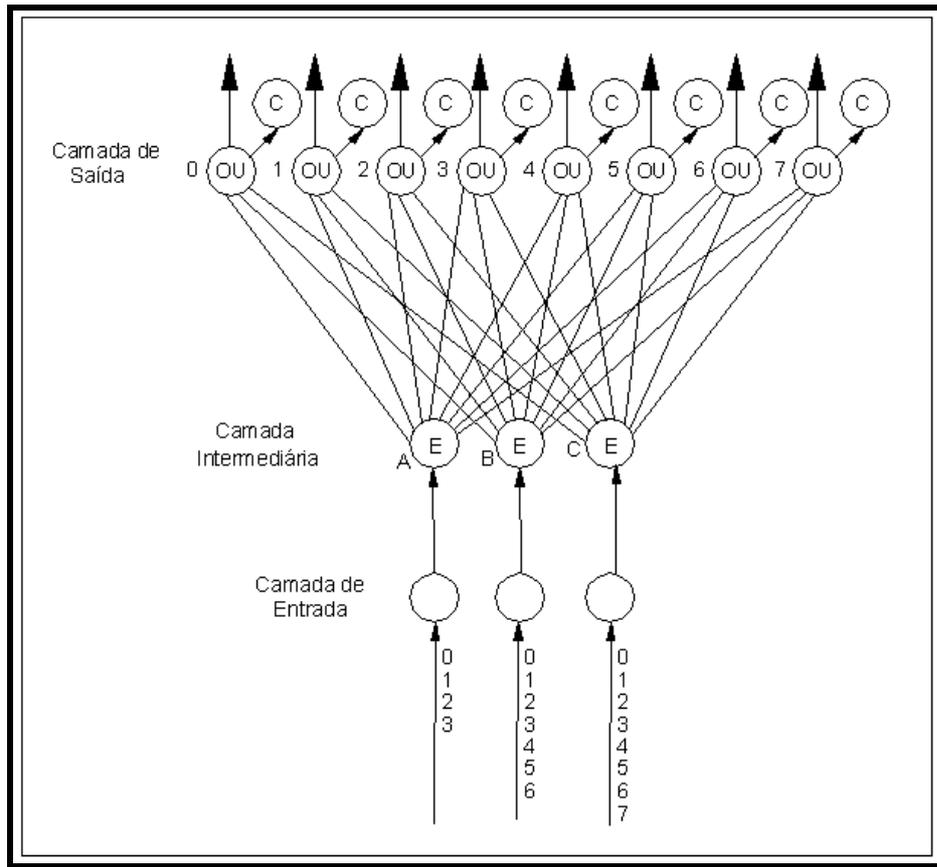
Fonte: Elaboração própria, 2006

Assim, a rede semântica do SME pôde ser construída para representar as correlações lógicas entre as variáveis da tabela 4.

A figura 20 ilustra esta rede e identifica a camada de entrada (variáveis informadas pelos sistemas paralelos de gestão), a camada intermediária (função lógica

de correlação entre as variáveis) e a camada de saída (decisões sugeridas pelo sistema), as quais realimentam o SE, através da variável representada pela letra “C”.

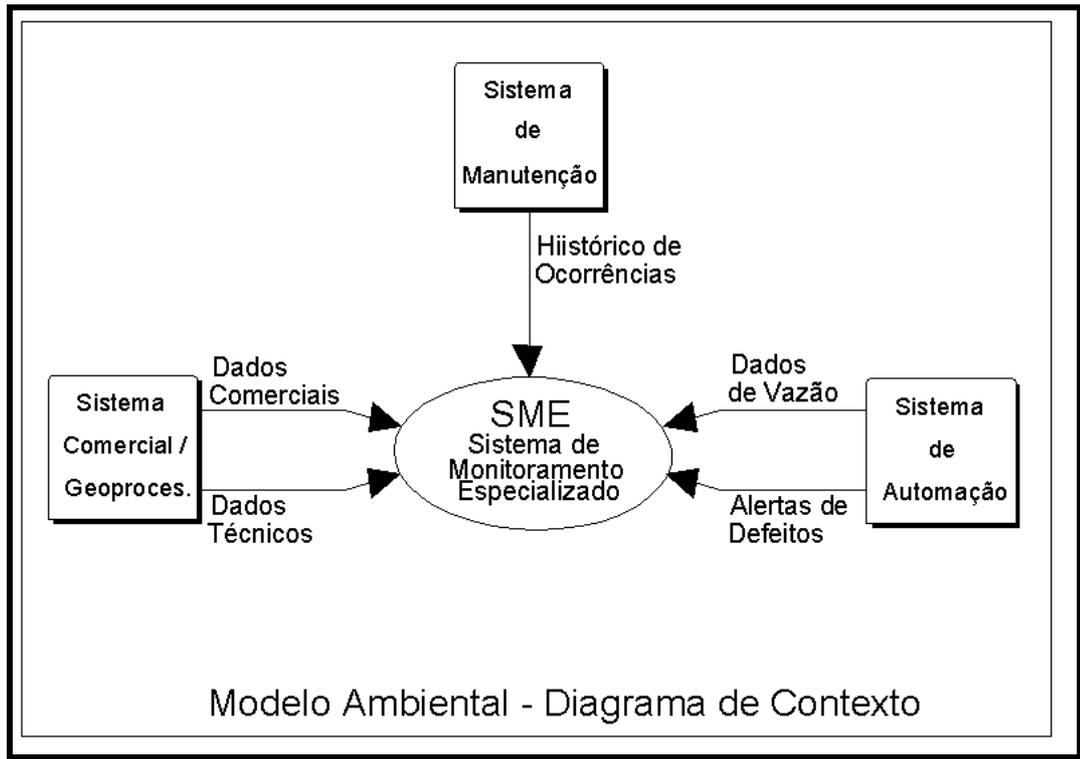
Esta rede representa o **motor de inferência** do SE, onde o conhecimento será manipulado através de combinações lógicas e relações predefinidas entre essas variáveis.



**Figura 20. Rede Semântica do SME**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

Na figura 21 têm-se um diagrama de contexto com a representação dos principais sistemas integrados e quais dados serão fornecidos por eles ao SME.



**Figura 21. Diagrama de Contexto**

*Fonte: Elaboração própria, 2006*

A partir da tela principal (figura 15) podem ser acessadas outras telas e formulários de controle e gestão do sistema.

