

**UNIVERSIDADE DE TAUBATÉ**

**Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais**

**Estudo de caso – Uso e conservação de Energia em  
uma estação de tratamento de água no município de  
Caraguatatuba/SP**

**José Francisco de Carvalho**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade de Taubaté, para obtenção do Título de Mestre em Ciências Ambientais.  
Área de Concentração: Ciências Ambientais.

**Taubaté – SP**

**2005**

Estudo de caso – Uso e conservação de energia elétrica em uma estação de  
tratamento de água no município de Caraguatatuba/SP

**JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO**

Engenheiro Civil

Orientador: Prof. Dr. **PEDRO TEIXEIRA LACAVA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-  
Graduação em Ciências Ambientais da Universidade  
de Taubaté, para obtenção do título de Mestre em  
Ciências Ambientais.

Área de Concentração: Ciências Ambientais.

Taubaté – SP

2005

Carvalho, José Francisco de  
Estudo de caso – Uso e conservação de energia elétrica  
em uma estação de tratamento de água no município de  
Caraguatatuba/SP. / José Francisco de Carvalho. - - Taubaté:  
UNITAU, 2005.  
89 f. : il.

Orientador: Prof. Pedro Teixeira Lacava

Dissertação (Mestrado) – Universidade de Taubaté,  
Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais, 2005.

1. Uso de energia elétrica. 2. conservação de energia  
elétrica. 3. Uso de energia elétrica em uma estação de  
tratamento de água - Dissertação. I. Universidade de  
Taubaté. Programa de Pós-graduação em Ciências  
Ambientais II Título

Ficha catalográfica elaborada por  
Mirian Pereira Barbosa  
CRB – 8/4441

“A eficiência por si só não é um fim, mas um meio para se atingir outros objetivos”

(Januzzi et al., 2001).

**Estudo de caso – Uso e conservação de energia em uma estação de tratamento de água no município de Caraguatatuba/SP**

JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO

**Dissertação aprovada em 18/04/2005.**

Comissão Julgadora:

<b>Membro</b>	<b>Título/Instituição</b>
Prof. Dr. Pedro Teixeira Laçava	Doutor em Engenharia Mecânica e Aeronáutica Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UNITAU
Prof. Dr. José Geraldo Querido	Doutor em Engenharia Civil-Eng° Construção Civil e Urbana Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais/UNITAU
Prof(a). Dr(a). Cristiane Aparecida Martins Andraus	Doutor(a). em Engenharia Química-Aerodinâmica/Propulsão/ Energia INPE – Laboratório Associado de Combustão e Propulsão

**Prof. Dr. Pedro Teixeira Lacava**

Orientador

## **DEDICATÓRIA**

A meus pais pela vida de doação, dedicação, e confiança depositada, permitindo que eu chegasse até aqui;

A meus avós Zuza e Olga, com saudades.

## AGRADECIMENTOS

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

Em particular, ao meu Orientador Prof. Dr. Pedro Teixeira Lacava, pelo apoio e acompanhamento;

Aos Professores do Programa de Pós-Graduação que contribuíram para meu enriquecimento cultural, cujas informações recebidas permitiram desenvolver este trabalho;

Aos colegas de turma;

À amiga Edna dos Santos pelo incentivo e ajuda prestada desde o início deste trabalho;

Ao Eng<sup>o</sup> João Carlos Simões (Sabesp), pelo apoio à minha participação no curso,

À Argélia pela colaboração prestada na revisão deste trabalho;

E a Deus, por me mostrar os caminhos da vida.

## SUMÁRIO

	<b>Página</b>
LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iii
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, E SÍMBOLOS	iv
RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
1 INTRODUÇÃO	1
2 DEFINIÇÕES E POSICIONAMENTO DO PROBLEMA A SER ESTUDADO	6
2.1 Considerações gerais	6
2.2 O Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica	7
2.3 O Saneamento e a eficiência energética	8
2.4 A Sabesp e o cenário energético	8
2.5 Gestão da energia elétrica	9
2.5.1 Redução do desembolso financeiro	9
2.5.1.1 Análise das classes de consumo	9
2.5.1.2 Escolha do grupo tarifário	10
2.5.1.2.1 Definições técnicas	10
2.5.2 Fator de potência	13
2.5.2.1 Principais causas do baixo fator de potência	15
2.5.2.2 Vantagens com a melhoria do fator de potência	16
2.5.2.3 Formas para melhoria do fator de potência	17
2.5.3 Fator de carga	19
2.5.4 Revisão no dimensionamento dos motores de grande impacto no consumo de energia	20
2.5.5 Associação de bombas	24
2.5.6 Uso de inversor de frequência	26



2.5.6.1	Cuidados sobre o uso de inversores (incidência de distorções harmônicas)	30
2.5.7	Motores de alto rendimento	31
2.5.8	A influência da manutenção	32
2.5.9	Transformadores	34
2.5.10	Ar comprimido	36
2.5.11	Automação	39
2.5.12	Alterações no sistema operacional	41
2.6	Comissão interna de conservação de energia (CICE)	43
3	DESCRIÇÃO DA ETA PORTO NOVO E DA METODOLOGIA DE ANÁLISE	45
3.1	ETA Porto Novo	45
3.1.1	Descrição do processo flofiltro	46
3.1.2	Princípio e aplicação do processo	48
3.1.3	A concepção da ETA Porto Novo	48
3.1.4	Breve descritivo da operação da ETA	50
3.2	Metodologia utilizada no presente trabalho	52
4	ANÁLISE DA ETA PORTO NOVO	53
4.1	Redução nas despesas com energia elétrica	53
4.2	Análise no dimensionamento dos motores de maior consumo	59
4.3	Perdas nos transformadores	66
5	CONCLUSÕES	68
6	REFERÊNCIAS	70
7	ANEXOS	74
	Anexo A	74
	Anexo B	75
	Anexo C	76
	Anexo D	77
	Anexo E	78

**LISTA DE FIGURAS**

<b>Figura</b>		<b>Página</b>
1	Medição de demanda	11
2	Triângulo de potências	14
3	Concentração de carga durante as horas do dia, e nos dias de um mês típico	20
4	Rendimento máximo de um motor em função da potência (a); coeficiente multiplicador do rendimento máximo em função do carregamento (b)	22
5	Rendimento e fator de potência em função do carregamento do motor	23
6	Associação de bombas em paralelo	25
7	Associação de 7 bombas em paralelo	26
8	Curva de potência consumida pelo motor com uso de inversor	28
9	Comparação de rendimento e fator de potência entre motor de alto rendimento e padrão	32
10	Sistema pneumático das válvulas dos filtros de areia da ETA Porto Novo	39
11	Rendimento dos variadores em função da rotação	43
12	Vista do prédio de tratamento de água da ETA Porto Novo	46
13	Vista do sistema flofiltro	47
14	Fluxograma da ETA Porto Novo	50
15	Fator de carga na ponta e fora de ponta no período de estudo	56
16	Índice de consumo específico na ETA Porto Novo	57
17	Sistema de bombeamento da distribuição de água para São Sebastião	60
18	Curva de bomba – alternativa para substituição (Fonte: KSB, 2004)	75
19	Anexo C - Curva da bomba 4 da distribuição de água para Caraguatatuba	76

20	Anexo D - Curva da bomba 5 da distribuição de água para Caraguatatuba	77
----	---	----

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela</b>		<b>Página</b>
1	Fator de potência x potência do transformador	17
2	Seção relativa do condutor x fator de potência	17
3	Número de pólos x rotação síncrona por minuto	22
4	Comparação de grandezas com e sem utilização de inversor de frequência	29
5	Composição mensal da economia gerada	30
6	Medições de temperatura nos conjuntos de bombeamento de água tratada	33
7	Perdas em transformadores, conforme ABNT	35
8	Consumo de energia elétrica para suprir vazamentos	38
9	Benefícios da automação no tratamento de água	40
10	Demanda contratada na ETA Porto Novo	54
11	Cargas mais significativas na ETA Porto Novo	55
12	Simulação do grupo tarifário	55
13	Leituras de grandezas hidráulicas e elétricas obtidas no bombeamento para São Sebastião	60
14	Comparativo de custos	65
15	Perdas nos núcleos dos transformadores da ETA Porto Novo	66
16	Medições de corrente elétrica nas fases dos transformadores de 50 kva, efetuada em 29/12/04	67
17	Anexo A - Tarifas de energia elétrica em vigor no mês de dezembro/03	74

**LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS**

A	Ampere
ABES	Associação Brasileira de Engenharia Sanitária
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
CICE	Comissão Interna de Conservação de Energia
CODI	Comitê de Distribuição de Energia Elétrica
CNI	Confederação Nacional da Indústria
$\cos\varphi$	Fator de potência
D	Demanda
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DNAEE	Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica
ETA	Estação de tratamento de água
FAD	Flotação por ar dissolvido
FC	Fator de carga
FGTS	Fundo Garantia por Tempo de Serviço
FP	Segmento horário fora de ponta
FPS	Período fora de ponta seco
FPU	Período fora de ponta úmido
FS	Fator de serviço
GWh	Giga-Watt-hora
HP	Horse power (cavalo vapor)
I	Corrente elétrica
IBAM	Instituto Brasileiro de Administração Municipal
ICMS	Imposto sobre circulação de mercadorias
IEA	International Energy Agency
kW	Quilo-Watt
kWh	Quilo-Watt-hora
kvar	Quilo-volt-ampere-reativo
kvarh	Quilo-volt-ampere-reativo-hora
mca	Metros de coluna de água

MW	Mega-Watt
MWh	Mega-Watt-hora
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Segmento horário de ponta
PS	Período seco
PU	Período úmido
$P_a$	Potência ativa
$P_{ap}$	Potência aparente
PLANASA	Plano Nacional de Saneamento
PLC	Controlador lógico programável
$P_r$	Potência reativa
PROCEL	Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica
$P_u$	Potência útil
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
V	Volt

**Estudo de caso – Uso e conservação de energia em uma estação de tratamento de água no município de Caraguatatuba/SP**

Autor: JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO

Orientador: Prof. Dr. PEDRO TEIXEIRA LACAVA

**RESUMO**

O presente trabalho apresenta um estudo de caso sobre o “Uso e Conservação de Energia” em uma Estação de Tratamento de Água situada na cidade de Caraguatatuba.

O estudo leva em conta o período entre janeiro de 2003 e dezembro de 2004, e os resultados podem ser utilizados para programas sobre o uso mais eficiente de energia elétrica.

Esse trabalho não quantifica as perdas nos processos, mas ele aponta os setores que tem possibilidade de menor consumo de energia com simples ou complexas mudanças nas condições operacionais.

Aspectos econômicos também foram verificados e alguns parâmetros relacionados ao consumo de energia elétrica foram analisados na fatura, no contrato com as companhias distribuidoras e nos procedimentos operacionais.

Assim, a intenção do presente trabalho foi contribuir para o melhor uso da energia elétrica, particularmente para companhias de tratamento de águas, mas os resultados podem ser extrapolados para os setores industrial, comercial e de serviços.

Author: JOSÉ FRANCISCO DE CARVALHO

Adviser: Prof. Dr. PEDRO TEIXEIRA LACAVA

## **ABSTRACT**

The present work shows a study of case about “The Use and Energy Conservation” in a Water Treatment Company situated in the city of Caraguatatuba.

The study takes in account the period between January of 2003 and December of 2004, and the results may be used for the programs about the more efficient use of electric energy.

This work did not quantify the losses in the processes, but it pointed the sectors that have possibility of less consumption of energy with simple or complex changes on the operational conditions.

Economic aspects were also verified, and some parameters related to electric consumption were analyzed in the invoice, in the contract with delivering companies, and in the operational procedures.

Therefore, the present work intension was to contribute for the better use of electric energy, particularly for water treatment companies, but the results and analysis may be extrapolated for the sectors industrial, commercial, and services.



## 1 – INTRODUÇÃO

Desde tempos remotos, a energia sempre desempenhou um papel importante na vida das civilizações. A partir da descoberta do fogo até os dias de hoje, o Homem aumentou a sua dependência em relação à energia, tanto que é impossível imaginar uma sociedade subsistir sem sua utilização, tornando-a essencial à manutenção da sociedade moderna.

Mas, afinal, o que é energia? Difícil responder com exatidão, mas esta palavra foi utilizada pela primeira vez, em 1807, pela Royal Society Inglesa por sugestão do médico e físico Thomas Young (1773-1829), como sendo a capacidade de realizar trabalho.

Energia pode ser encontrada sob vários aspectos como energia química, nuclear, elétrica, térmica, radioativa, etc.

Suas fontes podem ser classificadas em primárias e secundárias. Por fontes primárias entendem-se aquelas que são encontradas na natureza e que ainda não sofreram nenhum processo de transformação, podendo ainda ser renováveis e não renováveis.

As renováveis são consideradas inesgotáveis, como a energia hidráulica, responsável por mais de 95% da produção de eletricidade no Brasil; a eólica, produzida por gigantescos cata-ventos ligados a geradores e encontrados em boa parte do mundo; e a energia solar, que pode ser utilizada na produção de eletricidade em conversores fotovoltaicos para uso no atendimento a comunidades isoladas e para a produção de energia térmica nos coletores solares térmicos.

As não renováveis são aquelas cujos potenciais de exploração são finitos, como: o petróleo, a fonte mais importante para a nossa moderna sociedade, que de acordo com a “International Energy Agency (IEA)” [1] terão suas reservas mundiais esgotadas em aproximadamente 40 anos; o gás natural, que no Brasil representa uma

participação de 3% na oferta de energia [1]; e o carvão mineral, que apresenta as maiores reservas conhecidas, entre outras.

Já as fontes secundárias de energia são aquelas que já sofreram algum processo de transformação, como a energia hidráulica em eletricidade [1], ou as termoelétricas que podem utilizar óleo, gás natural e carvão na geração de eletricidade.

Qualquer que seja a forma de energia é inquestionável a dependência da sociedade. No caso da energia elétrica, os crescentes índices de consumo aliados aos custos elevados e a falta de investimentos no setor de geração, faz com que a racionalização de seu uso seja um meio de atingir eficiência no atendimento.

Capra [2] abre a questão de que a sociedade atual, para superar a crise energética, não precisa de mais energia, mas de menos. Os sistemas econômicos e tecnológicos exigem cada vez mais energia para atender às crescentes demandas energéticas, exaurindo as reservas naturais. De acordo com o autor, a energia é um parâmetro de equilíbrio social e ecológico, e contar com mais energia não resolveriam os problemas, mas sim agravariam, já que aceleraria o esgotamento das reservas naturais de minérios, florestas, etc; aumentaria a poluição, o envenenamento químico e a injustiça social.

Em particular para o caso do Brasil, uma alternativa de curto prazo para aumentar a oferta de energia elétrica são as termoelétricas. Contudo, elas lançam à atmosfera gases poluentes, como o gás carbônico, óxidos de nitrogênio e dióxidos de enxofre e, conseqüentemente, provocam impactos ambientais como o efeito estufa.[3]

Somado a isso, utilizam equipamentos importados o que aumenta o déficit comercial, além de necessitarem de grandes quantidades de água para o resfriamento.

O uso do gás natural nas termoelétricas pode diminuir a emissão de alguns poluentes; contudo, apesar do programa de massificação do uso do gás natural, a sua distribuição ainda é limitada, sendo necessário também a utilização de outros combustíveis como o óleo combustível e o carvão. Nesses casos, o impacto ambiental é bem maior; para se ter uma idéia, o uso do óleo combustível em termoelétrica libera cerca de 500 kg de gás carbônico para cada MWh elétrico produzido, com custo de US\$100/MWh, representando sete vezes mais que o custo nas hidrelétricas.[4]

Já as termoelétricas a carvão liberam grande quantidade de particulado pesado, como arsênio, bário, cádmio, cloro, cobre, chumbo, manganês, mercúrio, níquel, vanádio e zinco, dependendo do tipo de carvão empregado e do modo de operação da usina.

Baseado nos parágrafos anteriores pode-se afirmar que os comentários de Capra são totalmente pertinentes e que tentar aumentar a oferta de energia para suprir a demanda, que aumenta continuamente, trará conseqüências drásticas ao meio ambiente, quer a curto, médio ou longo prazo.

Poucos são os indivíduos da nossa sociedade que conseguem associar o uso de energia elétrica com danos ambientais, ou seja, poucos sabem que por detrás de uma lâmpada acesa exigem-se áreas alagadas, florestas derrubadas, espécies extintas e gases sendo lançados à atmosfera. Aumentar a oferta é agravar isso, já que as fontes alternativas de produção de energia elétrica ainda não são suficientes para suprir as formas agressivas atuais.

Seguindo a linha de raciocínio de Capra, uma sociedade moderna deveria procurar diminuir o consumo de energia e isso é perfeitamente possível no Brasil, considerando o nível de desperdício nos mais diversos setores. Um bom exemplo, de que isso é possível, foi o racionamento imposto pelo Governo Federal no ano de 2001 quando o nível dos reservatórios das usinas hidrelétricas atingiu valores alarmantes. Nesse período a sociedade verificou que é possível o uso racional da energia elétrica sem perda das atividades e confortos, além de representar uma economia financeira. Nem mesmo o caos que alguns analistas previam no setor industrial aconteceu, pois todos notaram que havia desperdícios e possibilidades de uso racional até então não notadas.

Dentro dessa linha de raciocínio, o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica (PROCEL) [5] contribuiu para a formação de uma consciência conservacionista nas concessionárias de energia elétrica, tanto que realizou estudos concluindo que o aumento da eficiência energética terá até 2010 contribuído para evitar a emissão de cerca de 230 milhões de toneladas de carbono na atmosfera, isto representa 29% das emissões totais de gases responsáveis pelo efeito estufa do Setor Elétrico Nacional.

As políticas conservacionistas do Procel asseguram resultados concretos da racionalização, como exemplo tem-se:[5]

⇒ 1 W conservado evita a inundação de  $0,6 \text{ m}^2$

⇒ 1 kWh de consumo equivale a  $50 \text{ m}^3$  de água que passa nas turbinas

⇒ 1 árvore precisa de  $4 \text{ m}^2$  de área

⇒ 1 W custa US\$ 3

Tomando o exemplo da substituição de uma simples lâmpada incandescente de 60 W por uma fluorescente compacta de 9 W, tem-se:  $60 - 9 = 51 \text{ W}$ , ou seja:

⇒  $51 \times 0,6 \text{ m}^2 = 30 \text{ m}^2$  de área que deixa de ser inundada

⇒  $30 \text{ m}^2 / 4 = 7,5$  (permite o plantio de 7 árvores)

⇒  $51 \times 3 \text{ dólares} = \text{US\$ } 153$  que deixam de ser investidos na instalação de uma potência equivalente, no caso de hidrelétrica.

Vale ressaltar que as alternativas visando o uso racional e eficiente de energia elétrica, geralmente apresentam valores e tempo de retorno menores que quando comparados aos valores de outras formas de produção de energia.

Para o setor elétrico, o uso racional diminui a necessidade de expansão do parque instalado, postergando grandes investimentos necessários ao atendimento do mercado consumidor, uma vez que o custo médio da energia conservada é estimado em  $0,024 \text{ US\$/kWh}$ , frente ao custo marginal de expansão do setor elétrico, situado entre  $0,047$  e  $0,100 \text{ US\$/kWh}$ . [6]

Os resultados obtidos com a redução do consumo, intervindo junto às instalações consumidoras, são imediatos, tornando o uso racional uma alternativa para solução do problema de fornecimento em curto prazo.

O foco do presente trabalho é chamar a atenção para o uso racional de energia elétrica no processo de tratamento de água que, no caso estudado, depende quase que exclusivamente de energia elétrica para ser executado. Nesse contexto, de crescimento contínuo do consumo de energia elétrica, da falta de investimentos no setor, e da preocupação cada vez maior com as questões ambientais é que este trabalho pretende apresentar sua contribuição sobre o gerenciamento energético de

uma Estação de Tratamento de Água (ETA), ETA Porto Novo, localizada no município de Caraguatatuba. Dessa forma pretende-se obter redução no consumo de energia elétrica e no desembolso financeiro; e aumentar sua capacidade de carga para algumas ampliações no sistema, servindo de fonte de consulta para melhorias em instalações existentes e parâmetro para outras a serem instaladas.

## **2 – DEFINIÇÕES E POSICIONAMENTO DO PROBLEMA A SER ESTUDADO**

### **2.1 – Considerações gerais**

O Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), institucionalizado em 1969 durante o período de governo militar, promovia a implantação ou expansão dos serviços de água e esgoto e aos municípios que aderissem a este modelo, mediante a concessão da prestação dos serviços à companhia do seu Estado, era permitido obter financiamento com recursos do FGTS. Surgiram então 27 companhias estaduais responsáveis por 3700 municípios contra aproximadamente 1300 municípios gerenciados de forma autônoma.[7]

Com o fim do PLANASA, no final da década de 80, houve uma lacuna na regulamentação do setor de saneamento no Brasil, seguindo-se anos de baixíssimos investimentos no setor. Em meados dos anos 90, com a entrada da iniciativa privada, no cenário do saneamento, através das terceirizações das operações, da manutenção e dos investimentos, deu-se um novo fôlego ao setor e os investimentos aumentaram. Mas a falta de regulamentação do setor, ambigüidades da legislação e as disputas judiciais, impediram a continuidade dos investimentos.[7] O foco passou a ser a eficiência dos sistemas, com redução dos desperdícios e constantes melhorias incorporadas ao bem estar da sociedade.

