



**SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

GCE 04
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO XIV

GRUPO DE ESTUDO DE CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

APLICAÇÃO DE UMA GESTÃO ENERGÉTICA EM INDÚSTRIA DE GRANDE PORTE

Claudio Elias Carvalho*

Paulo Roberto Carvalho

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar aspectos práticos da execução de diagnósticos energéticos com foco centrado na implantação de uma gestão energética voltada ao setor industrial, considerando uma aplicação em uma indústria de grande porte.

É discutida a implementação de uma Gestão Energética, como consequência do diagnóstico realizado, resultando em benefícios permanentes para a empresa. Para isso, são apresentados detalhadamente os resultados do trabalho, de modo a mostrar o potencial de economia em virtude de um amplo diagnóstico energético.

PALAVRAS CHAVES: Gestão Energética, Diagnóstico Energético, Conservação de Energia.

1.0 - INTRODUÇÃO

A realização de um diagnóstico energético deve ser orientada de acordo com as estratégias globais da empresa que incluem a preservação do meio ambiente e os ganhos de produtividade e redução de custos advindos de um gerenciamento da energia que resultam em última análise em um diferencial de mercado. Dentro de tal estratégia, o controle energético pode ser pensado desde os usos finais até uma visão integrada dos diversos processos, setores ou produtos da empresa. Com esta abordagem, procede-se à reorientação de medidas de curto prazo e emergenciais segundo um plano abrangente e de longo prazo, que faz parte da gestão energética, orientada à realidade da empresa.

Dentro dessa perspectiva, o objetivo deste trabalho é através do levantamento de dados e da análise das informações sobre o consumo de energia elétrica, hábitos de consumo, situação operacional das instalações e equipamentos de usos finais da empresa analisada, identificar oportunidades de melhoria na eficiência do uso da energia elétrica e de redução do seu custo. Apresentam-se assim, os resultados de um amplo estudo de diagnóstico energético realizado em uma empresa de grande porte localizada no Estado de São Paulo e com demanda em torno de 5 MW, onde se identificam diversas oportunidades de redução de custos, desde o *retrofit* de instalações até a reordenação de processos produtivos dentro da empresa.

2.0 - MODELO DE GESTÃO ENERGÉTICA

A implementação de um Sistema de Gestão Energética envolve uma série de ações e medidas que devem fazer parte do dia a dia da empresa. Os benefícios resultantes de um sistema de controle e otimização do uso da energia são muitos, onde se destacam: Eliminação de desperdícios; Redução do custo específico de energia, refletindo no custo industrial; Alocação correta de custos por produtos/setores; Aumento da competitividade da empresa; e Diminuição de impactos ambientais. Neste sentido, descrevem-se a seguir algumas ações relacionadas à implementação de uma gestão energética.

a) Diagnóstico Energético

Para conhecer o desempenho energético das instalações, é necessário executar, com certa periodicidade, um diagnóstico que permita verificar as condições de operação dos diferentes equipamentos. Nem sempre é simples apurar se determinado equipamento está operando com consumo superior ao previsto no projeto. Os consumos previstos dos equipamentos podem ser obtidos através de informações de fabricantes e instalações em análise. Outra maneira é comparar o consumo dos diversos equipamentos similares, tais como, motores com as mesmas potências e características de operação existentes nos diversos setores da indústria.

b) Análise do Custo da Energia

Uma vez conhecidos os horários de funcionamento dos diversos equipamentos por setor, pode-se avaliar o custo aproximado do uso de energia elétrica para cada equipamento. Dessa análise calcula-se a participação de cada equipamento, tanto em kWh quanto em Reais, no consumo global da empresa. O resultado dará uma primeira idéia dos pontos que devem merecer maior atenção na tentativa de redução de gastos, observado o fato de que nem sempre os equipamentos que apresentarem maior participação no consumo global serão os passíveis das primeiras ações, não só pelas possíveis dificuldades nas alterações, como pelos investimentos necessários para tal. Em alguns casos, a simples mudança no horário de funcionamento de determinados equipamentos já reduz o custo do uso de energia.