O formulário da figura 22, desenvolvido para apontar as vazões de patamar noturno (consumo noturno das ligações ou horário em que a população tem seu menor consumo e os vazamentos são mais visíveis), indica aquelas que estão acima do valor admitido. Este formulário apresenta informações gráficas sobre as áreas que estão acima do patamar admitido nos horários críticos (em vermelho) e as áreas que estão em manutenção (caracteres em azul). Ainda é possível inserir a identificação do interventor responsável pela execução das ações. Assim fica explícita a visão detalhada do usuário do SME em relação às áreas e o comportamento ao longo do tempo, pois no canto superior esquerdo do formulário é possível selecionar uma ou várias outras datas anteriores ao monitoramento atual, as quais compõem o banco histórico do sistema.

MONITORAMENTO DO PATAMAR NOTURNO DE PONTA GROSSA - URPG														
UVARANAS 1							UV.2		DISTRITO INDUSTRIAL					
Perdas	08FT01	R.Verde 26FT01	T.Mendes 25FT01	J.Thomé 25FT02	S.Camp 27FT01	Uvarana 32FT01	31Março 11FT01	M.Otilia 18FT01	S.Marta 18FT02	Cipa 66FT01	Distrito 22FT01	Vendram 18FT03		
Status	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	
	4,722	1,111	11,38	3,333	2,777	20,833	2,222	18,88	7,777	0	1,944	1,944		
4:00	55	7,777	4,722	1,111	10,83	3,333	2,777	21,944	2,5	18,33	6,944	0	1,944	1,666
5:00	52,5	7,777	4,444	1,111	11,38	3,333	3,055	19,167	2,222	18,33	6,944	0	2,222	1,944
Admitido	50,00	6,503	4,82	2,96	7,694	5,158	6,275	23,00	2,786	23,00	7,43	3,95	2,00	3,00

PIRIQUITOS							OFICINAS							
HORA	Piriquito 08FT01	Borato 33FT01	Congonh 68FT01	S.Paula 36FT01	Terezinha 39FT01	Shangril 39FT02	Maracan 37FT01		ner 16FT01	estrela 16FT02	Oarias 19FT01	América 64FT01	Ronda 43FT01	
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	
3:00	4,444	9,166	25,55	25,55	3,055	3,888	7,5	2,777		57,5	0	12,5	5,277	9,722
4:00	4,444	9,444	25,27	24,16	2,777	3,888	7,222	2,777	5,555	55	0	12,5	4,444	9,166
5:00	4,444				3,055	3,611	7,222	2,777	5,555	54,44	0	12,5	4,444	9,444
Admitido	3,061				2,019	2,275	3,983	1,70	4,31	56,00	9,00	6,492	5,039	6,92

PALMEIRINHA												
HORA	CentroH 05FT01	C. 56FT01	05FT	CentroB. 05FT			Carvalho 01FT06	Esplana 07FT01	NSGraça 49FT01	Palmeir. 73FT01	Liane 74FT01	M.Lobato 01FT08
	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)	(l/s)
3:00	9,722	0	0				2,777	1,944	10	4,444	11,66	23,51
4:00	8,888	0	0				2,5	1,944	10	4,444	11,11	23,33
5:00	7,777	0	0				2,222	1,944	10	4,444	11,38	23,05
Admitido	4,30	1,239	28,072				2,064	4,322	10,717	4,383	10,86	18,47

Figura 22. Formulário de Controle de Patamar Noturno

Fonte: Elaboração própria, 2006

A partir da tela, mostrada na figura 22 ou da tela principal, figura 15, pode-se acessar o formulário de gestão das ações de intervenção, figura 23, onde são registradas as informações detalhadas do que está sendo executado assim como os resultados aferidos a cada manutenção realizada.

No formulário da figura 23 estão registradas as decisões executadas numa intervenção, decisões essas sugeridas pelo sistema especialista listadas no item “Procedimento”.

Também estão visíveis neste formulário:

- o índice de perdas da área,
- as vazões aferidas no dia do acesso,
- a data de início das intervenções de manutenção e
- os resultados obtidos da data de início do processo de manutenção até a atual.

As “Anormalidades encontradas” compõem o banco histórico, analisado futuramente pelo sistema quando um novo indicativo for percebido nesta mesma área, assim como o histórico de vazamentos, oriundo dos registros do setor de manutenção operacional, integrado ao SME.

**SME**

**MONITORAMENTO E RESULTADOS**

**VOLUME RECUPERADO PELA INTERVENÇÃO**  
05.00 l/s

**PROCEDIMENTOS EXECUTADOS**

**PROBLEMAS ENCONTRADOS**

**INTERVENÇÕES REALIZADAS**

**HISTÓRICO DE VAZAMENTOS**

DATA	CÓD.	PROTOCOLO	DESCRIÇÃO
03/03/2006	1380	2006022813151055	RUA PROFESSORA JUDITH SILVEIRA, 318
03/03/2006	1380	2006022813141055	RUA OPERÁRIOS, 273
03/03/2006	1380	2006022813131055	RUA PIAUÍ, 118
07/03/2006	1750	2006030710290700	RUA JOÃO M. GARCEZ, 186
07/03/2006	1750	2006030711250700	RUA HORÁCIO DRIPA, 549
07/03/2006	1380	2006030710451201	RUA MATO GROSSO, 524
08/03/2006	1380	2006030817110700	RUA DARIO VELOSO, 1462
08/03/2006	1380	2006030817250700	RUA HUMBERTO DE CAMPOS C/WENCESLAU BRAZ

Figura 23. Formulário de Controle dos procedimentos e aferição de resultados

Fonte: Elaboração própria, 2006

Na figura 24 é apresentado um exemplo de verificação por decisão de “Manobra de área” (item 4 do procedimento da figura 23). Neste gráfico, registrado pela automação, foram verificadas as sub-áreas que representam uma redução significativa de vazão ao fechamento de um registro de manobra desta sub-área. Com isso é possível concentrar as ações de pesquisa por vazamentos, na sub-área, que agora é restrita e garantir a eficácia e rapidez das intervenções de manutenção. Isto delimita a área-alvo, tornando-a menor e com melhores possibilidades de atuação eficiente, sem que se perca muito tempo na execução da manutenção.