Nessa linha de raciocínio tem-se, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) [7], que o potencial do setor para redução de desperdícios nos sistemas de abastecimento de água apresenta a seguinte composição de custos:

- despesas com pessoal.....43% a 83%
- despesas com energia elétrica.....5,2% a 19,4%
- despesas com produtos químicos.....5% a 10%

- outras despesas.....até 5%

A energia elétrica contribui com o segundo maior valor nas despesas do setor e normalmente os maiores desperdícios com energia elétrica estão nos procedimentos operacionais existentes no dimensionamento dos sistemas, na idade dos equipamentos, na tecnologia adotada, na manutenção dos equipamentos, nos contratos de compra de energia e no desperdício de água; parâmetros que serão abordados neste trabalho.

## **2.2 – O Procel – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica**

Criado, em 1985, através de uma Portaria Interministerial, e implantado no ano seguinte para combater o desperdício de energia elétrica tanto na produção quanto no consumo, melhorando a qualidade dos serviços e reduzindo os impactos ambientais, já que o combate ao desperdício é a forma virtual de produção de energia elétrica mais barata e limpa que existe.[8]

A partir de 1995, este programa foi mais bem impulsionado, recebendo maiores recursos e obtendo resultados significativos. Atualmente é executado pela Diretoria de Projetos Especiais e de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial da Eletrobrás.

Apesar do setor de saneamento ter a atenção voltada para o atendimento à população com água tratada, coleta e tratamento de esgoto, não privilegiando estudos para a redução de gastos com energia elétrica, o PROCEL, em 1998, lançou o manual “Guia Técnico: Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento” e, em 1999, o manual “Programa de Saneamento”. [7]

Ainda em 1999, no 20º Congresso Nacional de Engenharia Sanitária realizado no Rio de Janeiro, a Eletrobrás, através da Diretoria de Operação de Sistemas e do Procel, divulgou estudos visando melhorar a eficiência energética nas concessionárias de saneamento, com a redução de custos com energia elétrica. O saneamento no Brasil participa com aproximadamente 2,3% no consumo total de energia elétrica, ou 7 bilhões de kWh/ano, sendo normalmente o segundo item no custo operacional dos sistemas de saneamento e, de acordo com estudos elaborados

em 1997 pelo Procel/Eletróbrás, 15% poderiam ser economizados através de medidas de eficiência energética num prazo de três anos.[9]

### **2.3 – O Saneamento e a eficiência energética**

Os aspectos geográficos e topográficos muitas vezes impõem soluções obrigatórias dificultando a obtenção da eficiência energética desejada como, por exemplo, a captação de água de mananciais subterrâneos utilizando conjuntos de bombeamento submersos; ou para evitar redes coletoras de esgoto muito profundas, com adoção de estações elevatórias de esgoto.[10]

No esgotamento sanitário, o consumo energético depende da forma como foi concebido o estudo prévio, levando-se em conta a delimitação da área, os elementos topográficos, geológicos, hidrológicos e sanitários, além do uso de equipamentos de alta eficiência energética.[11]

Já nos sistemas para abastecimento de água, as oportunidades de melhoria na eficiência energética são maiores pelas otimizações possíveis de serem aplicadas. Muitas dessas otimizações estão ligadas não à melhoria na eficiência energética de equipamentos, o que obviamente irá reduzir o consumo de energia elétrica, mas ao próprio desperdício de água ou a operações inadequadas.[11]

### **2.4 – A Sabesp e o cenário energético**

O Brasil tem uma matriz energética eminentemente limpa no que diz respeito a eletricidade, mais de 95% dela provém de fontes hídricas, formada em 2000 por 424 usinas hidrelétricas. No entanto, como se viu no ano de 2001, essa configuração deixa o país vulnerável e dependente das condições meteorológicas.[1]

A Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) consome anualmente cerca de 1970 GWh, com demanda de 320 MW, totalizando 242 milhões de reais anuais. A energia elétrica é a segunda maior despesa da empresa, sendo que em 1977 seu custo representou cerca de 4% do orçamento de despesas na empresa, e em 1990 chegou a 13%, mesmo mantendo o consumo específico de energia para fornecimento de 1m<sup>3</sup> de água em 0,6 kW.[12]



A principal causa para o aumento da despesa com este item deve-se aos ajustes nas tarifas acima dos índices inflacionários e a redução, a partir de 1968, do subsídio governamental de 80%, nas tarifas de energia elétrica ao setor de saneamento, para 15% em 1990.[12][13]

Outro motivo para o aumento das despesas com energia foi a introdução do ICMS, que no início de 1989 era de 17% e a partir de 1990 passou a 18% sobre o preço total da conta, o que representa 20,4% de aumento sobre o fornecimento de energia.[12]

## **2.5 – Gestão da energia elétrica**

É definida como o conjunto de procedimentos administrativos e técnicos visando atingir a eficiência na utilização da energia elétrica, proporcionando as seguintes vantagens:

- redução do consumo energético sem afetar a segurança;
- redução das despesas com eletricidade;
- melhor aproveitamento das instalações e equipamentos elétricos;
- redução dos investimentos para construção de usinas e redes elétricas;
- redução dos preços e serviços;
- maior garantia de fornecimento de energia elétrica e atendimento a novos consumidores no futuro.

### **2.5.1 – Redução do desembolso financeiro**

#### **2.5.1.1 – Análise das classes de consumo**

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) é quem estabelece os critérios de classificação dos consumidores, bem como as formas de cobrança, sendo a classificação em função da atividade exercida, que são:[14]

- residencial
- rural
- iluminação pública

- demais classes (consumidores industriais, comerciais, serviços, outras atividades)
- poder público
- serviços públicos

O setor saneamento é classificado como serviços públicos e para as unidades operacionais (captação, tratamento, bombeamento, etc.) é concedido desconto de 15%, conforme citado em 2.4.

### **2.5.1.2 – Escolha do grupo tarifário**

Até 1981 as instalações em alta tensão no Brasil eram faturadas sem diferenças de tarifas em relação aos períodos do ano e às horas do dia. Mas, com a concentração de cargas no horário das 17:30 às 20:30, foi implantada em 1982 pelo Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica (DNAEE) a estrutura horosazonal.[6] Para melhor entender o gerenciamento dos parâmetros elétricos que são utilizados no presente trabalho, algumas definições são apresentadas na seqüência.

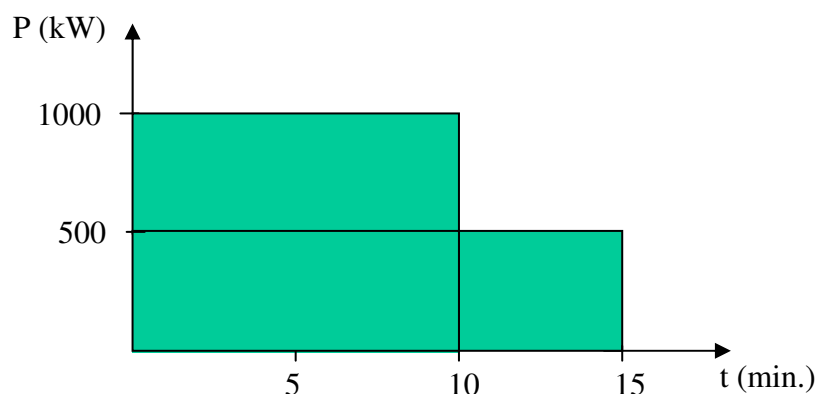
#### **2.5.1.2.1 – Definições técnicas**

Nesta subseção serão discutidas algumas definições contendo termos técnicos que serão importantes para compreensão de itens seqüentes:[15]

- Potência ativa: quantidade de energia solicitada por unidade de tempo, medida em kW, e que efetivamente produz trabalho gerando calor, luz, movimento, etc, sendo diretamente proporcional à carga mecânica solicitada no eixo do motor, portanto quanto menor a carga solicitada, menor a potência ativa consumida e conseqüentemente menor o fator de potência.
- Energia ativa (consumo): energia capaz de realizar trabalho gerando calor, luz, movimento, etc, sendo medida pelo produto da potência ativa (kW) pelo número de horas (h), portanto na unidade kWh.
- Potência reativa: medida em kvar, usada apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas, não realiza trabalho útil e

produz o que se chama energia reativa, que é praticamente a mesma operando em vazio ou a plena carga.

- Energia reativa: energia solicitada pelos equipamentos elétricos apenas para criar e manter os campos eletromagnéticos das cargas indutivas; não produz trabalho útil e é medida pelo produto da potência reativa (kvar) pelo número de horas de utilização, sendo a unidade de medida o kvarh (quilo-volt-ampere-reactivo-hora).
- Demanda: potência ativa média durante qualquer intervalo de tempo medida por um aparelho integrador, sendo este intervalo definido pelo DNAEE e adotado pelas concessionárias como 15 minutos. A Figura 1 apresenta um exemplo de como calcular a demanda (D).



$$D = \frac{1000 \times 10}{15} + \frac{500 \times 5}{15} = 833,33 \text{ kW}$$

**Figura 1 – Medição de demanda (Fonte: Shoeps, 1993)**

- Demanda contratada: demanda a ser obrigatória e continuamente colocada a disposição por parte da concessionária ao consumidor, conforme valor e período de vigência fixado em contrato de alta tensão; obrigatoriamente paga mensalmente pelo consumidor em sua totalidade, mesmo como valor mínimo, independente de ser ou não utilizada.
- Horário de ponta (P): período composto por três horas consecutivas diariamente entre 17:30 e 20:30 hs (para o Estado de São Paulo); exceção

para sábados, domingos e feriados nacionais, quando este conceito não tem validade. Corresponde ao horário de pico de consumo de energia elétrica na maioria das regiões do país.

- Horário fora de ponta (FP): período do conjunto das horas complementares ao horário de ponta.
- Período úmido (U): período de cinco meses consecutivos compreendendo as leituras no mês de dezembro de um ano a abril do ano seguinte.
- Período seco (S): período de sete meses consecutivos compreendendo as leituras no mês de maio a novembro.

### **Grupos tarifários**

- A (Alta tensão): instalações alimentadas com tensão igual ou superior a 2,3 kv.
- B (Baixa tensão): instalações alimentadas com tensão inferior a 2,3 kv e demanda inferior a 75 kW, não abordado neste trabalho.

O grupo A tem faturamento com componentes de Demanda de Potência e de Consumo de Energia Ativa, podendo seguir dois sistemas: o Convencional e o Horosazonal. O sistema Convencional é aplicável em unidades consumidoras de grupos A e B, sendo no grupo A utilizadas para instalações alimentadas com até 69 kv e com demanda máxima de 500 kW. O sistema Horosazonal é aplicável somente às unidades consumidoras do grupo A, podendo ser Azul ou Verde.

### **Tarifa Horosazonal Azul**

É a modalidade tarifária com aplicação de preços diferenciados para demanda de potência de acordo com as horas do dia e consumo de energia elétrica de acordo com as horas do dia e os períodos do ano. A tarifa Azul é aplicada considerando a seguinte estrutura:

Demanda de potência (kW)  $\Rightarrow$  independe do período do ano

- um preço para ponta (P)

- um preço para fora de ponta (FP)

Consumo de energia (kWh)

- um preço no segmento horário de ponta no período úmido (PU)
- um preço no segmento horário fora de ponta no período úmido (FPU)
- um preço no segmento horário de ponta no período seco (PS)
- um preço no segmento horário fora de ponta no período seco (FPS)

### **Tarifa Horo-Sazonal Verde**

É a modalidade tarifária estruturada para aplicação de um preço único para demanda de potência e de preços diferenciados para consumo de energia elétrica, de acordo com as horas de utilização no dia e nos períodos do ano.

A tarifa Verde é aplicada considerando a seguinte estrutura:

Demanda de potência (kW)

- preço único independente de horário e do período do ano

Consumo de energia (kWh)

- um preço no segmento horário de ponta no período úmido (PU)
- um preço no segmento horário fora de ponta no período úmido (FPU)
- um preço no segmento horário de ponta no período seco (PS)
- um preço no segmento horário fora de ponta no período seco (FPS)

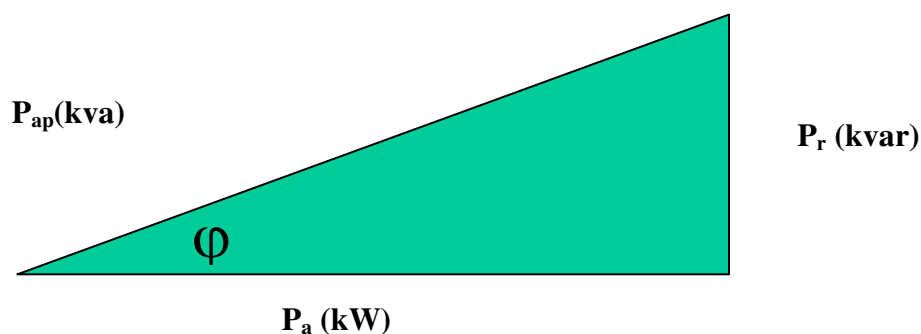
### **2.5.2 – Fator de potência**

Os circuitos resistivos, como os chuveiros e os aquecedores, apresentam fator de potência unitário ( $\cos\phi = 1$ ), ou seja, a tensão e corrente estão em fase. Entretanto os aparelhos elétricos indutivos, tais como, motores e transformadores, comuns no caso em estudo, necessitam de energia reativa para a formação de campos magnéticos ocorrendo, nesse caso, uma defasagem entre a tensão e a corrente de um ângulo  $\phi$  [16][9][17], conforme a Figura 2.

Para sua operação, as cargas indutivas requerem dois tipos de potência:

- Potência reativa (kvar)
- Potência ativa (kW)

O fator de potência é a comparação entre a energia ativa e a energia total requerida pelo motor (energia aparente), indicando a eficiência com que o motor usa a energia [18], sendo um item freqüente no desembolso financeiro com energia elétrica nos primeiros anos de operação da ETA Porto Novo. Seu valor é determinado pela divisão da energia ativa pela raiz quadrada da soma dos quadrados da energia ativa e reativa e expresso na seguinte relação:



$$FP = \cos\phi = \text{cós} (\text{arctg kvar/kW})$$

**Figura 2 – Triângulo de potências (Fonte: Polezi, 1999)**

O parâmetro coseno  $\phi$  indica qual porcentagem da potência total fornecida (kva) é efetivamente utilizada como potência ativa (kW), mostrando o grau de eficiência no uso dos sistemas elétricos, sendo que valores altos, próximos de 1, indicam uso eficiente da energia elétrica, e valores baixos evidenciam seu mal aproveitamento; no entanto quando o valor mínimo padronizado e aplicado ao consumidor pelas concessionárias, ou seja, 0,92, não é atingido, cobra-se um ajuste em função da energia ativa consumida e da demanda registrada no mês, conforme determinação do DNAEE.[19]

Exemplo: para alimentação de uma carga de 100kW com fator de potência 0,75 são necessários 133,33 kva.

$P_a = 100\text{kW}$	$\cos\varphi = 0,75$	$P_{ap} = ?$
Como:	$\cos\varphi = P_a/P_{ap}$	$0,75 = 100/P_{ap}$
Portanto:	$P_{ap} = 100/0,75$	$P_{ap} = 133,33\text{ kva}$

Agora, para alimentação da mesma carga com fator de potência 0,92 são necessários 108,70 kva representando uma economia de 18,5% no fornecimento de kva.

$P_a = 100\text{kW}$	$\cos\varphi = 0,92$	$P_{ap} = ?$
Como:	$\cos\varphi = P_a/P_{ap}$	$0,92 = 100/P_{ap}$
Portanto:	$P_{ap} = 100/0,92$	$P_{ap} = 108,70\text{ kva}$

Este raciocínio é aplicado ao presente estudo para reduzir desperdícios nos gastos com energia elétrica, vê-se que melhorando o fator de potência reduz-se a potência reativa à medida que a  $P_{ap}$  se aproxima de  $P_a$ .

A ocorrência dessa energia reativa em circuitos elétricos sobrecarrega as instalações ocupando uma capacidade de condução de corrente que poderia ser mais bem aproveitada realizando trabalho útil.

Muitas indústrias usam motores maiores que o necessário com objetivo de obter maior segurança contra falhas em processos críticos, aumentar a capacidade de produção ou obter garantia na flutuação de carga, consumindo mais energia devido ao menor rendimento, reduzindo o fator de potência, e aumentando custos na compra de equipamentos de alimentação.[9]

### 2.5.2.1 – Principais causas do baixo fator de potência

- Transformadores e motores: quando operando superdimensionados ou com pequenas cargas, consomem uma quantidade de energia reativa alta quando comparada com a energia ativa. Dessa condição, resulta aumento na corrente total que circula nas redes de distribuição de energia da concessionária e das unidades consumidoras, podendo sobrecarregar as subestações, as linhas de transmissão e distribuição, prejudicando a estabilidade e as condições de

aproveitamento dos sistemas elétricos [14]; além do que, os condutores têm que ter maior capacidade de condução devido a este aumento na corrente elétrica.

- Reatores de lâmpadas de descarga de baixa tecnologia: as lâmpadas de descarga para funcionarem necessitam de reatores que, como os motores e transformadores, possuem bobinas ou enrolamentos que consomem energia reativa, contribuindo para a redução do fator de potência.
- Grande quantidade de motores de pequena potência: como o correto dimensionamento destes motores acoplados às suas máquinas é difícil, ocorre superdimensionamento.

#### **2.5.2.2 – Vantagens com a melhoria do fator de potência**

- Liberação de potência nos circuitos: já que a potência utilizada para o dimensionamento dos circuitos, desde a cabine de entrada até os equipamentos consumidores, é a potência aparente medida em kva. Esta potência é igual à potência ativa, medida em kW, dividida pelo fator de potência. Assim qualquer elevação no fator de potência irá causar uma redução na potência aparente da instalação. No caso de novas instalações significa menor investimento em cabos e equipamentos, e no caso das já existentes, liberação da capacidade de condução para atender a uma nova carga.
- Investimentos em ampliações de sistemas: estão relacionados a transformadores e condutores necessários, portanto a melhora no fator de potência, na ETA Porto Novo, significa aumento na capacidade de carga instalada por um maior tempo, sem que seja necessária a substituição de equipamentos e cabos elétricos lá instalados. A Tabela 1 mostra a potência total que deve ter o transformador para atender uma carga útil de 1000 kW para fatores de potência crescentes.



**Tabela 1 – Fator de potência x potência do transformador (Fonte: Comitê de Distribuição de Energia Elétrica – CODI, 1995)**

Potência útil absorvida (kW)	Fator de potência	Potência do transformador (kva)
1000	0,5	2000
	0,8	1250
	1	1000

- Redução de perdas por efeito Joule: com a melhoria do fator de potência reduz-se a potência aparente de uma instalação, conseqüentemente reduzirá a corrente elétrica e as perdas por efeito Joule. Efeito também aplicável no caso da ETA Porto Novo, que por possuir vários transformadores apresenta perdas pelo efeito Joule, conforme discutido adiante. A Tabela 2 mostra que para transportar uma mesma potência ativa sem aumentar as perdas, a secção dos condutores deve aumentar à medida que o fator de potência diminui.

**Tabela 2 – Secção relativa do condutor x fator de potência (fonte: Comitê de Distribuição de Energia Elétrica – CODI, 1995)**

Secção relativa (mm <sup>2</sup> )	Fator de potência
1	1
1,23	0,9
1,56	0,8
2,04	0,7
2,78	0,6
4	0,5
6,25	0,4
11,1	0,3

- Redução nas despesas com o faturamento por consumo de energia elétrica: conforme já visto o baixo fator de potência onera a fatura.

### **2.5.2.3 – Formas para melhoria do fator de potência**

- Inicialmente análise das causas que levam à utilização de excessiva energia reativa, passando ao uso racional dos equipamentos, desligando os motores em vazio, redimensionando equipamentos superdimensionados, redistribuindo cargas pelos diversos circuitos, etc.

- Utilização de reatores para lâmpadas de descarga, motores e transformadores com altos valores de fator de potência.
- Instalação de bancos de capacitores, existindo várias alternativas para instalação com vantagens e desvantagens para cada uma delas, conforme discutido na seqüência.