c) Proposição de Medidas de Conservação de Energia

Do diagnóstico energético e da análise do custo da energia, resultarão medidas corretivas a serem tomadas que podem ser implantadas em função de um cronograma de programação de uma CICE (Comissão Interna de Conservação de Energia). No entanto, um programa de conservação de energia, fruto da gestão energética, só terá resultados positivos caso haja motivação de todos os empregados da empresa, conscientização do pessoal e treinamento que garantam a correta execução do programa. A motivação do pessoal pode ser conseguida através de folhetos, cartazes, slogans, adesivos, conferências, concursos, visitas, etc. Reuniões periódicas com o pessoal, para mantê-lo informado do desenvolvimento do programa e dos resultados obtidos, servem de estímulo, tornando o programa uma causa de todos.

d) Identificação da Necessidade de Pequenos Investimentos

Vencida a primeira etapa, quando todas as ações de gerenciamento e administração da energia tiverem sido implantadas, haverá necessidade de implementação de ações que impliquem em treinamento ou modificações de hábitos, tais como: manutenção de equipamentos e manutenção na operação de equipamentos. A deterioração a que são submetidos os equipamentos elétricos, seja pelo próprio uso, por negligência ou obsolescência, faz com que seu desempenho fique comprometido durante sua vida útil. Para evitar tais deficiências, é necessária a implantação de um programa de manutenção elétrica. Além disso, existem situações em que se torna impraticável manter um gerenciamento constante dos recursos humanos, visando a operação adequada dos equipamentos. Uma das soluções possíveis para contornar problemas como destes casos, será através da instalação de equipamentos e dispositivos de controles automáticos ou temporizados. Dentro desta diretriz, as áreas de compras, especificação, engenharia, manutenção, administração e serviços gerais também deverão ser conscientizadas, motivadas e engajadas no programa, pois, a médio prazo, sem este envolvimento o programa fatalmente tende a perder o seu efeito já implantado.

e) Identificação da Necessidade de Investimentos Significativos

Nesta etapa, podem-se citar as seguintes ações: troca de equipamentos; adoção de inovações tecnológicas; e mudanças da arquitetura ou projetos. Uma análise indispensável para se definir o conjunto de medidas a serem tomadas se refere a do valor dos investimentos que podem ser nulos ou requererem tempo para amortização e retorno. A análise levará a um quadro de prioridades com relação a quanto, onde e como investir. Por exemplo: a decisão quanto a troca de equipamentos como substituição de lâmpadas por outras mais eficientes, aquisição de bomba de calor, etc. só pode ser tomada como consequência de estudo de viabilidade técnico-econômica. Dentro deste universo podemos citar as alterações das construções, modificações da arquitetura, aquisição de equipamentos mais eficientes ou modernização do parque industrial, modificação total ou parcial do processo, etc.

Dessa forma, as diversas soluções encontradas a partir da implementação de um sistema de gestão energética podem ser classificadas genericamente em "grupos de soluções", como sendo:

- *Soluções Triviais*: consistem nas substituições de equipamentos perdulários. Nesta categoria encontram-se: retrofit do sistema de iluminação, otimização do sistema de ar comprimido, substituição de motores industriais e substituição de bombas.
- *Soluções de concepção (projeto)*: decorrem de projetos específicos, como a instalação de equipamentos hidráulicos, módulos de potência, otimização do sistema de bombeamento, atualização do sistema de

monitoramento e controle de energia, análise tarifária atual e estudo para migração de classe de tensão de fornecimento, além de estudo da possibilidade de contratação livre.

- *Soluções corretivas*: nesta identificam-se, por exemplo, a correção de fator de potência e correção de desequilíbrio de fases.
- *Soluções de manutenção*: decorrem de ações de manutenção sem a necessidade de grandes investimentos, tais como: eliminação de perdas no sistema de distribuição e manutenção do sistema de condicionamento de ar.