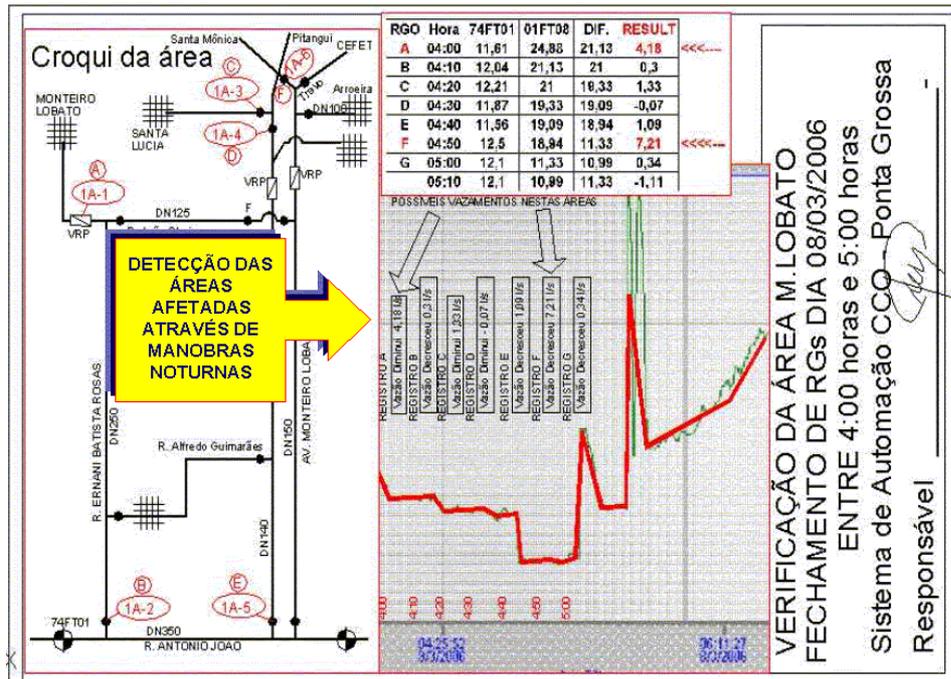


Figura 24. Exemplo do procedimento de manobra de área

Fonte: Elaboração própria, 2006

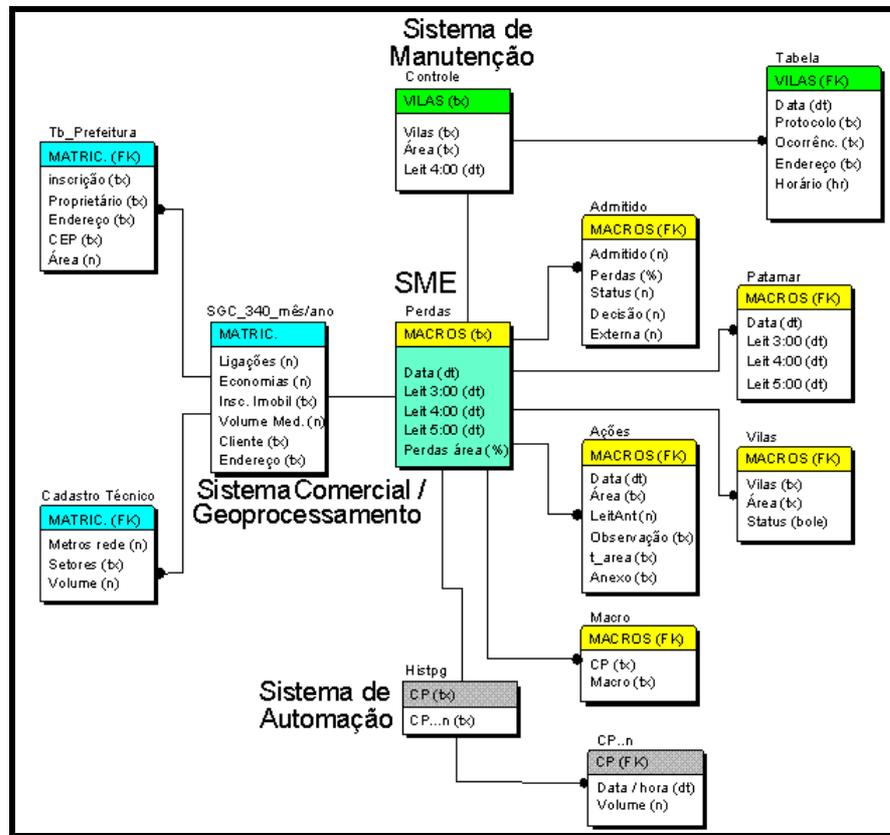


Figura 25. Modelo Entidade Relacionamento (MER) do SME

Fonte: Elaboração própria, 2006

Na figura 25, a ilustração representa o Modelo Entidade Relacionamento do SME com os bancos dos outros sistemas paralelos de gestão, através da nomenclatura de suas tabelas e relacionamento entre elas. Neste modelo são representados apenas os dados que são necessários ao funcionamento do SME, que são pesquisados em tabelas correlacionadas de bancos de outros sistemas e assumem características de variáveis de entrada para o SE.

No quadro 4 são realizadas comparações entre as atitudes, procedimentos e os passos seguidos por um especialista ao se deparar com problemas de alteração nas vazões das áreas de medição com os procedimentos embutidos no SME que visam atender às mesmas necessidades, bem como as comparações de tempo gasto para a realização de cada ação. Com essas comparações é possível perceber as diferenças e vantagens da implantação de um sistema como o SME.

Para levantamento dessas comparações foram realizadas pesquisas junto aos especialistas do caso estudado, com o objetivo de ressaltar as rotinas de trabalho do especialista na resolução de problemas.

Para cada especificidade é necessário rever estas rotinas com vistas a alinhar o sistema com as necessidades geradas para cada problema específico.

Assim pode-se ter uma visão das vantagens do SME em relação ao método tradicional de resolução dos problemas relacionados à redução do índice de desperdício no abastecimento público de água.

Quadro 4. Comparação das ações do especialista com o SME

NECESSIDADE	AÇÃO		TEMPO	
	Como o Especialista FAZ	Como o sistema SME FAZ	Especialista	SME
1. Conhecer o número de ligações ou economias, consumo característico, características urbanas e comerciais, existentes nas áreas;	1. Delimita e solicita ao setor de geoprocessamento e cadastro técnico o levantamento do número de ligações / economias para as áreas de medição;	1. Consulta automaticamente o Banco de dados do geoprocessamento, cadastro técnico e cadastro comercial o número de ligações/economias e as características necessárias para as áreas de medição;	1 dia	2 h
2. Conhecer a vazão mínima noturna ADMITIDA para as áreas de medição;	2. Calcula com base nos dados levantados, a vazão mínima para as áreas;	2. Calcula através de função matemática, os valores baseados nos dados extraídos dos bancos de dados do geoprocessamento / comercial;	2 h	<1 min.
3. Conhecer a vazão mínima noturna REAL das áreas;	3. Faz levantamento dos valores médios de vazão, através dos gráficos históricos gerados pelo sistema de automação, para as áreas;	3. Faz o levantamento dos valores médios de vazão diariamente, através dos bancos de dados integrados do sistema de automação;	1,5 dias	1 dia
4. Conhecer a existência de ocorrências externas das áreas medição;	4. Faz o levantamento de manutenção, verifica registros de ocorrências externas;	4. Possui formulário para registro de ocorrências externas mais relevantes;	5 min.	Automát