**Junto às cargas indutivas.** Reduz as perdas energéticas em toda a instalação, diminui a carga nos circuitos alimentadores, melhora o nível de tensão da instalação, utiliza o mesmo acionamento para carga e capacitor e gera reativos somente onde é necessário. Os capacitores de pequena potência podem ter custo maior que os capacitores concentrados de maior potência, e pouca utilização dos capacitores no caso do equipamento não ser de uso constante. No caso da ETA Porto Novo os capacitores foram instalados desta forma, junto aos motores de maior potência.

**Por grupos de cargas.** É instalado em um circuito de várias máquinas junto ao quadro de distribuição que alimenta os equipamentos. A potência necessária será menor que no caso da compensação individual, porém não deverá haver diminuição de corrente nos alimentadores de cada equipamento individualmente.

**No barramento geral de baixa tensão.** Utilizado com elevado número de cargas com potências e regimes de utilização diferentes, sendo que os capacitores instalados são mais utilizados, de fácil supervisão e possibilidade de controle automático, porém nos alimentadores de cada equipamento não haverá alívio sensível na corrente.

**Na entrada de energia, em alta tensão.** Não é comum e não alivia nem mesmo os transformadores, embora seu custo seja menor, exige dispositivos de comando e proteção com isolação para a tensão primária.

### 2.5.3 – Fator de carga

É um índice que reflete o regime de funcionamento de uma dada instalação, tendo valor variando de 0 a 1. Fator de carga igual a 1 indica que as cargas elétricas foram bem distribuídas ao longo do tempo, por outro lado, fator de carga baixo indica que houve concentração de consumo de energia elétrica em um curto período de tempo, determinando uma demanda elevada.[1]

Para melhorar o fator de carga, deve-se adotar um sistema de gerenciamento do uso da energia procurando-se deslocar cargas, que contribuem para formação de picos, para horários de menor demanda de potência; a Figura 3 a seguir mostra graficamente a concentração de carga.

Cabe esclarecer que nas tarifas Convencional e Horo-sazonal Verde, o fator de carga é único porque existe um único registro de demanda de energia, enquanto que na tarifação Horo-sazonal Azul haverá dois fatores de carga, um para o horário de ponta e outro para fora de ponta.

A tarifa Verde é recomendada quando o fator de carga for igual ou menor a 0,6, enquanto a tarifa Azul é mais econômica para fator de carga na ponta igual ou maior que 0,7. Deve-se levar em consideração que a tarifação Verde penaliza o consumo na ponta, e a tarifação Azul penaliza a demanda na ponta, isto porque o custo do consumo no segmento de ponta para a tarifação Verde é dez vezes maior que no segmento fora de ponta, e o custo da demanda na ponta para a tarifação Azul é três vezes superior que no segmento fora de ponta.

No caso em estudo, o fator de carga na ponta está, ao longo dos meses, igual ou superior a 0,6, portanto a tarifação Azul é a mais adequada, conforme será discutido oportunamente nesse trabalho.

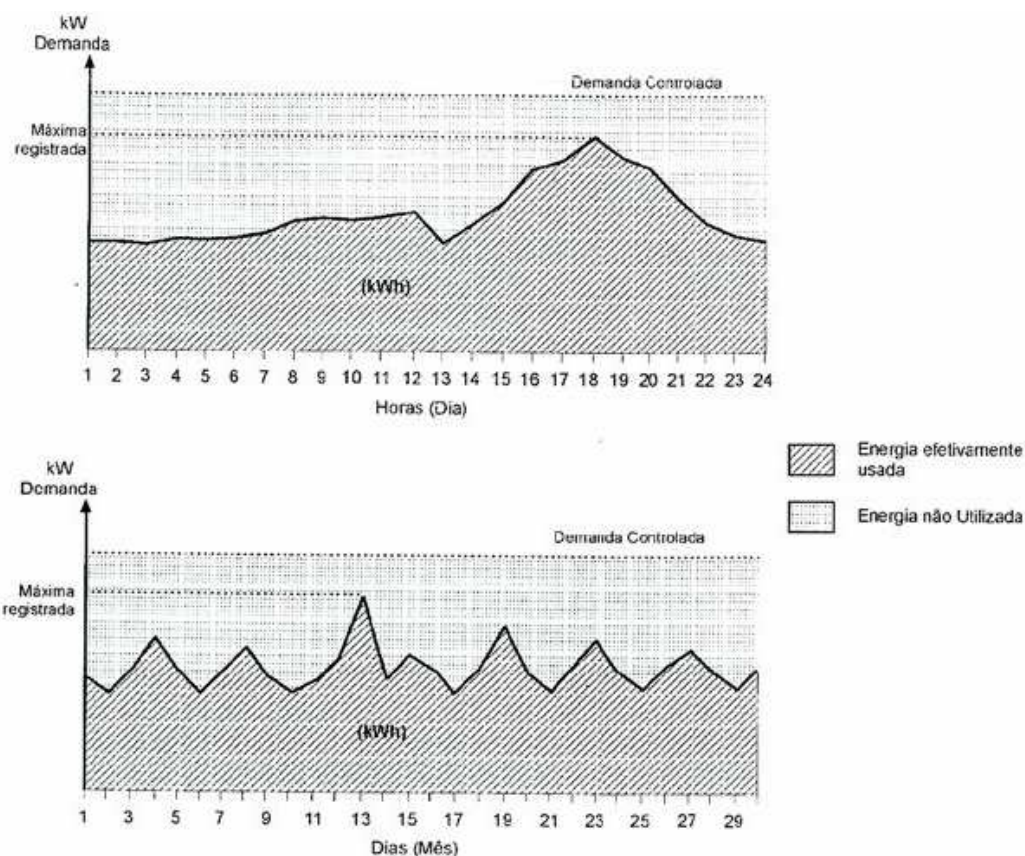


Figura 3 – Concentração de carga durante as horas do dia, e nos dias de um mês típico (Fonte: IBAM, 1998)

#### 2.5.4 – Revisão no dimensionamento de motores de grande impacto no consumo de energia

Os motores elétricos têm expressiva participação no consumo de energia elétrica de uso industrial e, de acordo com a WEG [20], representam 69% do consumo, razão pela qual merecem especial atenção em qualquer programa de conservação de energia. Os de indução, ou seja, aqueles em que só o estator é ligado à rede de alimentação, induzindo correntes no rotor, são os mais utilizados.[9]

Normalmente os motores elétricos estão superdimensionados e desperdiçam energia por trabalhar com baixos rendimento e fator de potência, quando em regime de trabalho contínuo devem ser especificados para operar entre 75 e 100% da carga, o que corresponde a melhor faixa de rendimento.

A potência útil fornecida pelo motor na ponta do eixo é menor que a potência que o motor absorve da rede de alimentação, isto é, o rendimento do motor é sempre

inferior a 100%. A diferença entre as duas potências representa as perdas que são transformadas em calor. Assim, para não atingir uma temperatura excessiva e comprometer o enrolamento, o calor deve ser dissipado para fora do motor [9], essa dissipação depende da:

- eficiência do sistema de ventilação;
- área total para dissipação da ventilação;
- diferença de temperatura entre a superfície externa da carcaça e do ar ambiente.

Sob qualquer carga os motores apresentam perdas fixas e variáveis:[8][9]

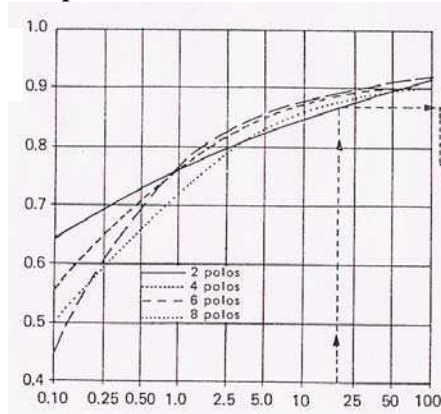
- As perdas fixas ocorrem no ferro por histerese (energia transformada em calor, na reversão da polaridade magnética do núcleo); por correntes parasitas de Foucault (quando uma massa de metal condutor se desloca num campo magnético ou é sujeita a um fluxo magnético móvel, circulam nela correntes induzidas, produzindo calor); e pelo atrito mecânico nos mancais (devido a resistência que o ar oferece ao rotor girante e a potência necessária ao acionamento do ventilador incorporado ao motor).[20]
- As perdas variáveis, devidas ao carregamento do motor, ocorrem no cobre e são atribuídas à dissipação de calor (efeito Joule) em razão da circulação de corrente elétrica nos enrolamentos do estator e do induzido, aumentando com o quadrado da corrente. Também podem acontecer pela distribuição não uniforme das correntes no cobre, pelo fluxo disperso nas ranhuras, e ainda devido ao tempo de uso, tecnologia adotada na construção inferior à atual, etc.

Para motores até 100 kW, de acordo com a Figura 4, temos que:[9]

- o rendimento é tanto mais elevado quanto maior for a potência nominal do motor;

- o rendimento máximo, para uma mesma potência, ainda varia com o número de pólos do motor (a Tabela 3 apresenta a relação entre o número de polos em função da rotação síncrona para duas frequências da rede);
- o rendimento máximo ocorre quando sua carga é cerca de 75% da sua potência nominal (Figura 5).

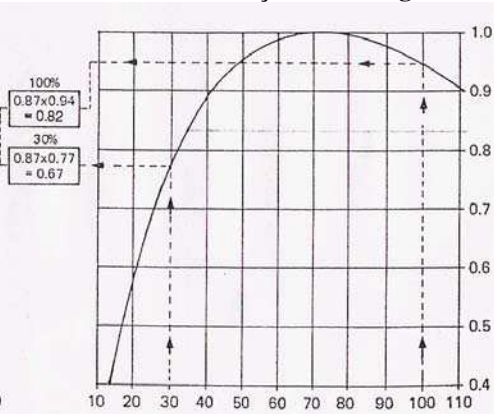
**Rendimento máximo de um motor em função da potência nominal**



Pot. nominal (kW)

(a)

**Coef. multiplicador do  $\eta$  máximo em função do carregamento**



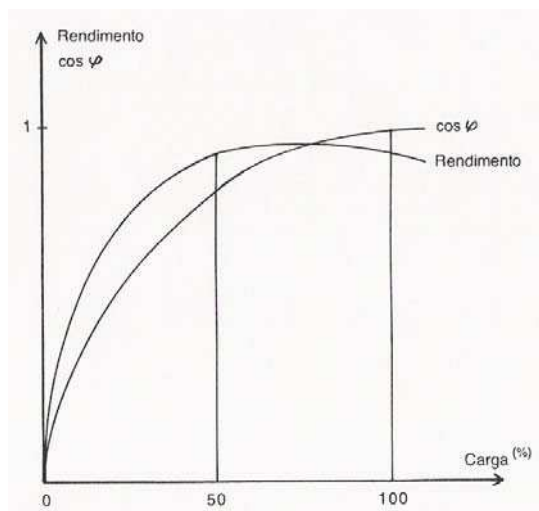
% do carregamento

(b)

**Figura 4 – Rendimento máximo de um motor em função da potência nominal (a); coeficiente multiplicador do rendimento máximo em função do carregamento (b) (Fonte: Shoeps, 1993)**

**Tabela 3 – Número de pólos x rotação síncrona por minuto (Fonte: Weg, 2001)**

Número de pólos	Rotação síncrona por minuto (rpm)	
	60 Hz	50 Hz
2	3600	3000
4	1800	1500
6	1200	1000
8	900	750
10	720	600



**Figura 5 – Rendimento e fator de potência em função do carregamento do motor (Fonte: CODI, 1993).**

De acordo com Mamede [21], os motores elétricos na partida solicitam da rede de alimentação uma corrente de valor elevado, da ordem de 6 a 10 vezes a sua corrente nominal. Nessas condições, o circuito, que inicialmente fora projetado para transportar a potência requerida pelo motor, é solicitado agora pela corrente de acionamento durante um certo período de tempo. Em conseqüência o sistema fica submetido a uma queda de tensão bem superior aos limites estabelecidos para o funcionamento em regime de operação, podendo provocar sérios distúrbios operacionais nos equipamentos de comando e de proteção, além de afetar o desempenho da iluminação notadamente a incandescente.

Quando os níveis de tensão nos motores estão muito abaixo da nominal, há redução do conjugado do motor, ou seja, a reação do motor à carga aplicada é reduzida. Além disso, ocorre aquecimento anormal dos enrolamentos, desperdiçando energia. Por outro lado, tensões acima da nominal aumentam as perdas no ferro.[8]

Ao contrário do que muitos pensam, a partida dos motores não afeta praticamente em nada o valor da demanda e do consumo de energia elétrica, já que a demanda no medidor é integralizada a cada 15 minutos, muito superior ao tempo de partida dos motores, da ordem de 0,5 a 10 segundos, e o consumo em kWh também é extremamente pequeno tendo em vista o baixo fator de potência de partida num tempo de pouca expressividade.

### 2.5.5 – Associação de bombas

A associação de bombas permite atender pontos de operação que excedam os limites de capacidade de uma só bomba, garantindo certa flexibilidade ao sistema. Na associação em paralelo, as bombas recalcam para uma tubulação comum, mantendo a mesma altura manométrica em ambas e contribuindo cada uma com uma parcela da vazão total, sendo que nesse tipo de associação de bombas a vazão total é sempre menor que a soma das vazões das bombas operando isoladamente.[22] Na Figura 6, vê-se duas bombas operando simultaneamente com a vazão  $Q_2$  e cada bomba recalcando uma vazão  $Q_1$ , de tal forma que  $Q_2 = 2Q_1$ , sendo que as duas bombas operam com uma altura manométrica  $H_1$ , sendo  $H_1' < H_1$  para uma vazão  $Q_1 < Q_1' < Q_2$ .

Quando as bombas operam em paralelo há um deslocamento do ponto de operação de cada bomba para a esquerda da curva (ponto A), o que acentua com o aumento de bombas nessa associação. Se uma das bombas sair de funcionamento por qualquer razão, a unidade que continua operando passará do ponto A para o ponto B; portanto conclui-se que o aumento de vazão para esta associação é muito pequeno em relação a vazão de uma só bomba operando isoladamente, passando de  $Q_1'$  para  $Q_2$ .

No caso estudado, o bombeamento de água para São Sebastião é similar ao citado, sendo que os dois conjuntos moto-bomba operam 24 horas diárias nessa condição.



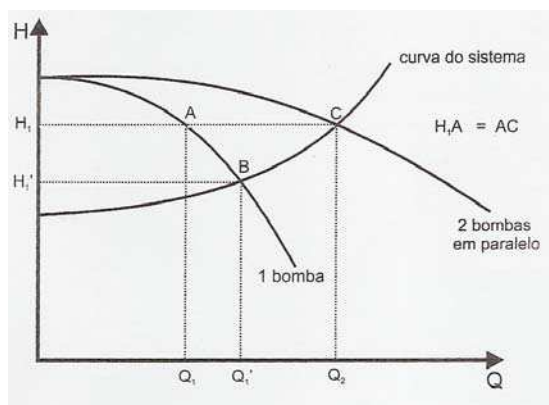


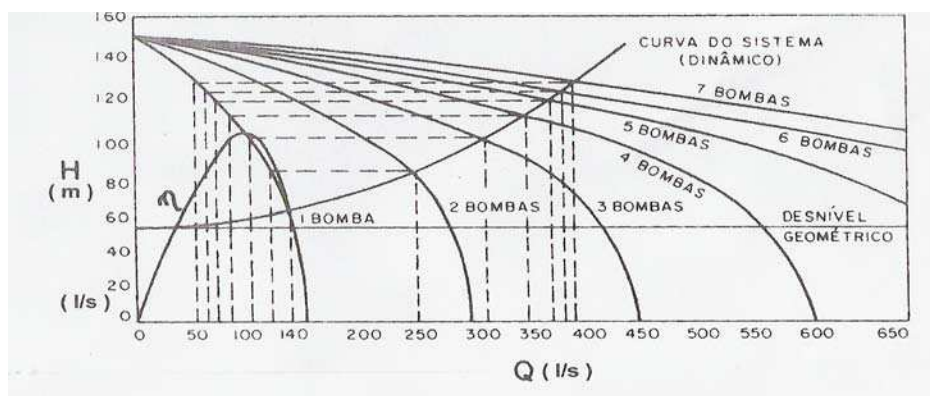
Figura 6 – Associação de bombas em paralelo (Fonte: KSB, 2001)

Desvantagens:

- mais unidades a serem mantidas;
- motores superdimensionados em relação ao ponto de operação de uma bomba isoladamente, causando problemas com o fator de potência;
- maior espaço para instalação;
- aumento nos custos de construção.

Já no caso do bombeamento de água para Caraguatatuba, existem dois conjuntos moto-bomba operando simultaneamente, como no caso anterior, e nos períodos de maior demanda no abastecimento é acionado um terceiro conjunto moto-bomba de recalque simultâneo aos outros dois, somente no segmento horário fora de ponta sem apresentar notável contribuição de vazão.

A Figura 7 apresenta um diagrama altura manométrica x vazão para diversas possibilidades de associação de bombas em paralelo.



**Figura 7 – Associação de até 7 bombas em paralelo (Fonte: KSB, 2001)**

Baseado no diagrama da Figura 7, conclui-se que:

- quando apenas uma bomba está operando tem-se a vazão de 140 l/s;
- quando adicionada uma segunda bomba ao sistema, tem-se uma vazão de 250 l/s e não uma vazão de  $140 \times 2 = 280$  l/s;
- adicionando uma terceira bomba ao sistema, a vazão resultante passa a ser 310 l/s;
- quando as sete bombas estiverem em operação, a vazão final será em torno de 380 l/s e não  $140 \times 7 = 970$  l/s.

Portanto a cada bomba que entra no sistema, cada uma passa a operar mais a esquerda do seu ponto de projeto, ou seja, vemos que na figura uma bomba opera no sistema com 140 l/s e quando as sete estão em operação, cada uma passa a fornecer individualmente uma vazão em torno de 50 l/s.[22]

### **2.5.6 –Uso do inversor de frequência**

Caraguatatuba, por ser uma estância turística, apresenta uma curva de consumo de água durante o ano de caráter sazonal, ou seja, a população entre os meses de dezembro e fevereiro triplica ou mais e, conseqüentemente, o consumo de água também se multiplica, daí a vantagem de um equipamento com maior vazão e controlado por inversor de frequência, evitando-se vários conjuntos com operação simultânea em associações em paralelo, causando maiores desperdícios.

A rotação dos motores elétricos de indução varia de acordo com a expressão:

$$N = 120 f / p$$

onde N = rotação síncrona, rpm

f = frequência, Hz

p= número de pólos

Portanto os inversores de frequência conseguem produzir variações na frequência da energia elétrica, variando desta forma a rotação dos motores. Com isso obtém-se melhores resultados, já que a curva característica da bomba é alterada pela variação da velocidade, fornecendo somente a pressão e vazão necessárias [18], implicando em maior custo de investimento.

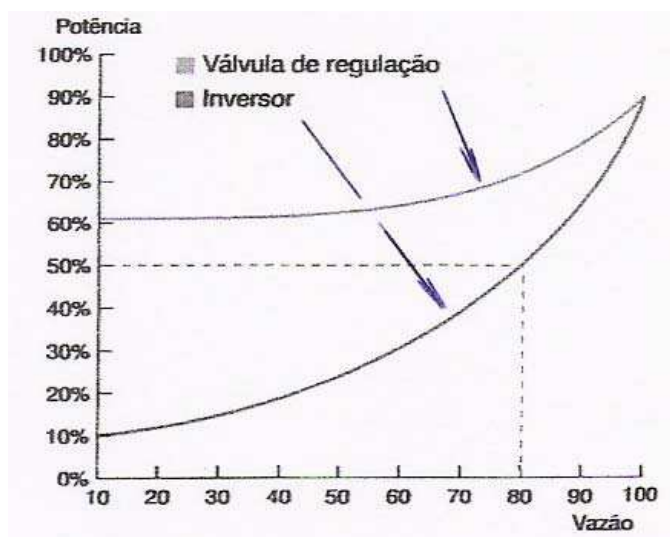
A utilização do inversor de frequência apresenta vantagens técnicas e econômicas devido aos fatores:

- redução no consumo de energia elétrica em vista da variação da potência consumida, podendo-se variar a potência de bombeamento em função da demanda de consumo de água [23];
- melhoria do fator de potência dispensando a correção pelo uso de bancos de capacitores, que representam custos adicionais [23];
- eliminação do pico de corrente na partida e, conseqüentemente, eliminação da queda de tensão, problema esse condenado pelas concessionárias que exigem sistemas de partida com limitação de corrente e queda de tensão [23];
- melhoria na condição de abastecimento pela possibilidade de controle das pressões na rede de distribuição, evitando sobre-pressões, mantendo o sistema equilibrado e reduzindo vazamentos [23];
- aumento na vida útil do conjunto moto-bomba em função da temperatura de trabalho do motor e da redução da velocidade do conjunto, apesar do aumento do número de horas de operação, já que a potência consumida pelo motor é função da vazão e pressão requeridas [24];
- redução do impacto provocado pelo golpe de aríete, devido ao desligamento mais suave através do circuito de rampa.[24]

De acordo com a Schneider [25], para controlar a vazão de uma bomba, a potência requerida por um motor acionado por inversor de frequência é menor que

quando se quer controlar esta vazão pelo fechamento de uma válvula. Nessa condição toda vazão ou pressão requerida pelo sistema é alcançada através da variação de velocidade sem perda de energia.[18]

Na Figura 8 tem-se a representação do funcionamento de um conjunto moto-bomba acionado por um inversor de frequência; nota-se que para 80% da vazão nominal, a potência consumida pelo motor é de 50% da potência máxima, já quando a vazão é controlada por uma válvula de regulação, a potência consumida pelo motor é cerca de 70% da potência máxima.[25]



**Figura 8 – Curva de potência consumida por motor acionado por inversor de frequência, e com uso de válvula reguladora de vazão (Fonte: Schneider, 2004)**

Um estudo realizado na Sabesp [24], em 1989, num sistema de bombeamento de água para abastecer regiões altas de determinada região no município de Lins, retrata as vantagens econômicas do uso de inversor de frequência nos sistemas de bombeamento de água. Nesse sistema, composto por dois conjuntos moto-bomba de 20cv com rotação fixa teórica de 1800 rpm, operando 18 horas diárias e comandados por timer, foi instalado em um dos conjuntos um inversor de frequência para variar a rotação do motor em função da pressão de recalque. A tomada de pressão é feita por um sensor posicionado no barrilete da bomba, transmitindo sinal de 4 a 20 mA ao inversor, variando a frequência de 60 a 3 Hz e, conseqüentemente, a velocidade do motor entre 1800 a 90 rpm.