3.0 - CASO PRÁTICO

3.1 Características Gerais da Empresa e Análise do Consumo de Energia Elétrica

O caso aqui apresentado é o resultado de um diagnóstico em uma indústria de solados situada no Estado de São Paulo. Atualmente é tarifado pela Modalidade Horosazonal Azul Subgrupo A4, possuindo uma carga instalada em torno de 15.911kW e demanda máxima registrada de 5.076 kW. O fator de carga médio da instalação é de 0,54, tendo um consumo médio mensal no ano de 2004 de 1.800 MWh. O preço médio da energia considerada neste trabalho é de 211.45 R\$/MWh (com ICMS).

Os insumos utilizados nas instalações da unidade são: eletricidade e óleo combustível BPF. A energia elétrica representa 37% dos insumos energéticos utilizados, sendo fornecida em tensão de 13,8 kV, que alimenta uma cabine de medição e segue em linha de distribuição aérea para alimentar outras cinco subestações de transformação com capacidade instalada total de 13.450 kVA. A distribuição em baixa tensão para uso final ocorre nas tensões de 440 V e 220 V além de três transformadores especiais com tensão secundária de 6 kV. Na Figura 1 se vê a composição de custos da conta de energia elétrica em Fev/2004, no início do trabalho.

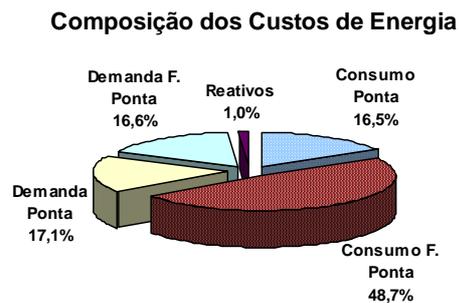


Figura 1 – Composição de custos na conta de energia

A Figura 2 mostra a evolução do consumo total da empresa ao longo de 24 meses.

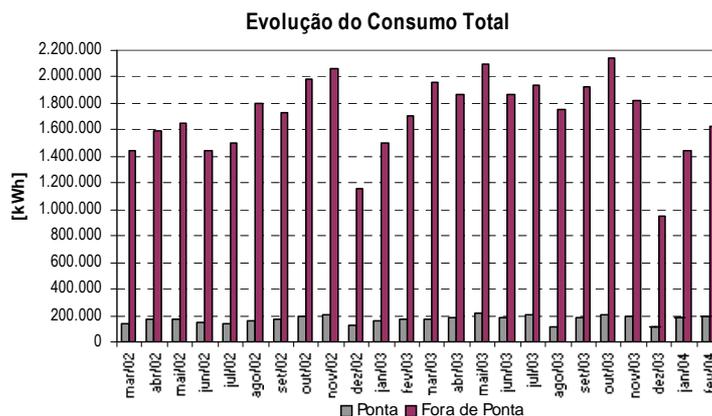


Figura 2 – Evolução do Consumo Ativo Total em 24 Meses

Através da integração das curvas de carga globais da instalação, é possível calcular os respectivos consumos médios para os dias de semana e de fim de semana, resultando em 86.700 kWh para um consumo em dia de semana e 48.150 kWh para um dia no fim de semana. Para um mês típico de 22 dias úteis e 8 dias de fim de

semana, o consumo calculado é de 2.100 MWh, resultando em um consumo de 9% no horário de ponta. A Tabela 1 apresenta o consumo desagregado por usos finais da energia.

Tabela 1 – Consumo Desagregado por Usos Finais

Setores	Demanda [kW]	Consumo [kWh]	Demanda [%]	Consumo [%]
Iluminação	171,86	84.117	3,47	4,08
Ar Condicionado	7,15	2.728	0,14	0,13
Motores	4384,00	1.751.615	88,47	84,96
Aquecimento	392,60	223.118	7,92	10,82
Total	4955,61	2.061.578	100,00	100,00

3.2 Identificação de Oportunidades

Após a etapa de medição de campo e da análise do consumo de energia da empresa, foram detectadas várias oportunidades de economia. Dentre elas, destacam-se as seguintes medidas recomendadas:

3.2.1 Correção do Fator de Potência

Identificou-se a necessidade imediata de correção do fator de potência das instalações, eliminando as multas por excesso de reativos que vem sendo pagas ao longo dos últimos meses. Esta medida além de evitar o pagamento das multas, elimina perdas também no sistema de distribuição de energia, aumentando assim a eficiência energética da instalação como um todo. A Figura 3 mostra o perfil de um dos transformadores analisados.