NECESSIDADE	AÇÃO		TEMPO	
	Como o Especialista FAZ	Como o sistema SME FAZ	Especialista	SME
5. Conhecer se já não está sendo executada alguma ação nas áreas de medição;	5. Faz levantamento no setor de manutenção para verificar registros de ações executadas;	5. Possui formulário para registro de ações executadas;	5 min.	Automát
6. Alertar setor responsável pela manutenção para que tome providências quanto às áreas que apresentam aumento da vazão noturna;	6. Notifica o setor de manutenção para a execução da ação e procedimento de correção;	6. Fornece a decisão de maneira automatizada ao setor de manutenção;	5 min.	Automát
7. Registrar e acompanhar as ações que estão sendo executadas, bem como seus resultados;	7. Realiza aferição dos resultados através de acompanhamento em planilha eletrônica;	7. Possui formulário para registro de ações executadas e acompanhamento dos resultados;	1 dia	Automát
8. Conhecer o histórico dos problemas encontrados nas áreas de medição para futura análise;	8. Constrói o histórico dos problemas encontrados nas áreas através de planilhas eletrônicas;	8. Possui o registro sistemático de histórico dos problemas encontrados nas áreas;	Diariamente	Automát

NECESSIDADE	AÇÃO		TEMPO	
	Como o Especialista FAZ	Como o sistema SME FAZ	Especialista	SME
9. Conhecer o histórico das vazões mínimas noturnas das áreas de medição para construção das suas características;	9. Constrói o histórico das vazões mínimas das áreas, através de planilhas eletrônicas;	9. Possui o registro sistemático de histórico das vazões encontradas nas áreas;	Diariamente	Automát
10. Monitorar com frequência e realizar o procedimento em todas as áreas;	10. Monitora as vazões mínimas das áreas, através de planilhas eletrônicas;	10. Monitora automaticamente as vazões noturnas das áreas;	Diariamente	Automát

Fonte: Elaboração própria, 2006

O quadro 5 apresenta alguns dos principais serviços de manutenção na empresa estudada, num período de aproximadamente 6 meses, decorrentes de planos de ação tradicionais para recuperação nos índices de desperdício.

Na sua maioria são manutenções corretivas, realizadas por terceirizações e são basicamente as atividades cotidianas da empresa em manutenção. São relacionados serviços de manutenção estratégica, realizados de acordo com os planos de ação elaborados no Plano de Gestão da Unidade. Manutenções que visam melhorar e prevenir futuros problemas com a disponibilidade do abastecimento.

Podem ser citados exemplos: novas tubulações decorrentes de projetos de ampliação e melhoria e instalação de medidores de vazão na automação para subsidiar novos estudos de projetos, ou seja, a manutenção que busca estrategicamente alcançar e manter as condições ideais de suprimento de água para a cidade.

Os dados estatísticos de serviços de manutenção representam 173 dias (quase seis meses).

No quadro 5 podem ser visualizados dados referentes aos serviços de manutenção, e as frequências nos 173 dias apurados, bem como a frequência diária e acumulada de ocorrência dos serviços de manutenção agrupados por códigos de 1 a 13, e ainda, a média de serviços diários e nos 173 dias.

O objetivo desses levantamentos é demonstrar a atuação da manutenção no sistema de abastecimento, ressaltando os serviços que estão diretamente ligados ao combate do desperdício.

**Quadro 5. Dados Estatísticos da Gestão de serviços de manutenção – 2004**

RESUMO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO NA SANEPAR PONTA GROSSA		
SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO 01/04/2004 a 20/09/2004	EXECUTADOS em 173 dias	MÉDIA DIÁRIA
1- Substituição de ligações de água	190	1
2- Vistoria por falta d'água	306	2
3- Descargas em redes de água	322	2
4- Manutenção em redes de Ferro	420	2
5- Reconstituição de Pavimentos	435	3
6- Padronização de cavaletes	466	3
7- Troca de material vedante	581	3
8- Conserto em redes de água	745	4
9- Vistoria e manutenção de vazamentos	1.185	7
10- Manutenção em redes de esgoto	1.457	8
11- Conserto em Cavaletes	1.875	11
12- Conserto de ramal de água	2.212	13
13- Troca Hidrômetros antigos	3.777	22
Total de manutenções corretivas / preventivas	13.971	81
Total de serviços (Manutenção Estratégica)	32.034	185
fonte: SGC Sanepar - Relação de Serviços executados 01/04/2004 a 20/09/2004		

<b>Distribuição das Frequências dos Serviços de Manutenção</b>			
Códigos dos Serviços	Frequência diária	Frequência em 173 dias	Frequência Acumulada
[1 -2 [	1	190	190
[2 -3 [	2	306	496
[3 -4 [	2	322	818
[4 -5 [	2	420	1.238
[5 -6 [	3	435	1.673
[6 -7 [	3	466	2.139
[7 -8 [	3	581	2.720
[8 -9 [	4	745	3.465
[9 -10[	7	1.185	4.650
[10-11[	8	1.457	6.107
[11-12[	11	1.875	7.982
[12-13[	13	2.212	10.194
[13]	22	3.777	13.971
Total	81	13.971	
Media	6	1.075	

Fonte: SANEPAR, 2004

Nas figuras 26 e 27, a seguir são apresentados: o Histograma das frequências e o Polígono de Frequências da série. Percebe-se pela análise estatística que a média de serviços está entre os códigos 8 e 9, a saber:

- conserto em redes de água, vistoria e manutenção de vazamentos, respectivamente e que a maior ocorrência de serviços tanto diários como acumulados nos 173 dias estão no código 13 (Troca de hidrômetros antigos), que é uma ação estratégica de manutenção do plano de gestão elaborado para a unidade.

Isto representa o esforço da empresa em recuperar, através de diversas ações, os índices de desperdício que tiveram elevação neste período.

Essas observações sugerem a real necessidade de uma ferramenta que complemente a atual situação dos sistemas de automação e gestão de manutenção para minimizar a ocorrência desses serviços no caso estudado.