Dessa forma, essa modificação proporcionou à rede variações de vazão e pressão de acordo com as demandas, procurando sempre estabilizar o sistema. Com isso foi possível obter pressões mais equilibradas no recalque da bomba e valores tecnicamente aceitáveis na rede para um bom abastecimento.

Apurados os valores antes e depois da instalação do inversor, pode-se ver na Tabela 4 que a economia com gastos de energia ativa foi de 38%. [24]

**Tabela 4 – Comparação de grandezas com e sem utilização de inversor de frequência (Fonte: Sabesp, 2001)**

Descrição		Velocidade	
		Fixa	Variável
Pressão de recalque (mca)	Mínima	15	19
	Máxima	33	21
Frequência no motor (Hz)	Mínima	60	38
	Máxima	60	53
Corrente no motor (A)	Mínima	29	10
	Máxima	31	24
Fator de potência		0,85 (*)	0,98
Potência (kW)	Mínima	15	6
	Média	15,3	7,1
	Máxima	16	14
Tempo médio diário de funcionamento (h)		18:00	24:00
Consumo médio mensal de energia ativa (kWh)		8.262	6.148

(\*) valor mínimo adotado pelas concessionárias na época

Na Tabela 5 tem-se a composição financeira mensal com esta redução de consumo de energia de  $8.262 - 6.148 = 2.114$  kWh.

**Tabela 5 – Composição mensal da economia gerada pelo uso do inversor de frequência – ref.: out/04 (Fonte:Sabesp, 2001)**

<b>Evento</b>	<b>Tarifa (R\$)</b>	<b>Valor (R\$)</b>
Consumo: 2.114 (kWh)	0,32125	697,12
Enc. Cap. Emergencial sobre 2.114 kWh	0,0085	17,97
ICMS (18%) – base 2.114 kWh	*	128,71
Enc. Cap. Emergencial ICMS	0,0085	1,09
<b>TOTAL</b>	*	<b>884,89</b>

### **2.5.6.1 – Cuidados sobre o uso de inversores (incidência de distorções harmônicas)**

O crescente uso de equipamentos eletrônicos para controle de velocidade de motores, embora interessante do ponto de vista eletro-energético, em vários casos, se adotados indiscriminadamente, podem promover elevações dos níveis das chamadas harmônicas nas instalações e gerar perdas nos equipamentos.[18]

Embora haja muitas vantagens no uso dos inversores de frequência, há que se tomar cuidados, pois de acordo com Isoni [18], a busca por maior eficiência no consumo energético tem influenciado o comportamento de equipamentos e instalações, no que se refere aos impactos das distorções harmônicas.

Cada vez mais as indústrias descobrem a necessidade de lidar com este tipo de problema, normalmente associado à crescente quantidade de acionamentos e controle de velocidade de motores elétricos de indução por inversores de frequência, e ao uso de fontes chaveadas nos reatores eletrônicos para iluminação; sendo que a presença de distorções harmônicas variáveis nesses dispositivos depende do estágio tecnológico em que se encontram.[26]

Define-se harmônica como a componente de uma onda periódica cuja frequência é um múltiplo inteiro da frequência fundamental (no caso da energia elétrica, 60 Hz).

As distorções harmônicas causam prejuízos às instalações industriais, tais como, perda de produtividade e de vendas, devidas a paradas de produção causadas por falhas inesperadas em motores ou, simplesmente, repicar de disjuntores.[26]

Entre as conseqüências têm-se:

- superaquecimento e aumento das perdas em máquinas rotativas (motores), diminuindo sua vida útil e impossibilitando que atinjam a potência máxima [26];
- alto nível de harmônicas numa instalação elétrica pode causar problemas para as redes de distribuição das concessionárias, para a própria instalação e para os equipamentos nelas instalados;
- queima de fusíveis e redução da vida útil dos capacitores;
- aumento das perdas no ferro e no cobre nos transformadores;
- registros errôneos em medidores de energia, com possibilidade de contas com valores superiores ao real;
- interferências nos telefones;
- operações errôneas devido a múltiplas passagens por zero e falha na comutação de circuitos nos acionamentos/fontes;
- operação falsa e componentes danificados em fusíveis/disjuntores.

Para sua eliminação, utilizam-se filtros de harmônicas que essencialmente é um capacitor, para correção de fator de potência, em série a um reator (indutor).[26]

A ETA Porto Novo não está livre do problema de ocorrência de harmônicas; contudo, não foi possível obter elementos suficientes para incluir no presente trabalho uma discussão mais profunda sobre o quanto esse problema afeta essa unidade de tratamento de água.

### **2.5.7 – Motores de alto rendimento**

Os motores de alto rendimento, embora custem mais caros que os tradicionais, podem tornar as operações mais econômicas, desde que sejam mantidos em uso frequente.[27] Em comparação com um motor convencional, seu peso é cerca de 15% maior, seu custo 20 a 25% superior e seu rendimento e fator de potência são 2% e 5% superiores, respectivamente. Além disso, ainda dispõe de um aumento de cobre e chapas metálicas, reduzindo suas perdas. Segundo Tisutyia [12], esses motores possuem rendimento de 94% para cargas variando de 50 a 100%.

O gráfico da Figura 9 compara o desempenho de motores de alto rendimento, até 25 HP, com motores convencionais (padrão). Mesmo custando 15 a 25% mais do que os motores convencionais, esse custo adicional pode ser amortizado em cerca de dois anos, dependendo de algumas variáveis [12] relacionadas à qualidade do uso.

Apesar de não haver motores de alto rendimento na ETA Porto Novo, fica ressaltada a importância do uso desses equipamentos, pois os motores correspondem à maioria das cargas instaladas na ETA e na maior parte operando 24 horas por dia. A troca para motores de alto rendimento, em médio prazo, aumentaria a eficiência energética com redução de desembolso financeiro.

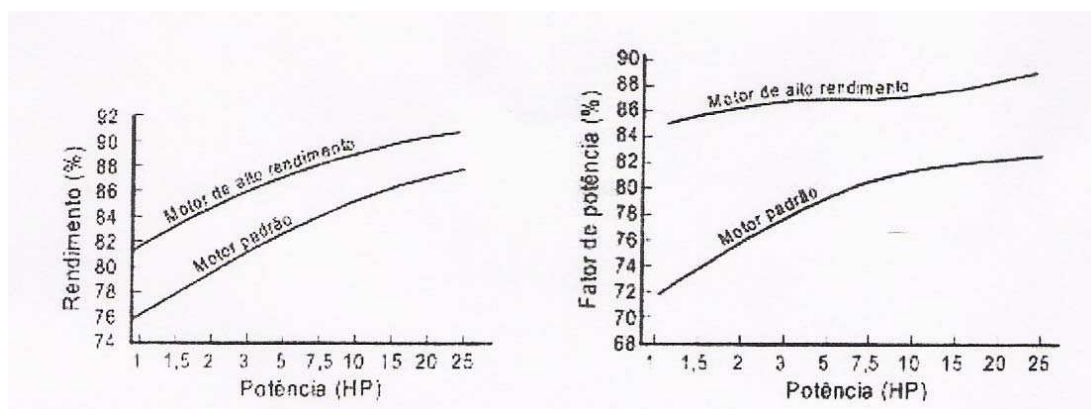


Figura 9 – Comparação de rendimento e fator de potência entre motor de alto rendimento e motor padrão (Fonte: Tisutyia, 2001)

### 2.5.8 – A influência da manutenção

Na busca por melhores índices de qualidade e produtividade, há necessidade de perfeita integração entre as funções produção e manutenção, otimizando da melhor forma as pessoas envolvidas no trabalho e os equipamentos utilizados. A manutenção é o agente natural para redução de desperdícios e para conservação e regulagem de máquinas e equipamentos, a fim de manter inalteradas as características básicas dos produtos e serviços gerados pelas empresas, justificando-se por aumentar a competitividade e agregar valor à produção.

Segundo o Dicionário Aurélio, citado por Gobato [28], “manutenção” é (1) o ato de manter, (2) medidas necessárias para a conservação ou a permanência de



alguma coisa ou de uma situação, (3) os cuidados técnicos indispensáveis ao funcionamento regular e permanente de motores e máquinas.[28]

O planejamento, a programação e a execução da manutenção são atividades operacionais importantes que podem representar significativa economia de energia elétrica. A utilização racional de energia elétrica exige a implantação e o cumprimento de um programa eficiente de manutenção preventiva e corretiva dos motores e das máquinas por eles acionadas, além de modernizações de máquinas muitas vezes a baixos custos, resultando em menores potências.[9] Em outros casos é mais viável a substituição de máquinas antigas e grandes consumidoras de energia elétrica por outras modernas que requeiram menores consumos.

Equipamentos desajustados, com lubrificações deficientes, às vezes com peças defeituosas, mal alinhadas, podem solicitar uma potência do motor superior àquela se a máquina estivesse em perfeitas condições de conservação, provocando um gasto considerável de energia.[9]

Numa inspeção efetuada, em 06/12/04, na estação de bombeamento de água tratada na ETA Porto Novo, para medições de temperatura nos conjuntos de recalque (medidas na carcaça do motor no lado LA e LOA em pontos de maior concentração de metal - Tabela 6), mostrou nos motores de mesmo modelo grandes diferenças de temperatura, indicando a necessidade de manutenção mais constante; e no dia seguinte, em 07/12/04, o rolamento do motor 1 do bombeamento para Caraguatatuba, com potência de 200 cv, veio a travar impossibilitando o equipamento de funcionar, com danos ao motor e à bomba, e dispêndio financeiro para sua volta à operação. Esse fato deixa claro a importância e o propósito da manutenção.

**Tabela 6 – Medições de temperatura nos conjuntos de bombeamento de água tratada - °C (Fonte: Sabesp - 06/12/04)**

Locais de Medição da temperatura	conj. De bombeamento São Sebastião			conj. de bombeamento Caraguatatuba		
	3	2	1	1	2	3
LA	82	desl.	42	98	63	78
LOA	40	desl.	46	46	44	58

LA – lado do motor voltado para a ponta do eixo – lado do acoplamento

LOA – lado oposto ao acoplamento

Complementando, a manutenção é também uma grande fonte geradora de resíduos como borracha, fios e cabos elétricos, graxas, óleos, madeira, metais e panos de limpeza, devendo ser rigidamente controlada para que tais resíduos provoquem mínimos impactos ambientais. No Brasil, por exemplo, 18% de todo óleo básico consumido é novamente refinado, além desse material não ser adequado para compostagem, pois apresenta degradação lenta, tem uma demanda bioquímica de oxigênio (DBO) entre 2 e 4 kg de O<sub>2</sub> por kg de óleo utilizado; se incinerado gera 9,96 kWh/litro, mas sua queima deve ser precedida de desmetalização para atender padrões legais de emissões atmosféricas.[28]

### **2.5.9 – Transformadores**

São equipamentos destinados a transportar energia elétrica, em corrente alternada, de um circuito elétrico para outro, sem alterar o valor da frequência. Quase sempre essa transferência se dá com mudança de valores da tensão e da corrente.[29] Suas perdas são devidas a:

- perdas no núcleo magnético ou perdas no ferro: existentes desde que os transformadores estejam ligados à rede elétrica e são devidas às características magnéticas das chapas de ferro-silício empregadas em sua fabricação, não variando com as cargas ligadas a esses transformadores; já nos transformadores modernos, essas perdas são menores devido ao desenvolvimento tecnológico na fabricação das chapas e aos projetos mais bem elaborados;
- perdas nos enrolamentos ou perdas no cobre: como os transformadores são fabricados com materiais de elevada condutibilidade, normalmente o cobre, essas perdas são devidas à circulação da corrente elétrica pelo condutor, as chamadas perdas ôhmicas ou Joule, caracterizando-se pela variação da resistência do condutor com o quadrado da corrente elétrica que por ele circula e, como neste caso a resistência do condutor é praticamente a mesma, variam com o quadrado da corrente de carga. Nos transformadores modernos

as perdas a plena carga são em média três vezes superiores às perdas no núcleo (Tabela 7).

Obtém-se redução dessas perdas através de medidas de conservação de energia, como: a elevação do fator de potência nas correntes das cargas, reduzindo assim a componente indutiva da corrente, e a distribuição adequada das cargas alimentadas pelo transformador.

**Tabela 7 – Perdas em transformadores conforme ABNT (Fonte: Shoeps, 1993)**

Potência (kva)	Perdas no ferro (W)	Perdas totais (W)
15	120	460
30	200	770
45	260	1040
75	390	1530
112,5	520	2070
150	640	2550
225	900	3600
300	1120	4480
500	1350	6700
750	1500	13500
1000	1900	16500
1500	2500	25000
2000	3900	25100
3000	4900	31700

No caso da ETA Porto Novo, há vários transformadores e, conseqüentemente, perdas consideráveis através desses equipamentos, conforme citado. Desde o início da operação das estações de tratamento de água e de bombeamento de água tratada, operavam dois transformadores com potência de 750 kva em cada estação, com funcionamento simultâneo e as cargas distribuídas entre eles.

Após análise e constatação de que esses transformadores estavam trabalhando com pequenas cargas, essas foram transferidas para um só transformador, em cada estação, ficando o segundo transformador como reserva. Com isso reduziu-se perdas no ferro (fixas), pois conforme citadas anteriormente estas perdas independem da carga, melhorando o fator de potência da instalação.

Posteriormente, na estação de tratamento de água, foram medidas as correntes em cada fase do transformador de 750 kva com carga, obtendo-se 169, 159 e 164 A,

frente a corrente nominal de 984,2 A (especificação do fabricante), portanto, com muita folga ainda.

Os transformadores na ETA Porto Novo estão assim distribuídos:

- um de 112,5 kva na cabine primária para alimentação da iluminação externa, portaria e oficina de manutenção;
- dois de 750 kva na estação de bombeamento de água tratada (um reserva);
- dois de 750 kva no prédio da estação de tratamento de água (um reserva);
- cinco de 50 kva também no prédio da estação de tratamento de água, distribuídos na alimentação de vários circuitos (iluminação, tomadas de uso geral, chuveiros, condicionadores de ar, etc.).

#### **2.5.10 – Ar comprimido**

Utilizado com frequência nas indústrias como força de acionamento, principalmente para auxílio na tarefa de automação de processos. Com os avanços tecnológicos dos últimos anos, foram desenvolvidos compressores, filtros e desumidificadores capazes de fornecer ar comprimido de melhor qualidade, consumindo menos eletricidade. Contudo, ainda assim, muitas instalações industriais de ar comprimido não recebem os cuidados devidos, passando a ser fontes de desperdício de energia.[9]

A conservação de energia num sistema de ar comprimido inicia-se com projeto bem elaborado, uso de materiais e equipamentos de boa qualidade e mão de obra especializada para executar a instalação.

Também deve-se cuidar para manter a temperatura do ar de admissão no compressor, a mais baixa possível; o ponto de captação do ar comprimido deve ser em local de baixa incidência de calor, pois um aumento de 5° C na temperatura do ar aspirado implica no aumento de consumo de energia elétrica da ordem de 1%.[30]

Ao se projetar uma nova instalação, reformar ou ampliar uma antiga, deve-se adotar tubulações com diâmetro 10% maior, acima do calculado, esta medida trará uma redução de 32% na perda de carga, exigindo menos potência dos compressores, conseqüentemente, reduzindo o consumo de energia.

Também é aconselhável utilizar reservatórios de ar suficientemente grandes, com capacidade superior a 100 ou 150 litros para cada m<sup>3</sup>/min de vazão de ar, evitando-se partidas freqüentes do compressor, reduzindo incrustações nos circuitos de arrefecimento e melhorando a retirada de calor do ar com menor demanda de energia.[30]

Outro problema é a contaminação do ar comprimido, pois provoca o mau funcionamento dos equipamentos pneumáticos, ocasionando interrupções na produção e perdas de energia. Os principais contaminantes são a água e o óleo, pois acumulam sedimentos e partículas nos orifícios entupindo-os.

O problema da contaminação por óleo pode ser solucionado na origem, ou seja, evitando-se excesso de óleo na lubrificação do compressor, utilizando separador de condensado, mas não se pode dizer o mesmo sobre a água, pois o ar ambiente sempre contém vapor de água em maior ou menor quantidade. A presença de água no ar provoca oxidação, perda de carga e de rendimento, assim como a deterioração da rede provocando perdas por vazamento. Portanto, é fundamental secar o ar antes que ele circule na tubulação; além disso, é recomendável instalar um resfriador posterior ao compressor cuja saída deve estar acoplada a um separador de condensado, que também recolhe parte do óleo lubrificante, em suspensão no ar, proveniente do próprio compressor.

Para minimizar a contaminação por outros poluentes, como poeira ou gases absorvidos na compressão, é usual a instalação de filtros na tomada de ar pelo compressor.

As redes de distribuição bem projetadas devem ser definidas através um esquema isométrico, a fim de permitir boa visualização da distribuição do ar.

Também sempre que possível, deve-se:

- utilizar drenos automáticos;
- manter a linha de ar comprimido com inclinação entre 0,5% e 1% no sentido do fluxo de ar, evitando que o condensado fique retido entre trechos de drenagem;

- utilizar pressões de operação especificadas em projeto, pressões menores prejudicam o funcionamento dos equipamentos e se elevadas provocam danos aos mesmos, além do aumento do consumo de energia;
- não utilizar a própria tubulação como redutor de pressão, pois isto representa um desperdício de energia.

Vazamentos na rede de distribuição e em válvulas representam fator de desperdício tanto maior quanto mais elevada for a pressão. As válvulas automáticas apresentam menos desperdícios que as manuais, sendo recomendadas para sistemas com pressões elevadas.

A Tabela 8 mostra o consumo de energia necessário para suprir os vazamentos numa rede operando a uma pressão de 7 bar durante 6000 horas/ano.[32]

**Tabela 8 - Consumo de energia elétrica para suprir vazamentos (Fonte: Atlas Copco, 1976).**

Vazamentos		Perda (l/min.)	Potência necessária para comprimir o ar perdido (kW)	Consumo anual (kWh)
diâmetro (mm)	superfície (mm <sup>2</sup> )			
0,8	0,5	12	0,1	600
1,5	1,8	186	1	6000
3	7	660	3,5	21000
6	27	2570	15	90000

Na ETA Porto Novo, tem-se atuações pneumáticas em todas as fases do processo de tratamento (Figura 10); portanto o sistema é dependente de ar comprimido, conseqüentemente, do bom funcionamento das válvulas e dos compressores. O sistema de ar comprimido da ETA apresenta dois compressores, sendo um em stand by para suprir a linha quando o outro compressor estiver inoperante ou quando a pressão na rede diminuir muito.

Apesar dos compressores não receberem a manutenção preventiva recomendada conforme plano do fabricante, a rede pressurizada mantém a pressão necessária para a operacionalidade do processo; mesmo que eventualmente algum atuador de válvula para passagem de água deixe de operar, recebendo apenas manutenção corretiva. Além disso, são freqüentes vazamentos de ar em conexões da rede, filtros, ou mesmo em pontos de aplicação. Esses vazamentos, além de

representarem desperdícios com energia elétrica, podem prejudicar o funcionamento dos atuadores pneumáticos.