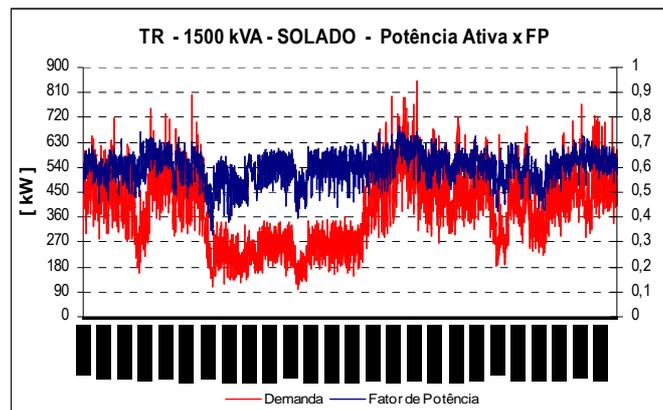


Figura 3 – Perfil de Potência e Fator de Potência

3.2.2 Retrofit do Sistema de Iluminação

Recomenda-se iniciar um processo de atualização tecnológica do sistema de iluminação, iniciando pelo desenvolvimento de um projeto de iluminação para cada área com iluminação ineficiente e aproveitando todas as manutenções com troca de lâmpadas e reatores por equipamentos eficientes. Além deste aspecto, recomenda-se substituir no estoque as especificações de lâmpadas, luminárias e reatores, a fim de que as próximas aquisições, mesmo em nível de manutenção, já ocorram com produtos de notada eficiência energética e adaptável aos sistemas existentes. A substituição completa do sistema de iluminação produz uma economia em torno de 26% no consumo total com este uso final.

3.2.3 Otimização do Sistema de Ar Comprimido

Identificou-se as seguintes medidas recomendadas em relação ao sistema de ar comprimido:

- Verificação da existência e eliminação de possíveis vazamentos na linha de distribuição do ar;
- Colocação de um reservatório “pulmão” próximo aos principais equipamentos para amortecer o impacto destes sobre os compressores;
- Instalação de um controle dos compressores para evitar operações simultâneas desnecessárias.

3.2.4 Melhoria no Sistema de Climatização dos Ambientes

Embora pouco significativo no consumo global, identificou-se as seguintes medidas para conservar energia também neste uso:

- Ajuste dos termostatos em 24^oC, colocando-se onde necessário um sistema de bloqueio do ajuste.
- Redução média no período de funcionamento de 1 hora diária, através de mudanças de hábitos ou mesmo controle automático de alguns equipamentos;
- Colocação de protetores solares onde não existir.

3.2.5 Substituição de Bombas

A análise dos sistemas de bombeamento de água e da central de resfriamento indicou um alto potencial de economia, resultando em mais de R\$ 60 mil por ano. Conforme se observa na Figura 4, a economia pode ser obtida a partir da substituição das duas bombas existentes (ETA) por uma única com os parâmetros de vazão e pressão otimizados ao processo, buscando a redução da potência necessária do motor, além da substituição dos outros motores que compõem o sistema de bombeamento por motores de alto rendimento, que devido ao seu alto fator de carga, apresenta um excelente tempo de retorno do investimento.