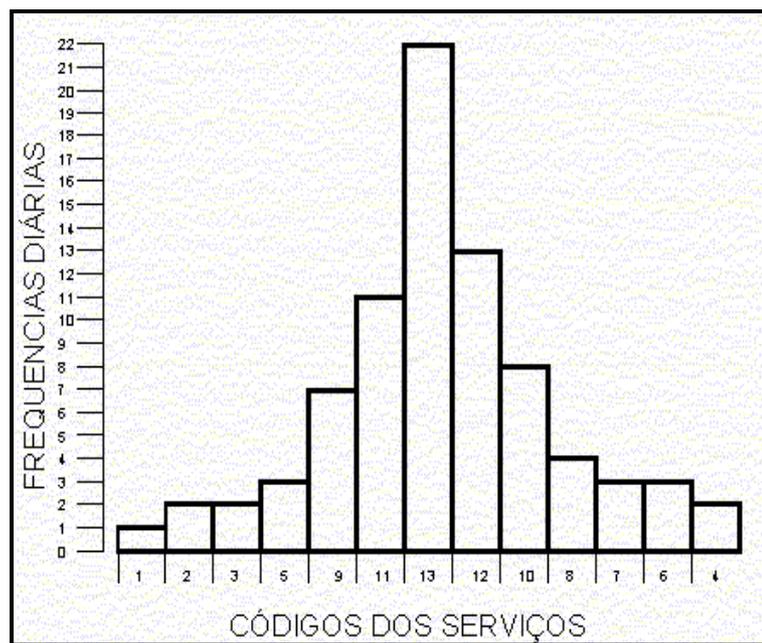


Figura 26. Histograma dos serviços de manutenção – 2004

Fonte: SANEPAR, 2004

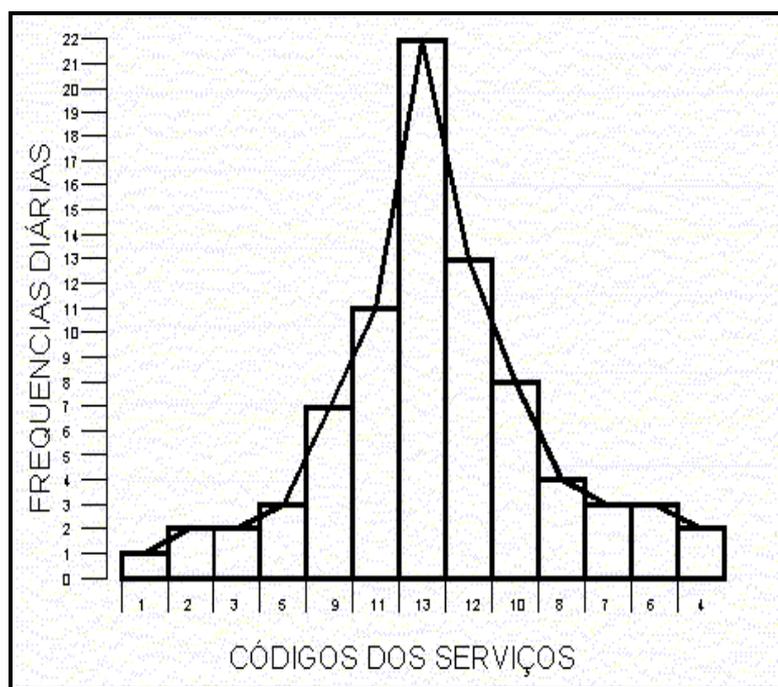


Figura 27. Polígono de Frequências dos serviços de manutenção – 2004

Fonte: SANEPAR, 2004

Quadro 6. Dados Estatísticos da Gestão de serviços de manutenção – 2006

RESUMO DOS SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO NA SANEPAR PONTA GROSSA		
SERVIÇOS DE MANUTENÇÃO 17/10/2005 a 28/03/2006	EXECUTADOS em 173 dias	MÉDIA DIÁRIA
1- Substituição de ligações de água	205	1
2- Vistoria por falta d'água	290	2
3- Descargas em redes de água	28	0
4- Manutenção em redes de Ferro	0	0
5- Reconstituição de Pavimentos	630	4
6- Padronização de cavaletes	165	1
7- Troca de material vedante	64	0
8- Conserto em redes de água	545	3
9- Vistoria e manutenção de vazamentos	467	3
10- Manutenção em redes de esgoto	101	1
11- Conserto em Cavaletes	382	2
12- Conserto de ramal de água	815	5
13- Troca Hidrômetros antigos	770	4
Total de manutenções corretivas / preventivas	4.462	26
Total de serviços (Manutenção Estratégica)	4.462	26
fonte: SGC Sanepar - Relação de Serviços executados 17/10/2005 a 28/03/2006		

Distribuição das Frequências dos Serviços de Manutenção			
Códigos dos Serviços	Frequência diária	Frequência em 173 dias	Frequência Acumulada
[1 -2 [	1	205	205
[2 -3 [	2	290	495
[3 -4 [	0	28	523
[4 -5 [	0	0	523
[5 -6 [	4	630	1.153
[6 -7 [	1	165	1.318
[7 -8 [	0	64	1.382
[8 -9 [	3	545	1.927
[9 -10[	3	467	2.394
[10-11[	1	101	2.495
[11-12[	2	382	2.877
[12-13[	5	815	3.692
[13]	4	770	4.462
Total	26	4.462	
Media	2	343	

Fonte: SANEPAR, 2006

O quadro 6 apresenta uma nova amostra dos serviços de manutenção num período posterior à implantação do SME. Com isso, podem ser tecidas algumas comparações em relação ao número de serviços concentrados nos itens 8 – Conserto em redes de água, 11 – Conserto em cavaletes, 12 - Conserto em ramal de água e 13 – Troca de hidrômetros antigos. Esta análise demonstra a redução em todos esses serviços, sendo que na amostra anterior os índices de perdas eram mais elevados e o número de serviços também.

Com a implantação do SME pode-se perceber que os serviços ficaram concentrados nas áreas que realmente necessitavam de intervenção e, conseqüentemente, causou redução no número de serviços de manutenção.

Isto sugere também a redução dos custos de operação do sistema de abastecimento, já que os serviços de manutenção estão diretamente ligados à composição destes custos.

O gráfico 7 demonstra os resultados em perdas de produto, aferidos no sistema de abastecimento público de água da cidade de Ponta Grossa no período janeiro/2001 a maio/2006. O índice referente ao mês de maio/2006 é estimado, com base na variação ocorrida nos primeiros 15 dias do mês.