**Figura 10 - Sistema pneumático das válvulas dos filtros de areia da ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 2004)**

### **2.5.11 - Automação**

O processo produtivo no mundo vem sofrendo transformações em progressão geométrica nas últimas décadas. O desenvolvimento acelerado da microeletrônica, em conjunto com a evolução e o incremento do uso das tecnologias de telecomunicações, tem sido fatores determinantes nesse processo irreversível da economia mundial, motivando a implantação da automação nos processos produtivos.[33]

O avanço tecnológico vem mudando significativamente as características dos processos industriais, principalmente, pela busca incessante da melhoria da qualidade dos respectivos produtos e, sobretudo, pela minimização dos custos operacionais correlatos.[34]

Dessa maneira, o avanço da tecnologia da automação sobre os processos físico-químico-biológico no saneamento ambiental vem se fazendo presente nas maiores companhias de saneamento do mundo, ocupando um papel fundamental na otimização operacional de sistemas de tratamento e distribuição de água, tratamento de esgotos e gerenciamento de mananciais; além de melhoria da qualidade do

produto, redução da quantidade de matéria-prima a ela agregada, aumento da produtividade e redução do consumo energético, resultando em menor consumo específico de energia.[9]

Conforme Tsutiya [12], a Tabela 9 apresenta os principais benefícios da automação em um sistema de tratamento de água. Para a Sabesp, de um modo geral, a automação proporcionou uma redução nos custos com energia elétrica da ordem de 8% [15]. Tsutiya [12] cita também outros resultados obtidos com a automação:

- redução no consumo de energia elétrica em 24% na ETA do município de Pariquera-Açú;
- racionalização da mão de obra em 73% nas ETA's operadas pela Unidade de Negócio;
- importante melhoria na qualidade da água produzida e no tratamento de efluentes.

**Tabela 9 – Benefícios da automação no tratamento de água (fonte: Tsutiya, 2001)**

<b>Partes do sistema</b>	<b>Benefícios</b>
Processo	Melhoria na eficiência do processo Otimização da energia elétrica Otimização de produtos químicos Detecção das alterações no processo Execução automática de medidas corretivas
Equipamentos	Sinal de alerta imediato de mal funcionamento Capacidade de diagnóstico de problemas em equipamentos Execução automática de medidas corretivas e resposta a situação potencialmente desastrosa Desligamento automático para impedir danos maiores Aumento na vida útil dos equipamentos
Pessoal operacional	Informação confiável sobre o processo Operação mais segura Otimização da mão de obra Capacidade para resolver rapidamente problemas analíticos Minimização do potencial de erro humano Automação de toda a planta de operação Redução das planilhas de preenchimento manual Registros mais completos de dados de operação



Na ETA Porto Novo, apesar da automação representar o sucesso desse processo de tratamento e distribuição de água, ela apresenta problemas constantes em razão dos recursos escassos para manutenção, limitada apenas a correções das falhas.

A automação permite o controle da dosagem precisa dos produtos químicos no tratamento da água, evitando desperdícios no excesso de dosagem, com resposta imediata na correção da mesma, ou alarmando alguma falha no sistema aplicador, através do monitor na sala de controle. Se as dosagens fossem monitoradas manualmente, embora a aplicação continue proporcional à vazão, através de bombas dosadoras interligadas a macromedidores, seriam necessários mais operadores para monitoramento do sistema e não se teria a confiabilidade obtida pela automação.

A automação ainda permite monitorar o nível do tanque de contato onde a água já tratada é reservada. Essa água é utilizada também na lavagem dos filtros, no processo de desinfecção com cloro-gás e na saturação da água com ar (do processo fofiltro). Além disso, essa água reservada é utilizada para abastecer um segundo tanque, de onde se dá o bombeamento para o abastecimento da população. Essa transferência também é automatizada, o sinal analógico, de indicação do nível do tanque de contato, é utilizado na automação deste sistema, controlando a vazão dessa transferência através do uso de inversor de frequência no conjunto moto-bomba.

Com respostas imediatas de falha em alguma parte do processo, reduz-se o tempo para atendimento dos serviços de manutenção, o que evita desperdícios com desgastes acentuados nos equipamentos, redução no abastecimento com prejuízos na receita, além da repercussão da opinião pública. A automação monitora também as condições de mistura ar-água no tanque de saturação, a abertura de válvulas pneumáticas e permite ao operador interferir no processo quando julgar necessário, acionando e desligando equipamentos, etc.

#### **2.5.12 – Alterações no sistema operacional**

É possível obter ganhos na redução do consumo de energia elétrica, com alteração nos sistemas de bombeamento-reservação. Para isso são necessárias análises das curvas de consumo, procurando otimizar o bombeamento através da interrupção, total ou parcial, no segmento horário de ponta, onde as tarifas nas

modalidades horo-sazonais são bem maiores, reduzindo-se assim gastos com demanda e consumo de energia.

Através da comparação entre o volume necessário para consumo no horário de ponta, o volume útil de reservação e o volume bombeado, pode-se optar também por outra alternativa, migrar do sistema tarifário vigente para a modalidade horo-sazonal verde, vindo a desligar o bombeamento no horário de ponta, desde que seja viável economicamente acrescer o volume de reservação, de forma a suprir esta interrupção.[35]

Tsutiya [35] propõe:

- alterações nos sistemas de bombeamento-reservação;
- uso de variadores de velocidade em conjuntos de recalque;
- alterações nos procedimentos operacionais de estações de tratamento de água;

Não é possível adotar essa alternativa, na ETA Porto Novo, já que este sistema de abastecimento de água é dependente de energia elétrica, ou seja, parcialmente na captação, e totalmente no tratamento e no sistema de distribuição, não havendo volume de reservação suficiente na cidade para o desligamento dos motores no horário de ponta, sendo de grande importância conhecer que **“investimentos em reservação de água para desligar um MW são quase 12 vezes inferiores aos necessários para gerar um novo MW com hidrelétrica”**. [12]

O uso de inversor de frequência representa redução no consumo de energia elétrica quando utilizado para manter equilibradas as pressões, ou seja, reduzir a velocidade dos motores à medida que a demanda decresce, evitando sobrepressões nas redes, ou caso aumente a demanda no abastecimento, o mesmo ocorrerá com a velocidade do motor e a pressão da bomba impedindo baixas pressões nos locais mais afastados ou de cotas mais altas.

Conforme se vê na Figura 11 para diversos tipos de variadores de rotação, o rendimento cresce linearmente com o aumento da rotação.

Os inversores de frequência representam a melhor alternativa para controle de vazão entre os variadores indicados nesta Figura, com rendimento entre 75 e 85%, quando a rotação estiver variando entre 50 e 100%. [12]

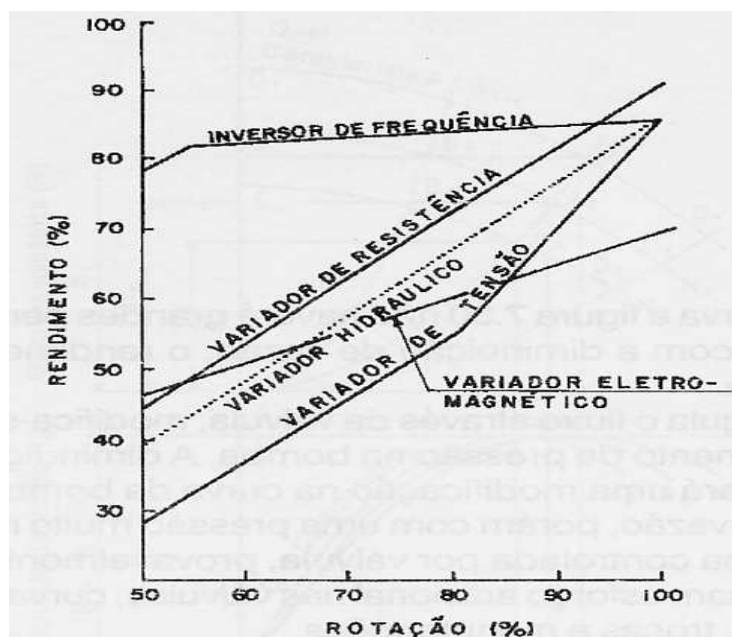


Figura 11 – Rendimento dos variadores em função da rotação (fonte: Tsutiya, 2001)

Para reduzir gastos com consumo de energia elétrica alterando procedimentos operacionais, é fundamental o conhecimento do processo de tratamento, de técnicas operacionais e de informações sobre os equipamentos.[12]

## 2.6 – Comissão interna de conservação de energia (CICE)

A necessidade de conservação de energia elétrica por si só justifica o desenvolvimento e gestão de um programa permanente de conservação de energia, entretanto outros fatores estimulam a necessidade de gestão de consumo de energia elétrica como:[36]

- aumento do custo de energia;
- aumento da demanda interna dada a instalação de novos equipamentos;
- aquisição de equipamentos elétricos sem considerar o fator de potência e/ou especificações técnicas que permitam a redução de consumo de energia;
- falta de aplicação dos conceitos de gestão no uso e conservação de energia.

Portanto, a criação de uma Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE) tem o objetivo de fomentar o desenvolvimento de diferentes práticas de

conservação de energia, implementando ações estratégicas e operacionais de forma a permitir a redução do consumo de recursos energéticos.

Para isso, deve-se desenvolver um programa de educação e conscientização, envolvendo e sensibilizando colaboradores e, com o grupo, estabelecer metas para o programa com uso de diversos veículos de comunicação.[37][38]

### **3 – DESCRIÇÃO DA ETA PORTO NOVO E DA METODOLOGIA DE ANÁLISE**

Neste capítulo é apresentada a ETA Porto Novo, com uma breve apresentação do seu processo de tratamento de água e a metodologia aplicada para obter os resultados utilizados na análise do funcionamento da ETA, sob o ponto de vista do consumo de energia elétrica.

#### **3.1 –ETA Porto Novo**

Essa estação de tratamento de água da Sabesp entrou em operação em julho de 1998 e está localizada no bairro Porto Novo, no município de Caraguatatuba, no Estado de São Paulo. A Figura 12 apresenta uma fotografia do principal conjunto das edificações relacionadas com o tratamento de água da ETA Porto Novo.

Atualmente a ETA tem capacidade de tratamento de 555 l/s, contudo existe projeto de expansão para dobrar a sua capacidade, mas ainda sem previsão. O processo de tratamento empregado é o flofiltro, flotação por ar dissolvido (FAD), que além da qualidade na produção de água potável, proporciona uma significativa redução nos custos de implantação de uma estação de tratamento de água, pois elimina os clarificadores ou tanques de decantação, normalmente empregados em processos convencionais. O processo flofiltro é descrito no subitem adiante.

A ETA é provida de um sistema operacional automatizado, podendo o operador interferir sempre que julgar conveniente, alterando parâmetros de controle de modo a dinamizar a operação.[39]



**Figura 12 - Principal conjunto de edificações relacionadas com o tratamento de água da ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 2004).**

### **3.1.1 – Descrição do processo floculatório**

Historicamente, esse processo teve início após a revolução industrial na Inglaterra (séc. XVIII), de uma forma muito simples, mas eficiente. A primeira patente sobre essa técnica ocorreu em 1860 no Reino Unido, sendo que consistia na mistura de grandes quantidades de óleo ao carvão bruto moído em suspensão na água; o óleo flutuando arrastava para a superfície grande parte do minério desejado. A técnica foi evoluindo e, em 1902, Froment propõe a introdução de bolhas de ar na mistura minério bruto + água + óleo, com a finalidade de separar substâncias oleadas.

A partir dessa data, tiveram início as técnicas modernas sobre flotação em aplicações industriais. A técnica de flotação por ar dissolvido (FAD), foi descoberta por H. Norris em 1907, injetando água e ar submetido à alta pressão num tanque contendo minério bruto e óleo à pressão atmosférica, observou a ocorrência de pequenas bolhas que surgiram pela brusca despressurização do volume de água saturada de ar.

Após a 2<sup>a</sup> guerra mundial, o processo de flotação passou a ser utilizado pela indústria para separação de óleos, tintas, recuperação de gorduras, tratamento de esgotos domésticos, etc.

Na área de tratamento de água, a técnica de flotação começou a ser aplicada para aumento da eficiência em razão da eutrofização de mananciais de serra (desenvolvimento exagerado de algas), promovendo o arraste da matéria orgânica para a superfície. A partir da década de sessenta passou a ser utilizada no tratamento de água nos seguintes países europeus como Suécia, Noruega, Finlândia, Grã-Bretanha, além da Austrália e Estados Unidos. No Brasil, as primeiras cidades a utilizar essa técnica foram Joinville, Mairiporã, Itú e Sumaré.

A Figura 13 apresenta uma fotografia do processo flofiltro na ETA Porto Novo, pode-se ver ao fundo os dois tanques de saturação de água por ar, preenchidos em aproximadamente 50% com água e 50% com ar; no primeiro plano vê-se os reservatórios para flotação/filtração de água.



**Figura 13 – Vista do sistema flofiltro (Fonte: Sabesp, 2004)**

### 3.1.2 - Princípio e aplicação do processo

A flotação consiste no arraste para a superfície de partículas sólidas (colóides) na forma de flocos presentes na massa líquida, estabilizada pela ação do coagulante (sulfato de alumínio). A ascensão se dá através da adição, aos flocos, de pequeninas bolhas produzidas pela redução brusca da pressão da água saturada com ar proveniente dos tanques de saturação, onde a pressão média de trabalho é de 5 kgf/cm<sup>2</sup>, variando conforme a característica da água bruta, entre 4,5 e 5,5 kgf/cm<sup>2</sup>.

A água saturada com ar é misturada à água floculada numa câmara de expansão que antecede os flofiltros, momento no qual o excesso de ar comprimido dissolvido na água se desprende na forma de microbolha, aderindo quase que instantaneamente aos flocos, sendo arrastados à superfície, formando um manto de lodo que, dependendo da característica da água bruta, é mais ou menos espesso.

O lodo acumulado na superfície é periodicamente removido pelos raspadores e, futuramente, acumulará em um tanque para ser recalcado à estação de tratamento de esgotos.

A técnica é um processo que tem custo baixo de implantação principalmente por ocasião de reforma de plantas nas quais pretende-se aumento de vazão, e cuja água captada, de alguma forma, apresenta variações bruscas de temperatura, eutrofização, grande concentração de ar dissolvido, cor e baixa turbidez, situação comum em mananciais de serra utilizados para abastecimento nas regiões litorâneas do Estado de São Paulo. Assim, o sistema flofiltro mantém a estabilidade do tratamento mesmo com estas grandes variações citadas.[39]

### 3.1.3 – A concepção da ETA Porto Novo

Projeto concebido na forma modular permitiu um ganho significativo de vazão em relação ao projeto de uma ETA Convencional, já que esta planta é mais compacta, sendo construída em 13 meses, assegurando uma expansão modular de baixo custo.



O projeto prevê abastecimento de água abrangendo a maior parte das cidades de Caraguatatuba e São Sebastião, localizadas no Litoral Norte do Estado de São Paulo.

A água bruta captada é oriunda de dois locais:

- Alto Rio Claro: manancial preservado no alto da Serra do Mar, aduzida por gravidade, com uma vazão entre 900 e 1000m<sup>3</sup>/h, sendo o complemento da demanda de consumo aduzido pela captação do Baixo Rio Claro;
- Baixo Rio Claro: manancial sem contaminações significativas, onde há um sistema de bombeamento da água bruta para regularizar parâmetros de fluxo e qualidade da água.

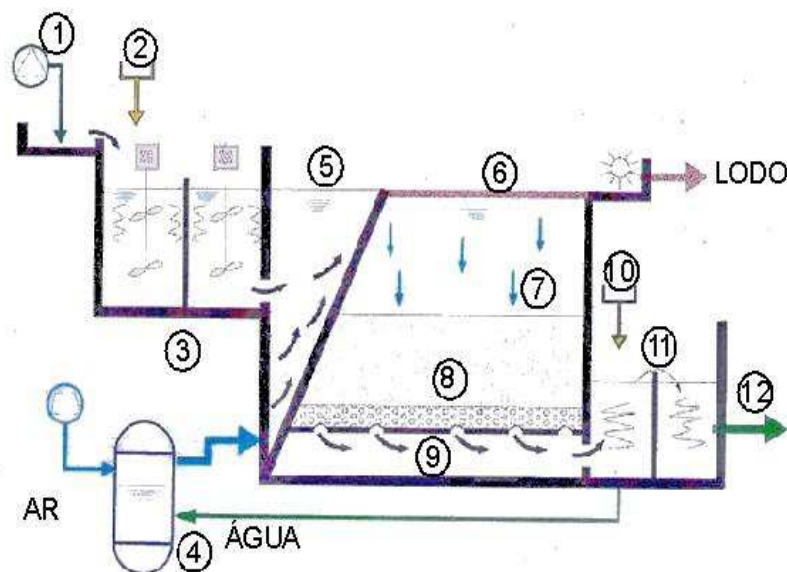
Este sistema de bombeamento está equipado com dois conjuntos de recalque, sendo um reserva, com capacidade individual de 1490 m<sup>3</sup>/h. Estes conjuntos de bombeamento têm acionamento por inversor de frequência e são integrados por controlador lógico programável (PLC) à ETA, através de linha telefônica, sendo seu controle automático, em função da demanda de água tratada.

Concepção do tratamento:

- registro e medição da vazão de água bruta;
- dosagem de coagulante e pré-alcalinização;
- floculação mecanizada;
- flotação de flocos;
- filtração rápida/gravidade;
- correção final de pH;
- pós-cloração ou desinfecção final.

A Figura 14 apresenta um esquema do funcionamento da ETA Porto Novo.

**Representação Simplificada da ETA  
Processo Flofiltro com aplicação da técnica FLOTAÇÃO**



1. Captação de água junto ao Rio Claro
2. Aplicação de produtos químicos: cloro, sulfato de alumínio e hidróxido de cálcio
3. Floculação mecanizada – agregação das impurezas em flocos
4. Mistura de ar/água sob pressão – água saturada com ar
5. Flotação dos flocos através da injeção de água saturada com ar
6. Impurezas separadas por flotação – lodo removido mecanicamente
7. Água clarificada
8. Leito filtrante – pedregulho/areia
9. Água filtrada
10. Adição de cloro, flúor e hidróxido de cálcio
11. Reservação, contato (reação com produtos químicos)
12. Água potável para distribuição, capacidade para 1ª etapa 550 l/s

**Figura 14 – Fluxograma da ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 1998)**

### 3.1.4 - Breve descritivo da operação da ETA

A água bruta é recebida na estação em uma caixa de chegada, onde é aplicado a pré-cloração (desinfecção preliminar) e a cal (alcalinizante), passando por um medidor de vazão calha Parshall e daí dividida em três módulos distintos de floculação e coagulação. O volume coagulado é direcionado a três sistemas distintos de floculação mecanizada. A floculação dos coágulos é promovida em três etapas com diferentes gradientes introduzidos por flocladores mecânicos de fluxo axial. O volume floclado é direcionado ao respectivo flofiltro, onde ocorre a flotação/filtração. Existem três módulos floclador/flofiltro, com vazão unitária

nominal de 700m<sup>3</sup>/h. Nestes o lodo flotado na superfície é recolhido numa calha de concreto por raspadores giratórios superficiais.

O volume filtrado é conduzido a um tanque de contato (para ação do cloro), pela abertura de válvulas pneumáticas, onde ocorre a correção de pH (pela aplicação de leite de cal), a aplicação de flúor, e o cloro para desinfecção final. Desse tanque de contato a água é retirada para bombeamento na retrolavagem dos filtros de areia, para incorporação do gás-cloro utilizado na desinfecção final da água, e para o reservatório (RPN-1), de onde é recalçada para as redes de distribuição de Caraguatatuba e de São Sebastião, já que a maior parte do abastecimento é diretamente aos pontos de consumo, ou seja, sem reservação.

Os reservatórios (tanque de contato e RPN-1) exercem um papel estratégico de reservação de água tratada, pois se seus níveis baixarem além de um valor mínimo, desligam os conjuntos de bombeamento por um período de tempo até que o nível adequado seja restabelecido.

Na operação de lavagem de um filtro, antes do retro-bombeamento da água, este filtro recebe uma injeção momentânea de ar e água durante um minuto, aplicado por um conjunto moto-sopradores de ar e por uma das bombas de lavagem de filtros. Após este período de tempo, desliga-se o soprador de ar e a segunda bomba de lavagem de filtros é acionada, por mais doze minutos, simultaneamente com a primeira.

Na sala de dosagem de produtos químicos, o leite de cal, dosado por bombas de fluxo positivo, é preparado em um outro tanque através de mistura de cal à água. O coagulante sulfato de alumínio e o flúor são estocados em reservatórios de fibra de vidro e daí dosados de acordo com a vazão tratada.

Para realização dessas operações brevemente enunciadas, de forma direta ou indireta, utilizam-se equipamentos que demandam energia elétrica. Esses equipamentos e seus procedimentos de operação serão analisados no capítulo quatro com enfoque em possíveis reorientações para redução do consumo de energia e, como consequência, contribuir para redução do impacto ambiental associado à produção de energia elétrica. No anexo D deste trabalho está disposto um banco de dados a respeito dos equipamentos elétricos instalados na ETA Porto Novo para consulta do leitor ou como referência para trabalhos futuros.