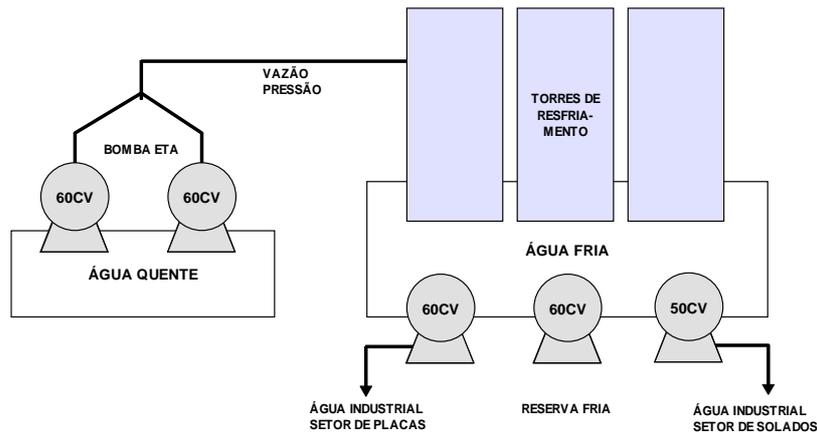


Figura 4 – Esquema de Instalação das Bombas

3.2.6 Substituição de Motores

A substituição de motores existentes, em grande parte ineficientes, por motores de alto rendimento traz um ganho mínimo de 4% em economia de energia, sendo que em alguns casos, como alguns identificados no diagnóstico e ilustrado na Figura 5, essa economia pode chegar a cerca de 8%. No entanto, devido ao elevado investimento que essa medida requer, recomenda-se um estudo específico para definir uma lista de motores prioritários para troca, levando-se em conta as diversas características, como fator de carga, rendimento, entre outras, buscando-se assim otimizar o investimento, focando-se inicialmente naqueles equipamentos que irão produzir um retorno mais rápido.

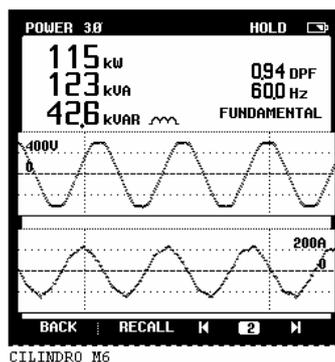


Figura 5 – Medição de Potência em um Motor

3.2.7 Substituição de Equipamentos

A partir da análise dos diversos processos industriais, identificou-se a possibilidade de substituição de prensas mecânicas utilizadas na moldagem dos solados por outras com funcionamento hidráulico que trazem uma economia bastante significativa. No entanto, em virtude do elevado investimento inicial, recomenda-se um planejamento no sentido de implementar essa medida, que além dos ganhos diretos com energia elétrica também

gera ganhos em termos de manutenção dos equipamentos. Essa medida gera uma economia em torno de R\$ 94 mil por ano.

Também verificou-se a possibilidade de substituir o acionamento das resistências utilizadas na seção de pintura das placas de solado, atualmente feito através de contadores diretos, por módulos de potência que melhoram em muito a qualidade do processo em termos de produto acabado. Além desse fator importante também gera economia no consumo de energia elétrica em torno de 5%, em uma seção que possui uma demanda de 400 kW, representando 11% do consumo global.

3.2.8 Eliminação de Perdas no Sistema de Distribuição

Conforme foi constatado, havia diversos transformadores operando com baixo carregamento e que independente disso apresentam perdas no ferro constantes. Assim, avaliou-se a possibilidade de remanejamento entre alguns transformadores e substituição de outros por potências adequadas às cargas que alimentam, reduzindo a capacidade instalada em transformação e, conseqüentemente, as perdas elétricas. O resultado do estudo pode ser mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Avaliação das Perdas na Instalação dos Transformadores

Descrição	Configuração	
	Atual	Proposta
Capacidade Instalada [kVA]	13.450	11.400
Demanda Média [kW]	4.750	4.750
Fator de potência médio	0,92	0,92
Carregamento médio [%]	38,39	45,29
Perdas no Ferro [kW]	27,09	22,80
Perdas no Cobre [kW]	186,25	157,17
Perdas Totais [kW]	98,59	93,98
Consumo EE na Ponta [kWh]	6.507	6.203
Consumo EE Fora de Ponta [kWh]	65.461	62.404
Preço Médio da Energia Ponta [R\$/kWh]	0,6058	0,6058
Preço Médio da Energia F. Ponta [R\$/kWh]	0,1718	0,1718
Gasto com Energia [R\$]	15.187,91	14.478,69
Redução de Perdas [kWh]	---	3.361
Economia mensal [R\$]	---	709,22
Economia [%]	---	4,9%
Economia anual [R\$]		8.511,00