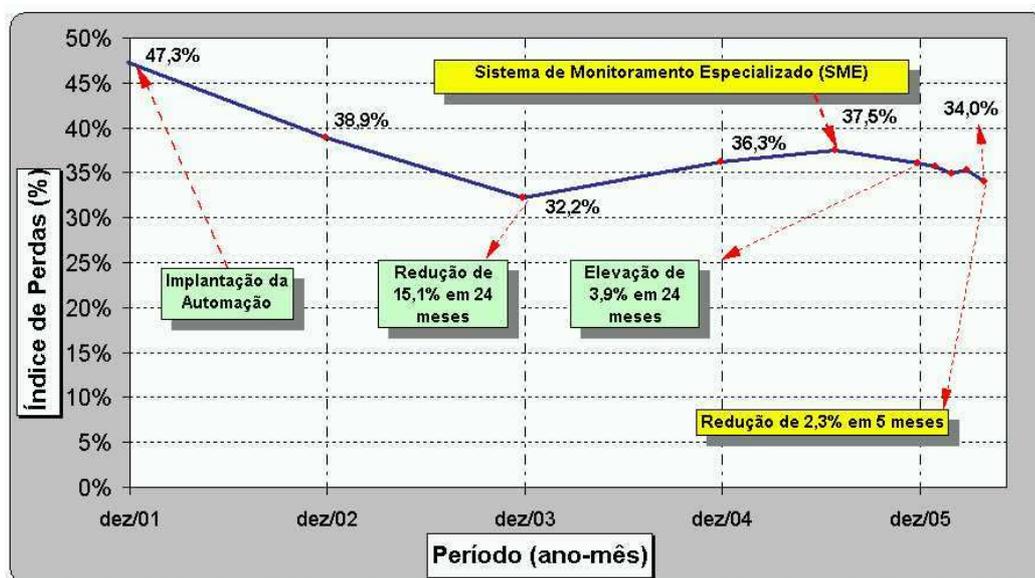


Gráfico 7. Índice de Perdas após implantação dos sistemas de automação e SME (2001-2006)

Fonte: SANEPAR, 2006

A primeira redução percebida, em 2001, é resultante da instalação do sistema de automação aliado às pesquisas de vazamentos em todo o perímetro da cidade.

Estas pesquisas perduraram até o ano de 2003, quando o sistema de abastecimento ficou operando apenas com processos tradicionais de manutenção, ou seja, sem contratações de grandes pesquisas de geofonamento (técnica de procura por vazamentos através de equipamentos ultra-sônicos – geofones), apenas com equipes próprias e menores.

O ideal para se trabalhar com manutenção nesses sistemas é aplicar uma pesquisa em um ou dois anos consecutivos e posteriormente operar a manutenção de maneira natural. Após a finalização dos programas de pesquisa de vazamentos na cidade, espera-se manter o sistema equalizado, porém os índices começam a se elevar nos anos 2004 e 2005, conforme o gráfico 4.

Com a proposta e implantação do SME (Sistema de Monitoramento Especializado) foi possível reduzir e gerir o sistema de maneira mais assertiva. Após a implantação do SME não foram mais executadas as pesquisas de vazamentos por geofonamento em toda a cidade. As pesquisas agora são focadas nas áreas que o sistema aponta como problemáticas, tais como aquelas que apresentam vazões mais elevadas.

O gráfico 8 mostra como a empresa acompanha seus índices de perdas em um processo de gestão paralelo.

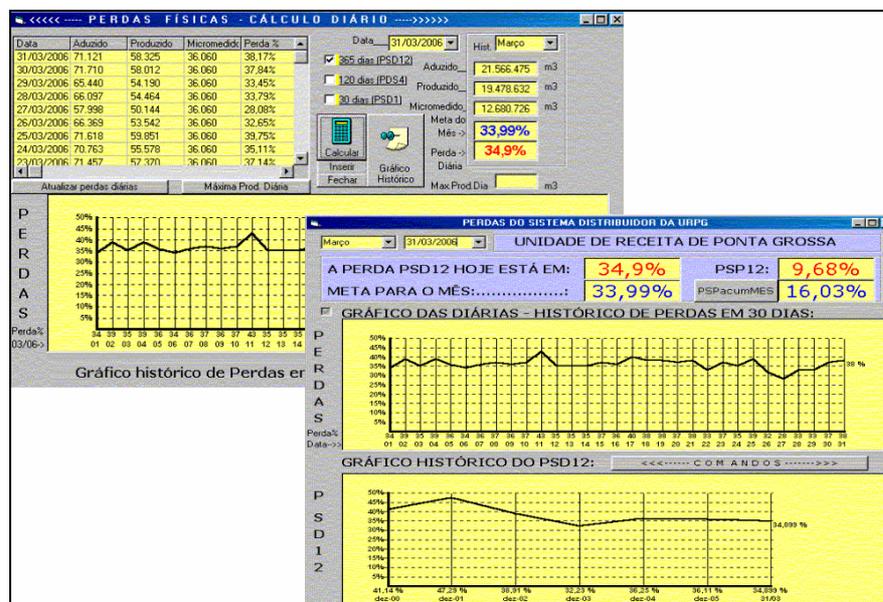


Gráfico 8. Formulário - Controle de perdas

Fonte: SANEPAR, 2004

Com o registro dos volumes de produção e distribuição, a evolução dos índices nos meses anteriores e atuais, as perdas acumuladas em quatro e em doze meses, tem-se uma visão histórica da evolução deste indicador ao longo do período, em relação à meta estipulada no planejamento da empresa e como as ações executadas pela manutenção estão influenciando esse indicador.

---

---

# Conclusões

---

---

Percebe-se, com base nos estudos realizados até aqui, que o SME traz resultados positivos ao caso apresentado, uma vez que ele faz uma análise especializada e fornece subsídios de forma computacional e automatizada para apoio às decisões. Assim os setores que necessitam da informação podem minimizar, principalmente, as perdas de produto e os custos de produção. Com a pesquisa apresentada cumprem-se os objetivos formulados no trabalho e, assim, fornecem-se subsídios ao setor de saneamento (produção e distribuição do abastecimento público de água), através da construção de generalizações e novos conhecimentos, que contribuem para a redução do desperdício da água.

O sistema apresentado utiliza as teorias de inteligência artificial para a sua construção e através de uma aplicação prática, demonstra a capacidade computacional para solucionar problemas de gerenciamento de manutenção no abastecimento público de água, que outrora, somente um especialista seria capaz de resolver.