### 3.2 – Metodologia utilizada

A idéia do presente trabalho foi inserir a ETA Porto Novo no contexto da NBR ISO 14001 [40] cuja função é auxiliar organizações no processo de gerenciamento das atividades que têm impacto no ambiente. Para isso, realizou-se estudo da bibliografia existente sobre eficiência energética seja na indústria, comércio ou serviço, a fim de utilizar este conhecimento tecnológico para explicar como os fenômenos elétricos influenciam os equipamentos no caso estudado, identificando fontes potenciais de conservação de energia elétrica. Parte das informações importantes dessa revisão bibliográfica foi apresentada no Capítulo 2, para que o leitor se posicione. Outras informações são diretamente utilizadas na análise dos equipamentos e processos da ETA, no Capítulo 4.

Para realização dessa análise, além da revisão bibliográfica, foi preciso uma pesquisa de campo para levantar as condições de funcionamento dos equipamentos e operações, além de documentos internos, normas, contratos de fornecimento de energia, faturas de consumo de energia do período estudado e as correspondências emitidas e recebidas da concessionária.

Visando reduzir desembolsos financeiros com energia elétrica, desde 2000 o contrato de fornecimento de energia elétrica tem sido alterado, atendendo sempre a novas exigências operacionais, além das faturas serem conferidas da forma apresentada na seqüência do presente trabalho.

Devido ao grande número de equipamentos instalados, a análise limitou-se a alguns, dentre os quais os conjuntos de bombeamento de maior potência (250cv), certo que estes têm maior representatividade no consumo de energia elétrica, efetuando-se medições de parâmetros elétricos e hidráulicos, para então ponderar sobre as condições atuais de seu dimensionamento, entre outras questões.

## **4 – ANÁLISE DA ETA PORTO NOVO**

Baseado nas discussões e definições realizadas no Capítulo 2 e na apresentação do funcionamento da ETA Porto Novo no Capítulo 3, este capítulo faz uma análise energética/econômica de operações ou equipamentos da ETA que representam uma parcela importante do montante de energia elétrica consumida.

### **4.1 – Redução nas despesas com energia elétrica**

A ETA Porto Novo iniciou as atividades em 1998, e nesse período ocorreram diversos ajustes dos equipamentos instalados e revisões na disciplina operacional. Somando-se a isso, a evolução do conhecimento do processo produtivo e a otimização do uso dos equipamentos ao longo das horas do dia e das épocas do ano têm contribuído para uma melhor definição da demanda contratada. Contudo, apesar da melhor definição com o amadurecimento da operação da ETA, ocorreram ao longo desses anos diversas ultrapassagens dos valores da demanda contratada. Com isso a empresa foi penalizada com cobranças devido a essas ultrapassagens com tarifas três vezes a nominal.

Ao longo do funcionamento da ETA, diversas alterações dos valores de demanda no contrato foram formalizadas junto à concessionária, alterando-as em função de históricos registrados e de novas condições operacionais, obtendo-se redução dessa parcela da fatura. Por outro lado, há um aumento gradativo do consumo de energia elétrica, devido principalmente ao crescimento do número de novas ligações de água, o que obriga uma revisão periódica da demanda contratada.

Outra ação que também refletiu positivamente na redução da demanda contratada foi a chamada modulação da curva de carga, ou seja, o deslocamento de

algumas cargas elétricas do horário de ponta, sem prejudicar a operação do sistema, reduzindo o consumo de energia elétrica neste segmento horário.

Um exemplo de como a modulação de carga é importante para redução no valor da fatura de energia elétrica, é o impedimento da lavagem dos filtros durante o horário de ponta, prática normal desde o início da operação da ETA. Para lavagem dos filtros é acionado o soprador de ar (75 kW) operando isoladamente durante um minuto, no segundo minuto aciona-se uma das bombas de retrolavagem; no terceiro minuto desliga-se o soprador e aciona-se a segunda bomba de retrolavagem de filtro (50 kW), permanecendo ambas por mais 10 minutos. Mesmo definido que a lavagem dos filtros está proibida no horário de ponta, esta operação só é executada após o desligamento de um conjunto de bombeamento de água para Caraguatatuba, o que representa 150 kW a menos na demanda desta operação, reduzindo-se desta forma a demanda nos segmentos horários de ponta e fora de ponta.

Para se ter idéia da participação do custo da demanda no valor total da fatura de energia elétrica da ETA Porto Novo, no mês de maio de 2003, representou 41,7% do valor da fatura sem considerar os impostos que incidem.

A Tabela 10 apresenta como foi a evolução da revisão da demanda contratada entre os anos 2000 e 2004. Nota-se que já no ano 2000 ocorreram alterações para ajustar a demanda contratada para valores menores, em razão da melhor avaliação das necessidades de consumo. A Tabela 10 também mostra que, em meados de 2002, as demandas nos horário de ponta e fora de ponta precisaram ser reajustadas para valores mais altos em função do aumento de consumo de água.

**Tabela 10 – Demanda contratada na ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 2004)**

Segmento Horário	Valores de demanda (kW)							
	Ano 2000			2001	2002	2003	2004	
Ponta	1290	450	550	550	550	700	700	700
Fora de ponta	1290	510	750	750	750	800	800/700	700

A Tabela 11 apresenta as cargas elétricas mais significativas na ETA Porto Novo e mostra que as maiores operam 24 horas por dia, não podendo ser desligadas no horário de ponta por não haver reserva de água para suprir este período.

**Tabela 11 – Cargas elétricas mais significativas na ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 2004)**

Quant.	Pot. (kW)	Função do equipamento	Rotina de operação
2	185	Bombeamento água S. Sebastião	24 h/d
2	150	Bombeamento água Caraguatatuba	24 h/d
1	150	Bombeamento água Caraguatatuba	Somente nas grandes demandas e consumo (FPU, FPS)
1	75	Transferência água p/ reservatório	24 h/d
1	75	Soprador de ar	2 min. FPU, FPS e desligado 1 bombeamento para Caraguatatuba
1	55	Lavagem dos filtros	11 min. FPU, FPS, simultaneamente ao soprador, e desligado 1 bombeamento para Caraguatatuba
1	55	Lavagem dos filtros	10 min. FPU, FPS, após desligamento do soprador e 1 bombeamento para Caraguatatuba
2	37	Sistema de saturação de água com ar	24 h/d

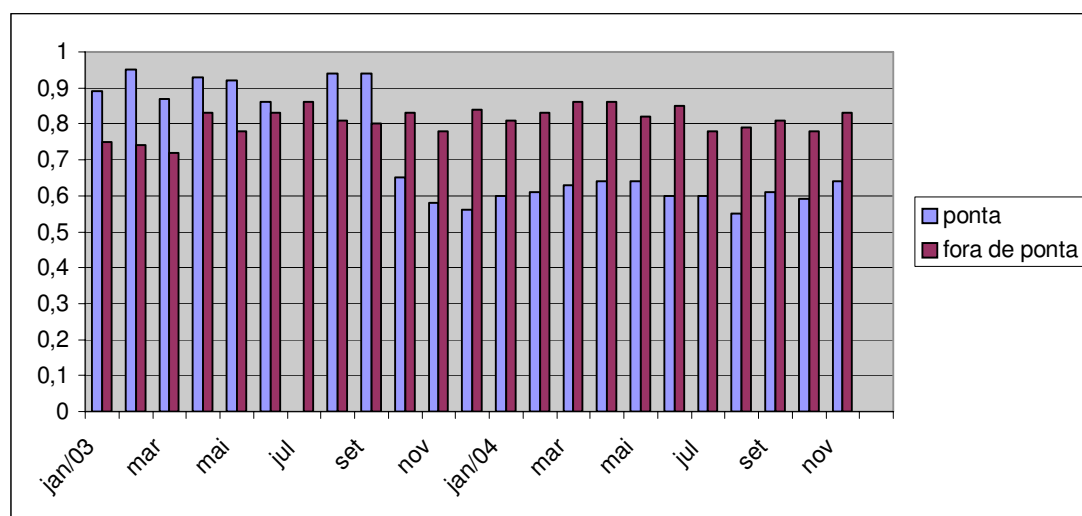
Baseado na Tabela 10 vê-se que para a ETA Porto Novo não é possível um contrato de demanda no sistema tarifário Convencional, já que nesse a limitação de demanda é de 500 kW. A escolha pela melhor opção tarifária foi obtida por simulação entre os sistemas Horo-sazonal Azul e Verde, aplicando as tarifas do Anexo A aos valores de consumo e demanda de uma fatura aleatória, do mês de maio/03, nas mesmas condições de funcionamento, obtendo os resultados da Tabela 12.

**Tabela 12 – Simulação do sistema tarifário (Fonte: Sabesp, 2004)**

Valores registrados em faturas		Grupo tarifário (R\$)	
(mês de referência: maio/03)		HS – Azul	HS - Verde
Consumo ponta	35.330 kWh	5.614,18	25.404,60
Consumo fora de ponta	345.232 kWh	26.087,46	26.087,46
Demanda ponta	700 kW	19.971,00	6.657,00
Demanda fora de ponta	700 kW	6.657,00	6.657,00
<b>TOTAL (R\$)</b>		<b>58.329,64</b>	<b>64.806,06</b>

Vê-se na Tabela 12 que a aplicação das diversas tarifas do grupo tarifário Azul para consumo e demanda, nos segmentos de ponta e fora de ponta, é a mais econômica e deve ser mantida. A tarifação Horo-sazonal Verde poderia mais vantajosa se as cargas fossem desligadas no horário de ponta, onde esta tarifação tem grande impacto no valor total da fatura, o que não é viável por não haver reservação de água suficiente para suprir o consumo, neste segmento horário.

Conforme descrito no item 2.5.3, o fator de carga (FC) indica se as cargas elétricas foram bem distribuídas ao longo do tempo (valores próximos a 1) ou se houve concentração (valores tendendo a 0). A Figura 15 indica o fator de carga nos segmentos ponta e fora de ponta, para o período entre janeiro de 2003 e dezembro de 2004, mostrando bom aproveitamento da energia com FC alto no segmento fora de ponta, e no segmento de ponta valores abaixo de 0,7 em vários meses, indicando que está ocorrendo concentrações de cargas em alguns períodos, com má utilização da energia.



**Figura 15 – Fator de carga na ponta e fora de ponta, no período estudado (Fonte: Sabesp, 2004)**

A conferência das faturas também tem papel preponderante, pois os sistemas informatizados das concessionárias são alimentados por registros coletados por funcionários, da memória de massa dos chamados analisadores de energia capazes de medir continuamente as grandezas elétricas de interesse, fornecendo registros a cada intervalo de tempo específico. Nesse processo, da medição até a entrega da fatura,



podem ocorrer erros. Todavia desde meados de 2000, já era rotina a conferência de todos os lançamentos nas faturas, sendo eventualmente encontrado valores faturados diferentes dos registrados ou dos contratados, constantes multiplicativas diferentes das do registrador, etc., resultando em devoluções das faturas à concessionária para correção e se devido a restituição dos valores pagos.

Uma outra forma para acompanhamento do uso eficiente da energia elétrica é a adoção de um índice de consumo específico para avaliar a quantidade de energia utilizada por unidade do produto manufaturado pela empresa, que nesse caso é a relação entre a energia consumida (kWh) por unidade de produção de água tratada ( $m^3$ ), que conforme Tsutiya [12], na Sabesp está em torno de  $0,6 \text{ kWh}/m^3$  e no caso da ETA Porto Novo apresenta uma variação de  $0,35$  a  $0,47 \text{ kWh}/m^3$ , conforme a Figura 15. Assim, pode-se concluir que o consumo específico da ETA em relação ao valor médio da Sabesp é bastante razoável em razão do processo de tratamento.

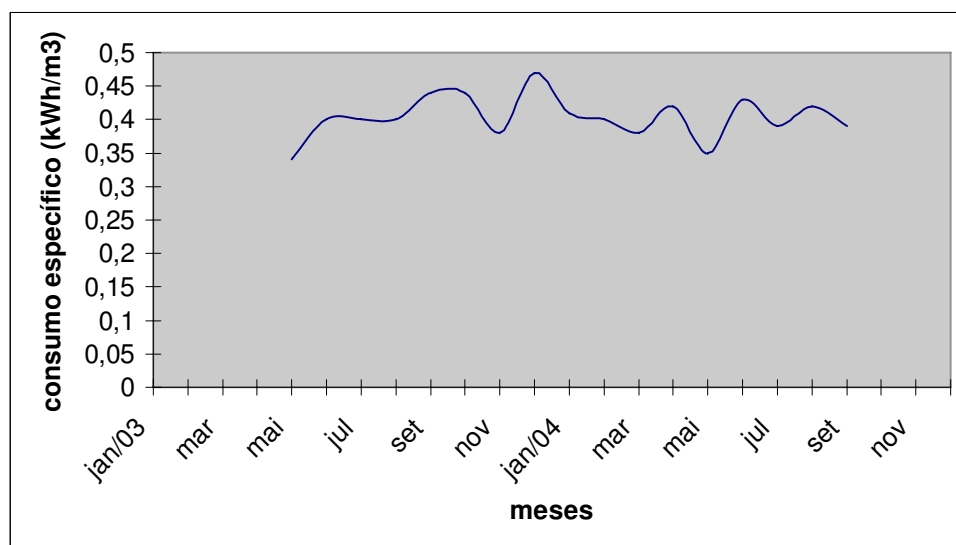


Figura 16 – Índice de consumo específico na ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 2004)

Paralelamente a estas ações, outras medidas devem ser implementadas para reduzir o desembolso financeiro devido a gastos com energia elétrica, conforme os comentários seguintes.

A distribuição de água da ETA Porto Novo para Caraguatatuba é em sua maioria bombeada diretamente para os pontos de consumo pelo acionamento dos motores por inversores de frequência de forma não automática, ou seja, não há

variação da rotação dos conjuntos de bombeamento, de forma a controlar a pressão na rede, de acordo com maior ou menor consumo de água.

Essa variação da velocidade do motor, e conseqüentemente da vazão e pressão da bomba, varia a potência elétrica requerida pelo motor, o que resultaria em economia com esse item.

Sem esse controle de pressão e com a redução de consumo de água nos períodos noturnos, a pressão na adutora cresce aumentando a incidência de vazamentos.

Outras intervenções no sistema de tratamento e entrega de água aos clientes induzem a economia com gastos em energia elétrica:

1) Setorização com estudos para fechamento de malhas nas redes de distribuição de água e instalação de válvulas reguladoras de pressão para manter as pressões mais equilibradas e dentro de valores adequados. Desta forma reduz-se o índice de perdas com vazamentos, melhoram-se as condições para manutenção em redes, com bloqueio de áreas menores sem prejuízo no abastecimento de áreas circunvizinhas, e diminui-se a necessidade de bombeamento de água na ETA.

2) Substituição de redes antigas com secções reduzidas e subdimensionadas por outras de maior diâmetro, reduzindo-se perdas de carga no bombeamento.

3) Eliminação de ar em tubulações de conduto forçado, diminuindo as perdas de potência no bombeamento para abastecimento de pontos distantes.[12]

4) Uso de conjunto de bombeamento auxiliar (“booster”), junto aos locais mais distantes e/ou de cotas elevadas, de modo a manter pressões mínimas a fim de que o sistema de bombeamento da ETA Porto Novo opere com pressão e potência reduzidas.[41]

5) Eliminação de vazamentos de água nos equipamentos de bombeamento, ocasionados por gaxetas já gastas ou mal ajustadas, flanges mal apertadas, ventosas com necessidade de manutenção, bóias de reservatórios permitindo passagem de

água pelo extravasor, pontos de descarga para limpeza de rede sem controle de tempo e vazão, contribuindo para grandes desperdícios de água.

6) Na ETA, a substituição de torneiras, válvulas de descarga e mictórios convencionais de elevada vazão, por unidades economizadoras ou com sensores óptico que economizam até 80% de água.[42] De acordo com Tsutiya [12], a substituição de 434 torneiras convencionais por torneiras de fechamento automático e 158 válvulas de descarga propiciou uma economia de água, no Condomínio São Luiz em São Paulo, da ordem de 16%.

7) Evitar o uso de equipamentos mal regulados para dosagem de produtos químicos no tratamento, provocando vazamentos.

8) Campanha institucional para evitar abusos no uso, tema que envolve uma grande diversidade de linhas de ação, como mudanças de hábitos e cultura, aspectos normativos, legais e tecnológicos.[35]

9) Reuso da água de lavagem de filtros, com potencial de uso para lavagem de pisos, rega de jardins, etc.

#### **4.2 – Análise do dimensionamento dos motores de maior consumo**

Neste item faz-se uma análise relacionando a condição de operação com o consumo de energia elétrica dos motores de maior consumo da ETA, que corresponde aos motores do processo de bombeamento para as cidades atendidas. A análise foca o sistema de bombeamento e distribuição de água para a cidade de São Sebastião, que conforme já citado, não apresenta inversores de frequência no acionamento dos motores. No final desse item serão feitos alguns comentários sobre a situação do sistema de bombeamento para Caraguatatuba.

No sistema de bombeamento escolhido para análise há três conjuntos que normalmente operam em dupla, mantendo um como reserva. A Tabela 13 apresenta as opções de como pode operar o sistema de bombeamento, conforme leituras

obtidas em janeiro de 2003. A Figura 16 mostra os conjuntos de bombeamento para cidade de São Sebastião.

**Tabela 13 – Leituras hidráulicas e elétricas obtidas no bombeamento para cidade de São Sebastião (Fonte: Sabesp, 2003).**

Conj.	Tensão (V)	Corrente (A)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Pressão (mca)	Velocidade (m/s)
4	435	290	540	97	0,78
5	435	280	551	100	0,91
6	435	300	576	103	0,94
4 e 5	435	225 e 210	607	115	0,96
4 e 6	435	190 e 240	610	117	0,98
5 e 6	435	190 e 235	614	118	1



**Figura 17 - Sistema de bombeamento da distribuição de água para São Sebastião (Fonte: Sabesp, 2004)**

Na Tabela 13 pode-se ver que os conjuntos operando simultaneamente apresentam reduções significativas de vazões em relação à soma das vazões individuais. Por exemplo, para o conjunto formado pela associação das bombas 4 e 5, de mesmo fabricante (apresentada em primeiro e segundo plano respectivamente na Figura 17), se elas operassem individualmente a soma das vazões seria 1091 m<sup>3</sup>/h; contudo, na associação em paralelo a vazão obtida é de 607 m<sup>3</sup>/h, representando uma redução na vazão total de 44,40%. Para as associações formadas pelas bombas 4 + 6

e 5 + 6 essa redução atinge 45,30% e 45,50%. Cabe aqui lembrar que o motor 6, embora de mesma potência que os motores 4 e 5, é de outro fabricante.

Esses resultados mostram que associações em paralelo levam a reduções de vazão, com perdas significativas de energia, não influenciando a potência reativa consumida pelos motores que é a mesma para qualquer vazão.

A seqüência de análise será feita para as bombas 4 e 5 operando individualmente e na associação em paralelo. Para avaliar o potencial de economia no redimensionamento destes motores, foi adotado o seguinte roteiro de cálculo: [29][31]

Potência nominal ( $P_n$ ).....especificação do motor (cv)

Potência ativa ( $P_a$ )..... $P_a = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi$  (W)

Potência útil ( $P_u$ )..... $P_u = P_a \cdot \eta / 736$  (cv)

Potência requerida pela bomba (P)..... $P = \gamma \cdot Q \cdot H / 270 \cdot \eta$  (cv)

Sendo:

$\gamma$  - peso específico do fluido em  $\text{kgf/dm}^3$

Q - vazão em  $\text{m}^3/\text{h}$

270 - fator de conversão de unidade

H - altura manométrica em m

$\eta$  - rendimento da bomba

*1) Para cada conjunto operando isoladamente*

$P_a = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi$        $\varphi$ .....valor de placa (fornecido pelo fabricante)

$P_{a(4)} = \sqrt{3} \cdot 435 \cdot 290 \cdot 0,89 = 194463 \text{ W}$  ou 264,2 cv

$P_{a(5)} = \sqrt{3} \cdot 435 \cdot 280 \cdot 0,89 = 187758 \text{ W}$  ou 255,1 cv

OBS: estes valores da  $P_a$  são maiores que o da  $P_n$  (especificação do fabricante e igual a 250 cv), por incorporarem as perdas mecânicas, as devido a circulação da corrente nos condutores e as originadas nas chapas de ferro do estator.

$$P_u = Pa.\eta. / 736 \quad \eta \dots\dots\dots \text{valor de placa (fornecido pelo fabricante)}$$

$$P_{u(4)} = 194463.0,90 / 736 = 237,8 \text{ cv}$$

$$P_{u(5)} = 187758.0,90 / 736 = 229,6 \text{ cv}$$

O cálculo a seguir apresenta a potência (teórica) requerida pela bomba com uso do rendimento obtido nos gráficos originais das bombas, não havendo correspondência entre os valores de pressão e vazão reais quando inseridos na curva da bomba. Procurou-se, portanto, adotar valores de vazão da Tabela 13 como parâmetro, plotando na curva original da bomba para encontrar o rendimento:

$$P = \gamma.Q.H / 270.\eta$$

$\eta \dots\dots\dots$  valor obtido graficamente:

para a bomba 4 – identificação do fabricante OP 225470.....  $\eta=0,755$  (Anexo C)

para a bomba 5 – identificação do fabricante OP225471.....  $\eta=0,75$  (Anexo D)

$$P_{(4)} = 1.540.97 / 270.0,755 = 256,95 \text{ cv}$$

$$P_{(5)} = 1.576.103 / 270.0,751 = 292,59 \text{ cv}$$

A potência P requerida pela bomba deveria ser igual à Potência útil  $P_u$  disponível na ponta do eixo do motor, o que não se comprova devido aos gráficos utilizados para obter os rendimentos das bombas serem datados de 27/09/96, no início da operação da ETA, vindo a sofrer alterações em suas características, e a perder rendimento ao longo desses anos:

para o conjunto 4       $P_u = 237,8 \text{ cv}$  e  $P = 256,59 \text{ cv}$       diferença de 18,79 cv

para o conjunto 5       $P_u = 229,6 \text{ cv}$  e  $P = 292,59 \text{ cv}$       diferença de 62,99 cv

Também atribuem-se erros aos equipamentos de medição (tensão, corrente elétrica, vazão e pressão de recalque).