3.2.9 Atualização do Sistema de Monitoramento e Controle de Energia

Identificou-se a necessidade de atualizar o sistema de controle de demanda e gerenciamento de energia existente com o aumento de novos pontos de controle, buscando entre outros objetivos limitar a demanda ao valor contratado. O sistema deve apresentar as seguintes características:

- Acompanhar a evolução do consumo e demanda junto ao medidor da concessionária em tempo real e por setores.
- Fornecer dados para calcular mensalmente os índices energéticos da instalação: $R\$/MWh$, $R\$/funcionário$, $R\$/usuário$, $kWh/funcionário$, kWh/dia , $kWh/ponta$, $kWh/fora\ de\ ponta$, $kWh/usuário$, kWh/m^2 e outros a definir.
- Controlar as cargas em operação em diversos pontos, permitindo a visualização à distância do estado de operação das mesmas, de forma a garantir a não ultrapassagem da demanda contratada. O sistema deve funcionar em rede para facilitar o acompanhamento e controle.

Atualmente o valor contratado de demanda é de 4750 kW. Sugere-se, portanto, a instalação de um gerenciador de demanda que controle as cargas mais significativas, de modo a não exceder o valor contratado, conforme constatado na Figura 6. Com essa medida seria possível reduzir a demanda faturada em 209 kW, sendo este, portanto, o total de demanda evitada.

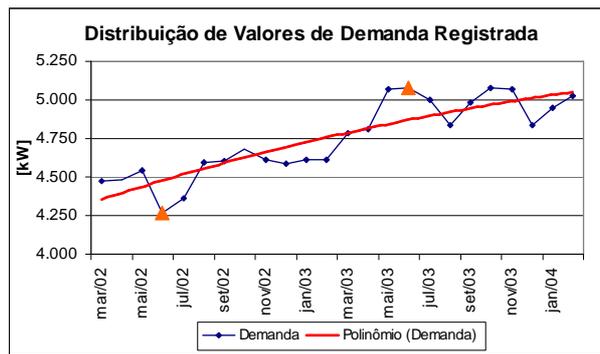


Figura 6 – Distribuição dos Valores de Demanda Registrada

3.2.10 Geração Própria no Horário de Ponta

Embora a implementação desta medida não seja ainda viável em função da disponibilidade de contratação de energia diferenciada no horário de ponta, foi constatado que a geração própria de energia no horário de ponta produz uma economia significativa na conta de energia caso não seja disponibilizado ao cliente a energia especial atualmente comercializada pela distribuidora local. No entanto, tendo-se em vista que esta energia especial é de caráter precário, podendo ser suspensa no futuro dependendo das condições do sistema elétrico e do mercado como um todo, deve-se considerar seriamente o projeto de implantação de geração própria.

Em virtude da utilização intensa de vapor, deve-se contratar um estudo específico visando aproveitar a energia térmica gerada pelos motores para o pré-aquecimento de água. Essa medida requer soluções inovadoras, mas perfeitamente possíveis e devido às dimensões do sistema, vale a pena ser considerada.

3.2.11 Análise de Enquadramento Tarifário

A análise de contas de energia elétrica permite avaliar as características de consumo da unidade, permitindo identificar oportunidades de redução de custos relacionadas com os parâmetros de contrato mais adequados às necessidades da instalação. Neste sentido, a Tabela 3 apresenta o resultado do estudo sobre diversas modalidades de contratação. Verificou-se que a migração do grupo tarifário A4 para o A2 gera uma economia de 13% em relação à atual forma de tarifação e de 29% em relação à tarifação normal caso não houvesse a disponibilidade de energia especial na ponta.