Através desse projeto multidisciplinar é possível explorar as diversas áreas do conhecimento, tais como: as técnicas de manutenção e monitoramento em sistemas hidráulicos, gestão da manutenção, sistemas de informação, sistema integrado de gestão, sistemas de apoio à decisão e programação estruturada.

Apoiado nos resultados da implementação do sistema na empresa estudada é possível afirmar que o sistema de monitoramento especializado (SME) propicia o controle e o gerenciamento especializado da manutenção através da criação de uma base de conhecimento pelo registro das experiências da utilização do SME.

A integração das várias tecnologias aqui demonstradas: automação de processos, gestão de manutenção, geoprocessamento e cadastro técnico trazem modernidade e qualidade no gerenciamento das empresas.

No tocante, ao obter resultados positivos no controle do índice de desperdício e na gestão da manutenção para a empresa de abastecimento de água, a integração de gestão dos processos e o emprego do sistema especialista (o SME – Sistema de

Monitoramento Especializado) para dar suporte às decisões, vêm contribuir de forma significativa para este controle e para a redução dos índices de desperdício. Este procedimento dinamiza com a automatização e o monitoramento integrados, as prontas decisões e intervenções no processo de forma eficiente e consistente. As anormalidades incipientes são sinalizadas e a análise da severidade e até mesmo o julgamento da prioridade de intervenção está disponível na Interface Homem Máquina (IHM), agilizando e apoiando quaisquer prescrições e intercessões.

---

# Limitações e Trabalhos futuros

---

Barrella (2000) parte da premissa de que tudo o que tem sido falado sobre o tema representa pouca literatura técnica, ou seja, pouca teoria sobre o assunto, e que a observação dos fatos é o que, na realidade, leva a geração de sistemas que reorganizam a estrutura da empresa e do trabalho.

Assim o desenvolvimento do SME traz uma nova perspectiva ao conhecimento existente sobre o assunto, pois apresenta uma aplicação das argumentações dos autores sobre a concepção de sistemas especialistas para a resolução de problemas de manutenção dos processos produtivos e para a gestão integrada de processos. Também faz a comprovação de algumas das técnicas utilizadas no caso de Madrid (PIÑERO e CUBILO, 1995), que foram aplicadas principalmente nas escolhas das variáveis e das informações relevantes a serem processadas pelo sistema.

Lambert (1999) no seu modelo conceitual do índice de vazamentos na infraestrutura de um sistema de abastecimento (IVIN), afirma uma das ações para se ter um potencial de recuperação dos vazamentos é atuar com rapidez e qualidade nos reparos em tubulações que apresentam vazamentos, e na melhoria da qualidade das tubulações. O SME vem facilitar esta atuação quando traz decisões rápidas e assertivas para a manutenção e conseqüentemente maior qualidade das tubulações com correção baseada nos históricos dos problemas.

O presente trabalho de pesquisa limitou-se a implantar o Sistema de Monitoramento Especializado em uma concessionária de serviços de abastecimento público de água, de acordo com as especificidades desta empresa.

As regras do sistema especialista foram elaboradas com base na capacidade técnica e nas experiências dos profissionais da referida empresa. Portanto ao se utilizar a metodologia apresentada aqui, deve-se levar em conta as especificidades em que serão aplicados tais procedimentos.

Também as variáveis reconhecidas como variáveis de entrada do sistema especialista limitaram-se a um número de três variáveis, consideradas satisfatórias para o caso estudado.

---

---

Assim essas limitações abrem novas perspectivas para desenvolvimentos futuros, a saber:

- a criação de um maior número de variáveis a serem manipuladas pelo sistema especialista;
- o desenvolvimento de um sistema informatizado de análise de consumos e características sazonais de produção nos sistemas de abastecimento;
- a adaptação do sistema de monitoramento especializado para aplicação em cidades que não possuam automação, mais que possam se utilizar do sistema para reduzir perdas, criando informações históricas das intervenções de manutenção e
- o aperfeiçoamento do sistema visando integração com a gerência administrativa, planejamento estratégico, dentro da filosofia de ERP.

---

# Referências Bibliográficas

---

ABEAS – Associação Brasileira de Educação Agrícola Superior – **Água, Meio Ambiente e Vida**. 1 ed. A&A&A – Abeas, 1998.

ANA - Agência Nacional das Águas - **A evolução da gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Edição comemorativa do dia mundial das águas, 2002, 64 p.

AZEVEDO NETO, J. M. de, - **Manual de Hidráulica**. 6 ed. São Paulo, 1977, Edgard Bucher.

BABBITT, H.E., DOLAND, J.J., CLEASBY, J.L. – **Abastecimento de água**. Tradução de Zadir Castelo Branco, São Paulo, 1976. Edgard Bucher.

BARRELLA, W.D. – **Sistemas Especialistas Modulados e Abrangentes para a Gestão de Operações**. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2000, 159 p.

BISWAS, A. K. - **Water resources in the 21st century, Water International**, 1991, v. 16. 142-144 p.

BORNIA A. C. - **Análise Gerencial de custos em empresas modernas**. Porto Alegre, Bookman, 2002.

BRASIL, L. M. & AZEVEDO, F. M. de, **Técnica de extração de regras para sistemas especialistas conexionistas**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, v.19, n. 1, p. 09 –19, 2003.

CORDINGLEY, E.S. **Knowledge Elicitation Techniques for Knowledge-based Systems. In: DIAPER, D. Book knowledge elicitation - principles, techniques and applications**, Chichester: John Wiley & Sons, 1989. p. 89-172.

CORRÊA, H., GIANESE, I., CAON, M. – **Planejamento, Programação e Controle da Produção - MRPII / ERP: conceitos uso e implementação**. Ed. Atlas, São Paulo, 1997.

FEIGENBAUM, E. in HARMON & KING – **Expert Systems: Artificial Intelligence in Business**. New York, Ed Wiley, 1985.

FITZPATRICK, K., BAKER, J., DAVE, D. – **An Application of Computer Simulation to Improve Scheduling of Hospital Operating Room Facilities in the United States**. *International Journal of Computer Applications in Tecnology*, 1993.

HARMON, P. & KING, D. – **Sistemas Especialistas**. Ed. Campus, Rio de Janeiro, 1988.

HOFFMAN, R.R. **The Problem of extracting the knowledge of experts from the perspective of experimental psychology**. *AI Magazine*, p. 53-67, 1987.

IBGE (2005) – **Censo da Cidade de Ponta Grossa**, Rio de Janeiro, RJ. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/default.php#>> acesso em 15-mai-2006.