A relação entre a potência útil e a nominal é:

$$P_u/P_n$$

$$P_{u(4)} / P_n = 237,8 / 250 = 0,951$$

$$P_{u(5)} / P_n = 229,6 / 250 = 0,918$$

Como cada uma dessas relações é superior a 0,75 pode-se considerar que o motor está compatível com a tarefa que executa se operando isoladamente, não havendo potencial de economia de energia; caso contrário, seria necessário consultar as curvas características do fabricante do motor em questão e selecionar a potência nominal mais próxima à útil calculada, certificando-se de que o quociente  $P_u/P_n$  esteja na faixa de 0,75 a 1,0 para este novo motor.

2) *Para os conjuntos 4 e 5 operando na associação em paralelo:*

A associação das bombas 4 e 5 operando em paralelo possui vazão total de 607 m<sup>3</sup>/h, assim a potência ativa em cada motor nesta associação é:

$$P_a = \sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos\varphi$$

$$P_a(4) = \sqrt{3} \cdot 435 \cdot 225 \cdot 0,89 = 150877 \text{ W ou } 205 \text{ cv}$$

$$P_a(5) = \sqrt{3} \cdot 435 \cdot 210 \cdot 0,89 = 140818 \text{ W ou } 191,3 \text{ cv}$$

A potência útil na ponta do eixo de cada motor é de:

$$P_u = P_a \cdot \eta / 736$$

$$P_u(4) = 150877 \cdot 0,90 / 736 = 184,5 \text{ cv}$$

$$P_u(5) = 140818 \cdot 0,90 / 736 = 172,2 \text{ cv}$$

Nessa condição de associação, os motores de 250 cv das bombas 4 e 5 estão superdimensionados, pois fornecem apenas 184,5 e 172,2 cv na ponta do eixo, respectivamente, e a relação entre  $P_u$  e  $P_n$  é:

$$P_u/P_n$$

$$P_u(4)/P_n = 184,5/250 = 0,74$$

$$P_u(5)/P_n = 172,2/250 = 0,69$$

Para a potência requerida em cada bomba dessa associação, adotou-se a vazão em cada bomba como sendo a metade da vazão da associação, ou seja,  $607/2 = 303,5$  m<sup>3</sup>/h:

$$P = \gamma.Q.H / 270.\eta \quad \text{adotado } \eta = 0,74 \text{ (valor médio dos } \eta \text{ das bombas)}$$

$$P = 1.303,5.115 / 270.0,74 = 174,7 \text{ cv}$$

que deveria ser igual à potência útil na ponta do eixo do motor, ou seja:

$$P_u \text{ deveria ser igual a } P = 174,7 \text{ cv}$$

então:

$$P_u/P_n = 174,7/250 = 0,70 \text{ (potência com folga estimada em 30\%)}$$

Desta forma, para a condição de dois conjuntos operando simultaneamente em paralelo, cada um apresenta uma redução de vazão da ordem de 44,40% , conforme já comentado, e cada motor apresenta uma folga de aproximadamente 30% na potência nominal, ou seja, 75 cv.

Para a condição de bombeamento em paralelo com vazão total de 610 m<sup>3</sup>/h e altura manométrica de 117 mca (condições operacionais da associação dos conjuntos de bombeamento 4 e 6), a empresa fabricante de bombas centrífugas KSB (Anexo B – Curva de bomba) dimensionou uma única bomba requerendo 322,4 cv, para utilização com motor de potência comercial de 350 cv. Nota-se que nessa condição temos 500 cv instalados, e são utilizados apenas 350 cv (500 cv – 2x75 cv), situação que poderia ser alterada utilizando apenas um conjunto de bombeamento de 350 cv. É importante lembrar que a potência reativa é sempre a mesma qualquer que seja a carga ligada ao motor, havendo, portanto, redução da potência reativa na substituição dos dois conjuntos de 250 cv por um único de 350 cv.



A Tabela 14 compara os custos agregados à instalação de um sistema de bombeamento como o atual, ou seja, três conjuntos moto-bomba de 250 cv operando em dupla e um reserva, com a condição de dois conjuntos moto-bomba de 350 cv com um operando e outro reserva.

Embora a estimativa de custos dos conjuntos moto-bomba e painéis seja maior para o caso de dois conjuntos de 350 cv, em relação aos três conjuntos de 250 cv, ganha-se em área construída, tubulações, conexões, válvulas, custo de montagem, materiais e mão-de-obra nos serviços de manutenção eletromecânica, o que permite flexibilizar estas condições operacionais.

**Tabela 14 – Comparativo de custos (Fonte: Sabesp, 2004).**

<b>Análise comparativa de custos</b>	
<b>Especificação</b>	<b>Custos básicos (R\$) - ago/04</b>
3 conjuntos moto-bomba 250 cv	191.325,00
1 painel completo p/ 3 conjuntos 250 cv, partida compensada	69.000,00
<b>Total:</b>	<b>260.325,00</b>
2 conjuntos moto-bomba 350 cv	144.940,00
1 painel completo p/ 2 conjuntos 350 cv, acionamento por Inversor de frequência	133.000,00
<b>Total:</b>	<b>277.940,00</b>

Como são constantes os pedidos de novas ligações de água, cresce também a necessidade de aumentar a vazão bombeada, já que o município atendido (São Sebastião) não possui reservação suficiente para os períodos de maior consumo. Com isso a substituição desses conjuntos de bombeamento em médio prazo será inevitável, mas também há necessidade de redimensionamento da adutora para transportar essa água. Portanto uma obra de grande custo.

A migração dos atuais conjuntos moto-bomba de 250 cv por outros de 350 cv, transferindo os equipamentos de 250 cv para outras unidades da empresa que necessitem, pode justificar tal investimento.

Para o bombeamento de água ao município de Caraguatatuba, as perdas de energia, proporcionalmente, não deveriam ser tão grandes como no caso de São Sebastião, pois nesse caso os motores dos conjuntos moto-bomba possuem

inversores de frequência. Contudo, a variação da frequência no inversor, para controle da pressão na rede de abastecimento, ainda não está automatizada na ETA Porto Novo. Dessa forma faz-se necessária disponibilidade operacional para intervenção no processo no período noturno, com a redução do consumo, impedindo pressões demasiadas e conseqüente aumento no número de vazamentos nas redes de água neste período.

O controle de pressão na adutora de distribuição de água pode ser obtido com instalação de sensor de pressão. Essa pressão é convertida em sinal elétrico na faixa de 4 a 20 mA, e transmitida ao painel com inversor para variação da frequência na alimentação do motor, e com isso variações na rotação, vazão e pressão da bomba.

### 4.3 – Perdas nos transformadores

Na ETA Porto Novo, os transformadores apresentam as seguintes perdas relacionadas na Tabela 15.

**Tabela 15 – Perdas nos núcleos dos transformadores da ETA Porto Novo (Fonte: Sabesp, 2004)**

Local	Potência do transf. (kva)	Quantidade	Perda unitária (kW)	Perda total (kW)
Cabine primária	112,5	1	0,52	0,52
Est. Bombeamento	750	1	1,5	1,5
Est. Tratamento	750	1	1,5	1,5
Est. Tratamento	50	5	0,26 (adotado)	1,3
<b>Total:</b>				<b>4,82</b>

No mês de março de 2004, com 744 horas de operação, essas perdas representaram:

$4,82 \text{ (kW)} \cdot 744 \text{ (horas)} = 3.586,08 \text{ kWh}$  o que corresponde a 0,9 % de toda energia consumida na ETA nesse mês.

Com a melhor otimização dos transformadores de 50 kva, é possível obter redução nas perdas pela transferência de cargas de vários transformadores para um ou dois transformadores. Todos estão com pequenas cargas e a distância entre eles não é demasiadamente grande, a ponto de provocar queda de tensão na alimentação

dos circuitos, sendo possível desta forma, o desligamento de alguns transformadores, pois a corrente nominal de fase em cada um deles, especificação do fabricante, é de aproximadamente 164 A (Tabela 16). Além disso a redução do número desses transformadores melhora o fator de potência da instalação, e reduz também a disponibilidade de manutenção a estes equipamentos, com os ganhos já relatados.

Abaixo as cargas típicas ligadas a esses transformadores:

T1 – tomadas de uso geral, ar condicionado

T2 – ar condicionado, chuveiros

T3 – iluminação, tomadas de uso geral, ar condicionado

T4 – iluminação interna

T5 – iluminação interna

**Tabela 16 – Medições de corrente (A) nas fases identificadas por R, S e T, dos transformadores de 50 kva, efetuadas em 29/12/04 (Fonte: Sabesp, 2004)**

Fases	Transf. 1	Transf. 2	Transf. 3	Transf. 4	Transf. 5
R	7,3	45	55	1,5	0,3
S	7,3	47	13	6,5	0,3
T	2	37,5	35	7	0,2

Do exposto, pode-se afirmar que as perdas totais destes transformadores (Tabela 16), representam o funcionamento de 321 lâmpadas fluorescentes econômicas de 15 W e somente os transformadores de 50 kva, 86 lâmpadas.

## 5 – CONCLUSÕES

O esforço deste trabalho foi apontar e qualificar o uso de energia elétrica no processo de tratamento e distribuição de água, em particular na Estação de Tratamento de Água – ETA Porto Novo, pertencente à companhia Sabesp, localizada no município de Caraguatatuba – SP.

No contexto do crescimento contínuo do consumo de energia elétrica, da falta de investimentos no setor elétrico e da preocupação cada vez maior com as questões ambientais, é que este trabalho apresentou sua contribuição sobre o gerenciamento energético de uma estação de tratamento de água, de forma a obter redução no consumo de energia elétrica, no desembolso financeiro e aumentar a capacidade de carga para algumas ampliações no sistema, servindo de fonte de consulta para melhorias em instalações existentes e parâmetro para outras a serem instaladas.

Apesar das iniciativas executadas desde o ano de 2000, ainda existem diversas fontes de desperdício de energia nos mais diversos tipos de instalações envolvidas nesse processo de tratamento e distribuição de água. Em muitas situações as perdas não foram quantificadas, contudo identificadas através da verificação de equipamentos mal dimensionados ou operando de forma errônea, além de vícios operacionais. Também procurou apontar caminhos para futuras tomadas de decisão sobre redução de consumo de energia elétrica.

A redução do desembolso financeiro através do processo de racionalização do uso de energia elétrica acaba por retardar ou minimizar aditivos contratuais para compra de energia, como nos resultados apurados com a redução de demanda, correção do fator de potência e conferência de faturas, a partir de 2000 na ETA Porto Novo; porém muito ainda pode ser feito para obtenção de eficiência, como por exemplo, ações no sistema de bombeamento para os municípios ou nos transformadores instalados.

A intenção deste trabalho foi ajudar a difundir os benefícios de ações que busquem a eficiência energética, frente aos ganhos econômicos e a preservação do meio ambiente. Muito do que se comentou nos capítulos anteriores possui correspondência com situações encontradas em outras ETA's e até em outros processos e setores. Sendo assim, este trabalho também pode ser utilizado como fonte de consulta para um universo maior.

Para continuidade, propõe-se que sejam feitas análises mais detalhadas nos diversos processos e equipamentos apontados como “vilões”, no combate ao desperdício de energia elétrica. Além disso, outro aspecto importante seria avaliar como a manutenção de equipamentos influencia as perdas elétricas. Sabe-se que hoje várias ETA's utilizam apenas a manutenção corretiva, ou seja, quando um equipamento falha, ou chega a um nível de debilidade que compromete o processo, sendo então trocado ou consertado. Muitas vezes esses equipamentos estão operando em condições inadequadas, levando o processo a consumir mais energia, direta (ex: motores) ou indiretamente (ex: vazamentos). As manutenções preventivas e as preditivas podem evitar consumo desnecessário de energia elétrica para um processo. Na manutenção preventiva, a troca e procedimentos de manutenção são realizados de acordo com a recomendação do fabricante, baseado em ciclos de operação do equipamento. Já a manutenção preditiva está associada a um acompanhamento contínuo da situação de funcionamento do equipamento para se detectar o início de uma operação inadequada e assim tomar providências cabíveis. Como exemplo, pode-se citar o monitoramento do funcionamento de máquinas de fluxo, como as bombas centrífugas, por análise de vibração, pois um funcionamento inadequado da máquina levará um aumento na amplitude de vibração.

Por fim, não se espera que as informações contidas aqui encerrem as discussões e sejam definitivas, mas pelo contrário, espera-se que elas semeiem novas discussões sobre conservação de energia nos processo de tratamento de água e em outros processos.

## 6 – REFERÊNCIAS

- [1] AGÊNCIA PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA; BANDEIRANTE ENERGIA. **Uso Racional de Energia Elétrica**. São Paulo, 2000. 35p.
- [2] CAPRA, Fritjof. **O ponto de mutação**. São Paulo: Cultrix, 1982. p.230-231.
- [3] SARTORI, Ernani. **Energias Renováveis – O horário de verão e a energia solar**. Disponível em: <[www.aondevamos.eng.br/verdade/artigos.htm](http://www.aondevamos.eng.br/verdade/artigos.htm)>. Acesso em: 01 mar. 2005.
- [4] SARTORI, Ernani. **Energias Renováveis – Equívoco de uma política energética**. Disponível em: <[www.aondevamos.eng.br/verdade/artigos/equivoco.htm](http://www.aondevamos.eng.br/verdade/artigos/equivoco.htm)>. Acesso em: 01 mar. 2005.
- [5] CELESC. **Energia Elétrica e Meio-ambiente**. Disponível em: <<http://proeficiencia.celesc.com.br/index.php?novasessao=11>> . Acesso em: 24 jan. 2005.
- [6] **Resenha de Mercado**. Disponível em: <<http://www.eletrobras.gov.br/br/pecono.htm> . Dez.1997>. Acesso em: 19 jan. 2004.
- [7] IBAM; ELETROBRÁS; PROCEL. **Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento**. [S.1], 1998. 76p.
- [8] CODI; ELETROBRÁS; PROCEL. **Manual de Conservação de Energia Elétrica na Indústria (alta tensão)**. [S.1], 1993. 79p.
- [9] SHOEPS, Carlos Alberto. **Conservação de energia elétrica na indústria: faça você mesmo**. 2.ed. Rio de Janeiro: CNI, COASE; Brasília: Secretaria de Ciências e Tecnologia, 1993. 2v., il.
- [10] EFICIÊNCIA Energética em Saneamento Ambiental. **ABES Informa**, São Paulo, v.12, p.5, nov./dez. 2003.
- [11] CETESB. **Eficiência na Gestão Ambiental: O conceito da qualidade na energia**. São Paulo, [200\_].

- [12] TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Redução do Custo de Energia Elétrica em Sistemas de Abastecimento de Água**. São Paulo: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. 185p.
- [13] BRASIL. Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica. DNAEE. **Portaria n. 466, de 1997**. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/cedoc/prt1997466.pdf>>.
- [14] SÃO PAULO (SP). Secretaria de Energia. Coordenadoria de Planejamento e Política Energética. **Manual de economia de energia elétrica no setor de comércio e serviços**. São Paulo, 2001.
- [15] CASSIANO FILHO, Almiro; TSUTIYA, Milton Tomoyuki. Economia nos custos de energia elétrica em obras sanitárias através da escolha adequada das tarifas. **Revista DAE**, São Paulo, v.52, n.168, p.8-20, nov./dez.1992.
- [16] PERETO, Antônio Soares. Análise dos Manuais do Procel – Eficiência Energética nos Sistemas de Saneamento. In: ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, set. 1999, São Paulo. **Anais...**São Paulo: Galego, 1999. p.234-241.
- [17] SIEMENS. **Banco Automático de Capacitores para correção do Fator de Potência** – Diretrizes Técnicas. [S.l., 200\_].
- [18] ISONI, Marcos. Harmônicas – Os efeitos da eficientização energética sobre os equipamentos e instalações. **Rev. Eletricidade Moderna**, São Paulo, ano 32, n.362, p.136-157, maio 2004.
- [19] CODI. **Manual de orientação aos consumidores sobre a nova legislação para faturamento de energia reativa excedente**. Rio de Janeiro, 1995.
- [20] WEG Motores. **Catálogo geral de motores elétricos**. Jaraguá do Sul, 2001.
- [21] MAMEDE, João Filho. **Instalações elétricas industriais**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1995. p.236-243.
- [22] KSB. **Manual de Treinamento: Seleção e aplicação de bombas centrífugas**. 3.ed. Várzea Paulista, 2001. 224p.
- [23] TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Curso Sistema de Abastecimento de Água – Tópicos Especiais**. São Paulo: SABESP, Superintendência de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, 1997.
- [24] FILHO, Almiro Cassiano; FREITAS, Flávio Valadão de. Redução de consumo de energia com uso de inversor de frequência. **EB Técnico**, p.22-27, jul.2001.
- [25] ELETRIC, Schneider. **Inversores**. Disponível em: <<http://www.schneider-eletric.com.br>>. Acesso em: 30 set. 2004.

- [26] **Noções Básicas sobre Distorções Harmônicas.** Disponível em: <<http://www.engecomp.com.br/harmonic.htm>> . Acesso em: 01 nov. 2004.
- [27] WEG S/A. **Manual de conservação de energia:** conservação de energia em máquinas elétricas. Jaraguá do Sul, 1994.
- [28] GOBATO, Gilson. **A Manutenção como fonte de ganhos financeiros e ambientais.** São Paulo, 1999.
- [29] POLEZI, Ricardo et al. Otimização e redução de gastos com uso racional de energia elétrica na Estação de Tratamento de Esgoto São Miguel. In: ENCONTRO TÉCNICO AESABESP, set. 1999, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Galego, 1999. p.248-264.
- [30] **Energia elétrica e Meio-ambiente.** Disponível em: <<http://www.proceleeficiencia.celesc.com.br/index.php?novasessao=11>>. Acesso em: 14 jun. 2004.
- [31] SÃO PAULO (SP). Secretaria de Energia. Coordenadoria de Planejamento e Política Energética. **Manual de Administração de Energia:** Força motriz. São Paulo, 2001.
- [32] ATLAS COPCO. **Manual do ar comprimido.** São Paulo: Mc Graw-Hill do Brasil, 1976. p.479.
- [33] ROCHA, Alexandre Magno Parente da. Automação para profissionais de saneamento. In: XI ENCONTRO TÉCNICO DA AESABESP, 2000, São Paulo. **Anais...** São Paulo: AESABESP, 2000. 1CD.
- [34] GOMES, Nilo Sérgio. Energia e a eficiência. **Jornal do Brasil**, Rio de Janeiro, 11 jun. 1997. Caderno Especial Energia, p.2.
- [35] TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de água.** São Paulo: Universidade de São Paulo, Escola Politécnica, Depto. de Engenharia Hidráulica e Sanitária, 2004. 643 p.
- [36] NOBRE, Eduardo Carvalhares. **Jornal da Cice.** Disponível em: <<http://www.2.ufla.br/~cice>>. Acesso em: 9 jul.2004.
- [37] BRASIL. **Decreto n.99.656 de 26 de outubro de 1990.** Dispõe sobre a criação nos órgãos e entidades da Administração Federal direta e indireta da Comissão Interna de Conservação de Energia (CICE), nos casos que menciona e da outras providências. Disponível em: <[www.aneel.gov.br/cedoc/dec199099656.pdf](http://www.aneel.gov.br/cedoc/dec199099656.pdf)>.
- [38] ALVAREZ, André Luiz Monteiro. **Uso Racional e Eficiente de Energia Elétrica:** Metodologia para a determinação dos potenciais de conservação dos usos finais em instalações de ensino e similares. 1998. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.