Tabela 3 – Resultados das Simulações Tarifárias

Tipo de Tarifação	Valor Médio (R\$)	(%)
1. THS Azul Energia Especial (Atual)	394.956,06	100,0%
2. THS Azul Normal	479.834,43	121,5%
3. THS Verde	462.629,01	117,1%
4. THS Azul – Grupo A2	341.336,60	86,4%
5. Consumidor Livre	367.220,22	92,9%

3.2.12 Estudos Específicos

Além dos estudos anteriores, realizou-se uma série de medições visando avaliar a qualidade da energia e como desequilíbrios de tensão e corrente, além de componentes harmônicas no sistema, podem afetar o desempenho dos equipamentos elétricos. Neste sentido, a Figura 7 mostra o perfil de tensão em um determinado transformador.

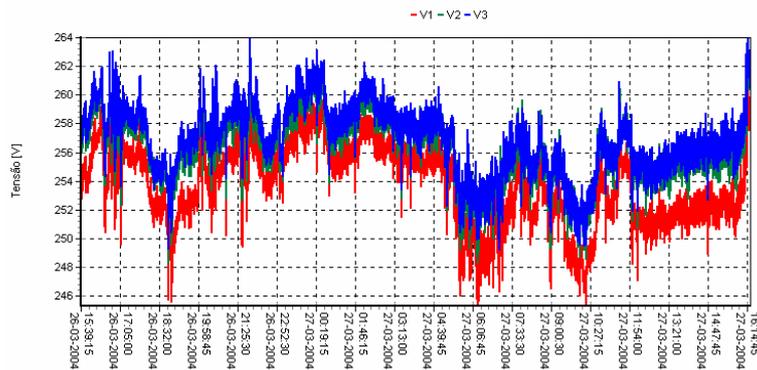


Figura 7 – Perfil de Tensão por Fase

O desequilíbrio de tensão medido foi de 1,98% (V2/V1) e 2,29% (V3/V1), sendo os valores típicos de referência igual a $0,5\% < \Delta V < 2,0\%$. Os efeitos da variação de tensão são muitos e afetam a vida útil de capacitores, perdas e eficiência de transformadores e motores, além de outros efeitos na iluminação e cabos e condutores. Apenas para exemplificar, um desequilíbrio de tensão de 2% pode aumentar as perdas em até 8% em motores, enquanto um desequilíbrio de 5% pode afetar em até 50% a eficiência dos motores.

Também se avaliou a presença de harmônicas no sistema de distribuição. Como pode ser constatado através da Figura 8, o valor médio da distorção harmônica de tensão (THDv) é em torno de 4%, enquanto a de corrente (THDi) está em torno de 10%. Os valores de referência máximos recomendados é de 4% para o THDv e de 20% para o THDi. Portanto, os valores medidos encontram-se dentro dos limites máximos.