IWA – International Water Association em SNIS 2002.

INTERRANTE, L. D. ; BIEGEL, J.E. **Design of knowledge-based systems: matching representations with application requirements**. *Computers and Engineering*, v. 19, n. 1-4, p. 92-96, 1990.

KARDEC, A. & CARVALHO, C. – **Gestão Estratégica e Terceirização**. Qualitymark. Rio de Janeiro, ABRAMAN, 2002

LAMBERT, A., Brown, T.G., Takizawa, M. e Weimer, D. - **A review of performance indicators for real losses from water supply systems**. *AQUA*, 1999, 48(6), 227-237.

LUNA, Sergio Vasconcelos de, **Planejamento de pesquisa: uma introdução**. São Paulo, SP. EDUC 2002.

MACINTYRE, A.J. – **Instalações Hidráulicas Prediais e Industriais**. Editora LTC S.A., Rio de Janeiro, 1996.

MARIO FILHO - **Automação no saneamento básico: diferentes necessidades para um mesmo objetivo**. *Revista Controle & Instrumentação*, ed. 61, São Paulo, SP, 2001.

NOLAN, R. L. - **Management Accounting and Control of Data Processing**, *National Association of Accountants*, 1977

ONU, *World Resources Institute*, 1999

PHILIPPI JR, A. – **Saneamento, saúde e ambiente: fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri, São Paulo: Manole, 2005.

PIÑERO, J. e CUBILO, F. - ***New technologies for leakage detection and control***. Special Subject 12 - Advances in the economics of leakage control and unaccounted-forwater. Proceedings. 20th International Congress of Water Supply-Durban 1995. Blackwell Science. Londres. Tradução livre. Pgs S12-5 aS12-11.

PRATES, M. - **Conceituação de Sistemas de Informação do Ponto de Vista do Gerenciamento**, Revista do Instituto de Informática, PUCCAMP, Março/Setembro, 1994.

RABUSKE, R. A. - **Inteligência artificial**. Florianópolis: Editora da UFSC, 1995.

RAUTENBERG, S. **Um protótipo de sistema especialista difuso para definição de salários por habilidades**. Blumenau, 1996. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências da Computação) - Centro de Ciências Exatas e Naturais, FURB, 1996.

ROCKART, J. & BULLEN, C. – ***The Rise of Managerial Computing***. Dow Jones – Irwin, 1986.

SANEPAR – **Relatórios de Indicadores Estratégicos do Sistema de Informações Sanepar – SIS**, Curitiba, PR, 2003.

SANEPAR – **Relatórios de Indicadores Estratégicos do Sistema de Informações Sanepar – SIS**, Curitiba, PR, 2004.

SANEPAR – **Relatórios de Indicadores Estratégicos do Sistema de Informações Sanepar – SIS**, Curitiba, PR, 2005.

SANEPAR – **Relatórios de Indicadores Estratégicos do Sistema de Informações Sanepar – SIS**, Curitiba, PR, 2006.

SILVEIRA, P.R. & SANTOS, W.E. – **Automação e Controle Discreto**. Érica. São Paulo, 1998, p.23.

---

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre saneamento**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, 2002. Brasília, DF. Disponível em <[http://www.snis.gov.br/diag\\_2002\\_ae.htm](http://www.snis.gov.br/diag_2002_ae.htm)>.

SNIS – **Sistema Nacional de Informações sobre saneamento**. Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA: Diagnóstico dos serviços de água e esgotos, 2001. Brasília, DF. Disponível em <[http://www.snis.gov.br/diag\\_2001\\_ae.htm](http://www.snis.gov.br/diag_2001_ae.htm)>.

TUNDISI, J. G. - **Recursos Hídricos – MULTICIÊNCIA**, Revista Interdisciplinar dos Centros e Núcleos da Unicamp, 2005.

WATERMAN, D. A. *A Guide to expert systems*. Addison-Wesley Publishing Company, 1986.

WEBER, R. O. **Sistema Especialista Difuso Para Análise de Crédito**. Programa de Mestrado da Universidade Federal de Santa Catarina. 78p. 1993.

WELSTEAD, Stephen T. *Neural network and fuzzy logic applications in C/C++*. New York: John Willey & Sons, 1994.

---

---

# Anexo 1

---

---

## TRABALHOS PUBLICADOS NO DESENVOLVER DAS PESQUISAS

### Produção bibliográfica

#### Artigos publicados em periódicos (Completo)

1. TROJAN, Flavio ; KOVALESKI, J. L. **A AUTOMAÇÃO NO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DA CIDADE DE PONTA GROSSA: UMA ABORDAGEM VISANDO A REDUÇÃO DE PERDAS.** Sanare - Revista Técnica da SANEPAR, Curitiba - Paraná, v. 22, 2005.

#### Trabalhos em eventos (Completo)

1. TROJAN, Flavio ; MARÇAL, Rui Francisco Martins . **A AUTOMAÇÃO EM SISTEMAS URBANOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA: UMA ABORDAGEM VISANDO À REDUÇÃO DE PERDAS DE ÁGUA E ECONOMIA DE ENERGIA.** In: Congresso Brasileiro de Eficiência Energética - I CBEE, 2005, Belo Horizonte. Congresso Brasileiro de Eficiência Energética - I CBEE, 2005.
2. TROJAN, Flavio ; MARÇAL, Rui Francisco Martins . **AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO PRODUTO ÁGUA TRATADA.** In: CBGDP - Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produto, 2005, Curitiba. V CBGDP - Congresso Brasileiro de Gestão e Desenvolvimento de Produto, 2005.
3. TROJAN, Flavio ; KOVALESKI, J. L. **Automação no abastecimento de água: uma ferramenta para redução de perdas e melhoria nas condições de trabalho.** In: XII SIMPEP - Simpósio de Engenharia de Produção, 2005, Bauru - São Paulo. XII SIMPEP, 2005.
4. TROJAN, Flavio ; MARÇAL, Rui Francisco Martins ; SCANDELARI, Luciano . **Monitoração no abastecimento de água, baseada em um sistema especialista integrado a processos de gestão.** In: ADM - Congresso de Administração, 2005, Ponta Grossa - Paraná. ADM - Gestão Estratégica e Competitividade, 2005.
5. TROJAN, Flavio ; MARÇAL, Rui Francisco Martins ; HATAKEYAMA, Kazuo . **Os custos no abastecimento de água.** In: ADM - Congresso de Administração, 2005, Ponta Grossa - Paraná. ADM - Gestão Estratégica para a Competitividade, 2005.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)