- [39] CONSTRUTORA AUGUSTO VELLOSO. **Manual de instruções de operação do processo de tratamento**. Caraguatatuba, nov. 1998.
- [40] SCHNEIDER Eletric. **Inversores**. Disponível em: <<http://www.schneider-eletric.com.br>>. Acesso em: 30 set. 2004.
- [41] **GENERAL Energy and Transport**. Bruxelas: European Comission Directorate, 01 jan. 2003. Disponível em: <<http://energyefficiency.jrc.cec.eu.inte/motorchallenge/pdf>>. Acesso em: 20 set. 2004.
- [42] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro, 2002.
- [43] SOARES, Maria do Carmo Silva. **Redação de Trabalhos Científicos**. São Paulo: Cabral, 1995. 165 p.

## 7 – ANEXOS

## Anexo A

Tabela 17 - Tarifas de energia elétrica em vigor no mês de dezembro/03 (Fonte: Bandeirante Energia, 2004)

Grupos de Faturamento	Sistemas Tarifário	Segmento Horário	Demanda R\$/kW	Consumo R\$/mWh	
A4	Convencional		10,78	0,134232	
	Ultrapassagem		32,34		
	HS-A	PS		28,53	0,158907
		PU		28,53	0,14705
		FPS		9,51	0,075565
		FPU		9,51	0,066767
	Ultrapassagem	PS/PU		85,5	
		FPS/FPU		28,53	
	HS-V	PS		9,51	0,719066
		PU		9,51	0,707276
		FPS		9,51	0,075565
		FPU		9,51	0,066767
	Ultrapassagem	S/U		28,53	

## Anexo B

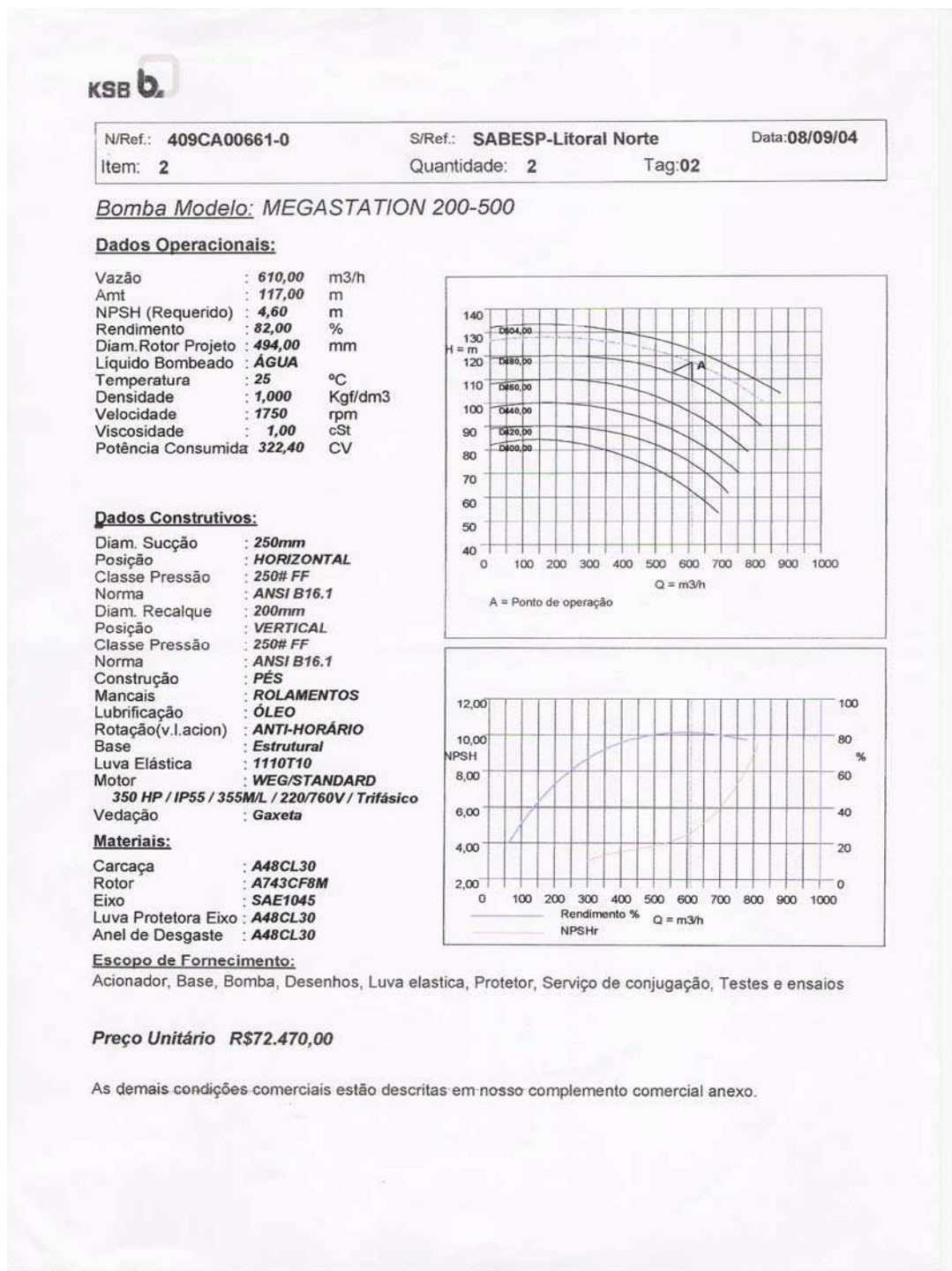


Figura 18 – Curva de bomba - alternativa de substituição (Fonte: KSB, 2004)

## Anexo C

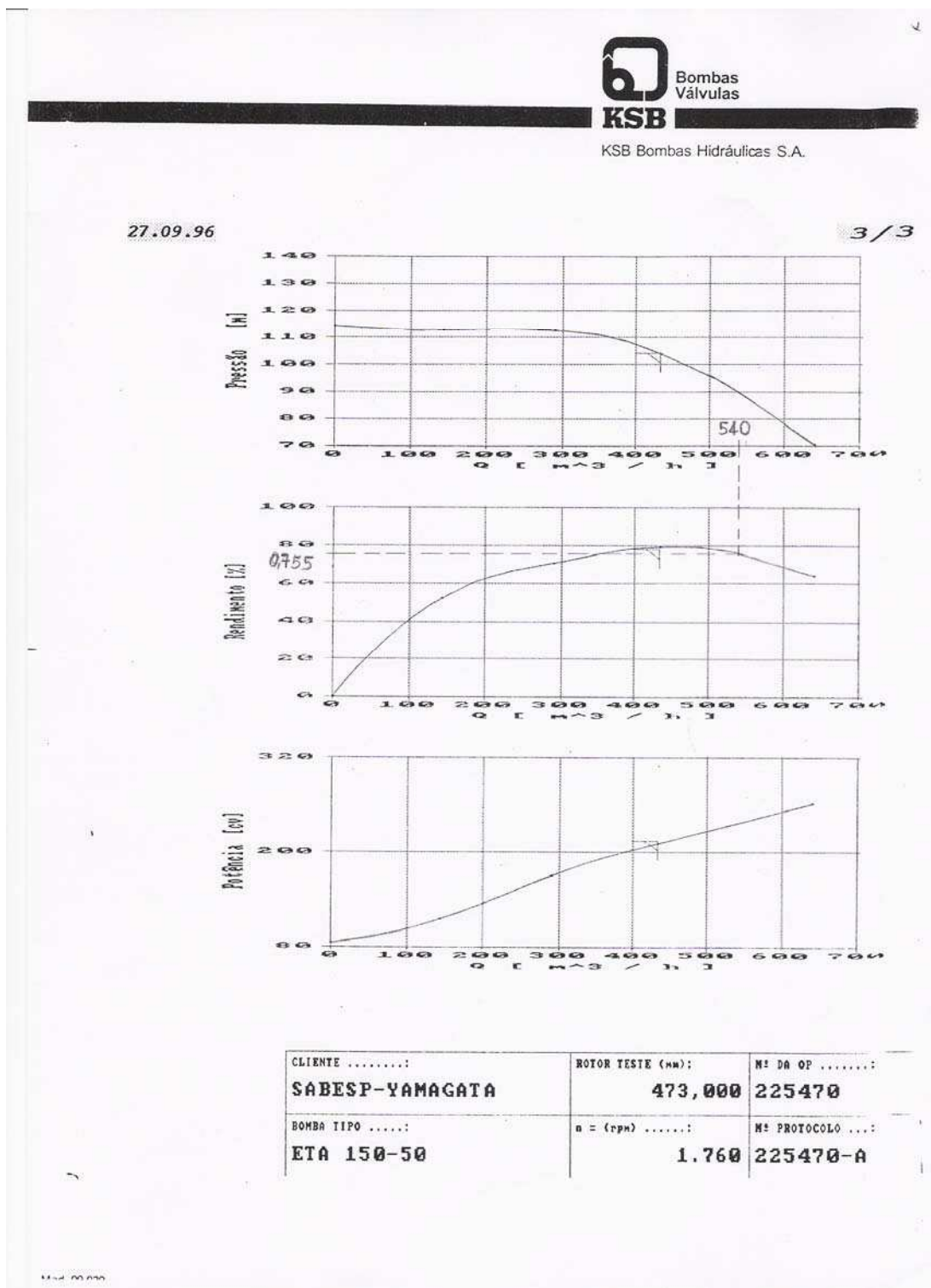


Figura 19 – Curva bomba 4 da distribuição de água para Caraguatatuba (Fonte: Sabesp, 2004)

## Anexo D

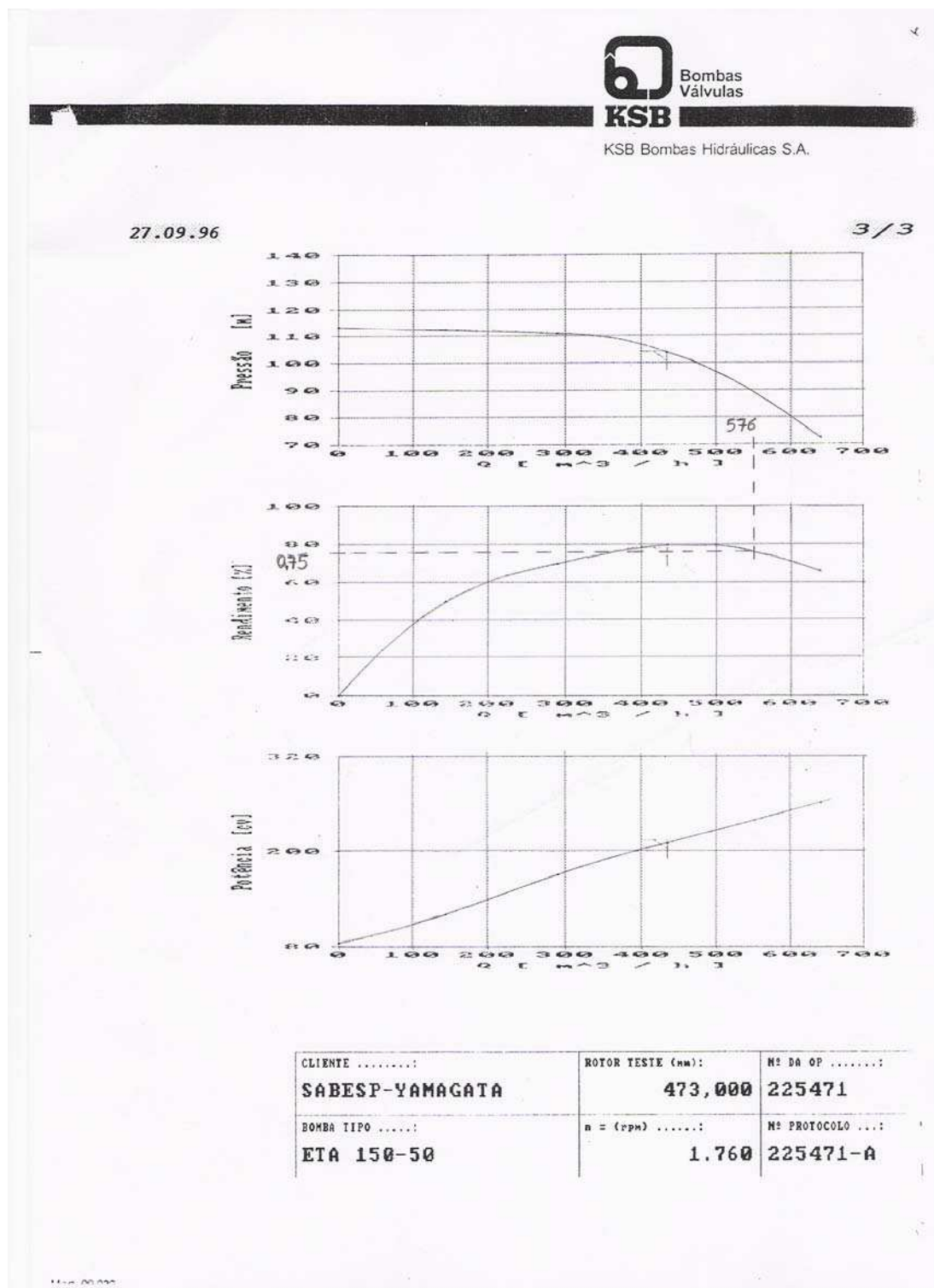


Figura 20 - Curva bomba 5 da distribuição de água para Caraguatatuba (Fonte: Sabesp, 2004)

## Anexo E

### Cargas elétricas instaladas na ETA Porto Novo

**Bloco A** - Compreende a Portaria, Divisão de Manutenção e oficina.

Cargas:

62 lâmpadas fluorescentes 40 W (62x55 W).....	3,4 kW
54 lâmpadas fluorescentes 32 W (54x41 W).....	2,2 kW
equipamentos de oficina.... .	1,6 kW
2 ar condicionado de parede (10000 BTU).....	2,6 kW
1 ar condicionado de parede (18000 BTU).....	2,7 kW
outros equipamentos.... .	0,4 kW
8 conj. microcomputador/monitor... .	1,5 kW
3 chuveiros.....	13,5 kW

**Bloco B** – Compreende a cabine primária blindada CAEG com medição, seccionadoras e um transformador auxiliar trifásico 112,5 KVA 13.200/220V, refrigerado a óleo alimentando o sistema de iluminação externa e o Bloco A.

**Bloco C** – Compreende a Estação de bombeamento de água tratada para Caraguatatuba e São Sebastião (alimentado em média tensão, por cabos subterrâneos que partem da cabine primária principal até os 2 transformadores de força, sendo um reserva, e refrigerados a óleo, com 750 kva, 13.200/440 V cada).

Cargas:

1 - Recalque Caraguatatuba (n = 2+1 reserva) – acionamento por inversor de frequência

Motor: 150 kW (200 cv) isol. classe F, Fator serviço 1,0

Bomba: Q = 640 m<sup>3</sup>/h, HM = 60 mca

2 - Recalque São Sebastião (n = 2+1 reserva) – partida compensada

Motor: 185 kW (250 cv) isol. Classe F, Fator serviço 1,0, Regime contínuo, Fator potência 0,89 Rendimento 90%.

Bomba: Q = 433,8 m<sup>3</sup>/h, HM = 104 mca

## 3 - Iluminação interna:

24 lâmpadas fluorescentes 40 W (24x55 W).....1,3 kW

**Bloco D** – Compreende o prédio da Superintendência

## Carga:

14 lâmpadas fluorescentes 40 W (14 x55 W).....0,8 kW

8 lâmpadas PL 14 W.....0,1 kW

5 conj. microcomputadore/monitor.....0,8 kW

1 geladeira.....0,6 kW

4 ar condicionado.....5,6 kW

**Bloco E** – Compreende o prédio administrativo que atende o RH, Serviços gerais e Almojarifado

## Carga:

60 lâmpadas fluorescentes 40 W (60x55 W).....3,3 kW

outros equipamentos.....3,0 kW

1 ar condicionado 18.000 BTU.....2,7 kW

5 ar condicionado 15.000 BTU.....9,8 kW

14 conj. Microcomputadores/monitor/impressora.....2,3 kW

**Bloco F** – Compreende o prédio da estação de tratamento e algumas unidades administrativas (alimentado em média tensão possui um posto primário blindado CAEG, com seccionadoras, dois transformadores de força, sendo um reserva, com 750 kva, 13.200/440V, de onde partem os alimentadores para os CCM's dos motores e derivam para outros cinco transformadores menores com 50 kva, que reduzem a tensão de 440/220 V, atendendo a circuitos de iluminação interna, tomadas para uso geral e outros equipamentos das áreas administrativas).

## Cargas:

Ala de motores – tensão de alimentação 440 V

1 - Bombas de vácuo (1+1 reserva – para escorva das bombas de transferência de água tratada do tanque de contato para o reservatório).

Motor: 2,2 kW

Bomba:  $Q = \quad \text{m}^3/\text{h}$ ,  $HM = \quad \text{mca}$

2 - Bombas de água de amostra (1+1 reserva) – bombeia água para ser analisada no laboratório (fora de uso)

Motor: 0,25 kW

Bomba:  $Q = 1 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $HM = 8 \text{ mca}$

3 - Bombas transferência de água tratada do tanque de contato para o reservatório RPN-1 (1+1 reserva) – acionamento por inversor de frequência.

Motor: 75 kW

Bomba:  $Q = 2016 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $HM = 8,28 \text{ mca}$

4 - Bombas de saturação de água com ar comprimido (2+1 reserva) – partida compensada

Motor: 37 kW

Bomba:  $108 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $HM = 70 \text{ mca}$

5 - Bombas do sistema de diluição do cloro-gás na água e aplicação na água (1+1 reserva)

Motor: 3,7 kW

Bomba:  $Q = 2 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $HM = 50 \text{ mca}$

Sala de dosagens de produtos químicos

6 - Dosadoras eletrônicas de flúor (1+1 reserva)

Motor: 0,21 kW

Bomba:  $Q = 14 \text{ l/h}$ , pressão 10 bar

7 - Dosadoras eletrônicas de sulfato de alumínio (3+1 reserva)

Motor: 0,06 kW

Bomba:  $Q = 50 \text{ l/h}$ , pressão 10 bar

Bombas dosadoras de leite de cal (2+1 reserva) – acionamento por inversor de frequência.

Motor: 10 kW

Bomba: tipo fluxo positivo  $Q = ?$

8 - Bombas de transferência de leite de cal (1+1 reserva)

Motor: 3 kW

Bomba:  $Q = 30 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $HM = 10 \text{ mca}$

9 - Agitador de leite de cal ( $n = 1$ )



Motor 0,55 kW

10 - Transportador de cal (n = 1)

Motor: 0,37 kW

Sistema de descarga de produtos químicos de caminhões tanque

11 - Bombeamento de sulfato de alumínio

Motor: 0,7 kW (estimado)

Bomba: ?

12 - Bombeamento de ácido fluorsilícico

Motor: 0,7 kW (estimado)

Bomba:

Sistema de movimentação de cilindros de cloro

13 - Talha elétrica

Motor: 7,5 kW

Sistema pneumático

14 - Compressor (1+1 reserva)

Motor: 11 kW

Sistema de lavagem dos filtros

15 - Bombas de lavagem de filtros (2+1 reserva) – acionamento por inversor de frequência

Motor: 55 kW

Bomba:  $Q = 1260 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $HM = 10 \text{ mca}$

16 - Soprador de ar (1+1 reserva)

Motor: 75 kW

Bomba:

Sistema de combate a incêndio

17 - Pressurização de água

Motor: 3,3 kW

Bomba:  $Q = \dots\dots\text{m}^3/\text{h}$ ,  $HM = \dots \text{ mca}$

Floculação

18 - Agitadores (n =12)

Motor: 0,55 kW

### Filtração

19 - Arraste superficial de lodo (n = 3)

Motor: 0,75 kW

20 - Iluminação interna

518 lâmpadas fluorescentes de 32W (518x41 W).....	21,2 kW
12 lâmpadas vapor mercúrio 250 W.....	3,0 kW
conj. microcomputador/monitor/impressora.....	4,8 kW
04 ar condicionado 30.000 BTU.....	13,2 kW
01 ar condicionado 48.000 BTU.....	5,2 kW
01 ar condicionado 60.000 BTU.....	5,8 kW
04 ar condicionado 18.000 BTU.....	10,8 kW

### **Bloco G** – Compreende o Grêmio

Carga:

12 lâmpada fluorescente 40 W (12x55 W).....	0,7 kW
4 lâmpadas vapor metálico 400 W.....	3,4 kW
12 lâmpadas fluorescentes PL 14 W.....	0,2 kW
1 diversos (freezer/ geladeira/forno elétrico).....	3,6 kW
1 conj. Microcomputador/monitor/impressora.....	0,2 kW