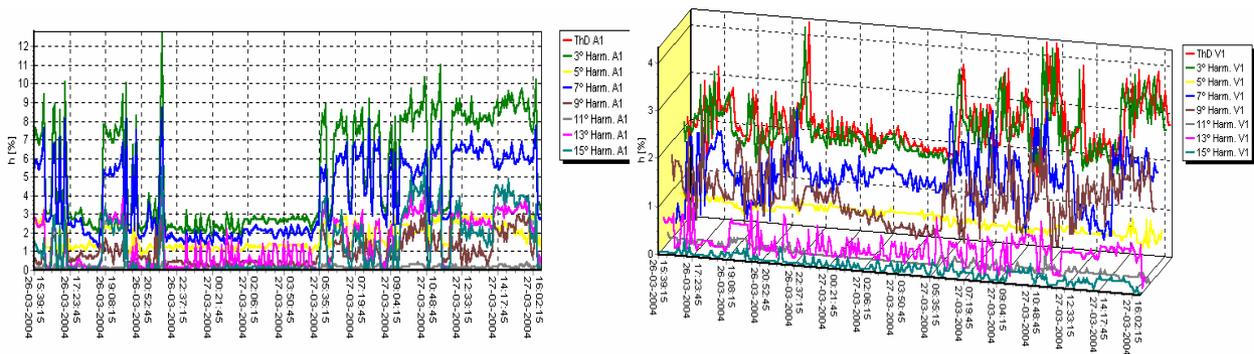


Figura 8 – Harmônicas de Corrente e de Tensão

3.3 Resultados Obtidos

Finalmente, a Tabela 4 apresenta de forma resumida as ações mensuráveis para redução de custos, os investimentos necessários e retorno do investimento em cada medida sugerida. Para esta avaliação econômica, considerou-se o método do retorno simples, com taxa de juros anual de 10%.

Tabela 4 – Síntese dos Resultados Obtidos do Diagnóstico

Oportunidade	Energia Anual Econom. [MWh]	Economia Anual [R\$]	Invest. [R\$]	Retorno [anos]
Correção do Fator de Potência	---	51.600,00	65.000,00	1,2
Retrofit do Sistema de Iluminação	266,17	56.282,00	170.000,00	3,3
Otimização do Sistema de Ar Comprimido	278,78	58.944,00	NA	NA
Melhoria no Sistema de Climatização dos Ambientes	NA	NA	NA	NA
Substituição das Bombas ETA	264,47	55.922,00	NA	NA
Substituição das Bombas da Central de Resfriamento	122,15	5.460,00	NA	NA
Instalação de Prensas Hidráulicas	446,11	94.320,00	NA	NA
Instalação de Módulos de Potência nas Linhas de Pintura	42,16	9.396,00	NA	NA
Substituição de Motores	345,54	73.068,00	602.640,00	10,8
Eliminação de Perdas no Sistema de Distribuição	40,33	8.511,00	NA	NA
Atualização do Controlador de Demanda	---	29.239,00	33.000,00	1,2
Geração na Ponta	---	1.060.746,00	2 mi	2,1
Construção de Subestação de 138Kv*	---	643.440,00	NA	NA

A implantação das medidas de conservação e/ou racionalização do uso de energia podem gerar uma economia significativa, resultando em uma energia conservada de 1.805,71 MWh.ano, que representa 7,9% do total de energia consumida no ano. Em valores monetários, isso representa uma economia de R\$ 442.742,00, ou seja, 9,34% do custo total da energia.

4.0 - CONCLUSÕES

Os resultados apresentados, extraídos de um caso real, permitem concluir baseados na economia obtida, que a Gestão da Energia é essencial, especialmente quando o insumo energético tem peso preponderante. Na medida em que processos produtivos mais avançados, necessários à sustentação da empresa em um mercado competitivo, estão intimamente ligados ao uso da energia, a participação desta como insumo tende a aumentar, tornando a Gestão da Energia peça chave no alcance de um processo produtivo que seja, ao mesmo tempo, eficiente, racional e competitivo.

As diversas oportunidades aqui descritas mostram o quanto pode ser eficaz a realização de um amplo diagnóstico energético, resultando em economias significativas com tempo de retorno do investimento bastante atrativos. Essas conclusões, além de indicar o real potencial de programas de conservação de energia, mostram a clara necessidade do país em investir em programas de eficiência energética que poderão efetivamente ajudar na superação do enorme desafio de conciliar o crescimento do consumo e da geração de energia no país.

5.0 - BIBLIOGRAFIA

(1) CARVALHO, C.E.; REIS, L.B.; FADIGAS, E.A.A. "Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável". 1º ed. São Paulo. Editora Manole, 2005.

6.0 – DADOS BIOGRÁFICOS

Claudio Elias Carvalho

Nascido em Franca, SP em 04 de maio de 1975.

Graduação (1997), Mestrado (2000), Doutorado (2005) pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Empresas: Poli-USP (1998-2004); Poluz Engenharia e Consultoria (1999-2005); ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, desde 2005. Especialista em Regulação de Serviços Públicos de Energia Elétrica.