



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica  
SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro  
Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

**Gabriela Ferreira da Silva**

**Companhia Paulista de Força e Luz**

**gabrielaf@cpfl.com.br**

**Eficiência Energética em Indústria - Case 3M Ribeirão Preto**

**Palavras-chave**

Chiller  
Eficiência Energética  
Entálpico  
Industrial  
Trocador de Calor  
Turbocor

**Resumo**

O objetivo do projeto foi a redução de consumo de energia e de demanda no horário de ponta na unidade da 3M do Brasil localizada em Ribeirão Preto/SP através de ações de eficiência energética, no Programa de Eficiência Energética (PEE) da CPFL – PAULISTA.

Foram priorizados no projeto os sistemas:

- Ar condicionado destinado à aclimação ambiental do recinto fabril, substituindo-se os antigos equipamentos de produção de água fria com base em compressores a pistão, por novos equipamentos (Chiller Turbocor Tosi) com condensação a ar, escolhido por ser considerado o mais eficiente do ponto de vista energético.
- Instalação de Recuperador de Calor Entálpico em setor fabril onde o processo tecnológico ali desenvolvido produz elementos tóxicos que poluem o ar, o que faz quem o a eliminação do ar interno (e resfriado) seja frequente, além disso, também é necessário manter condições de temperatura de no máximo 22°?.
- Além destes, também foram contemplados no projeto sistemas de Iluminação, exaustão, bombeamento para refrigeração e automação da caldeira.

Os resultados atingidos são por volta de 280kW de demanda retirada na ponta e 1.560MWh/ano de economia de energia, sendo que destes, as duas primeiras ações apresentadas acima são responsáveis por 45% do resultado obtido.

## 1. Introdução

Este projeto faz parte do Programa de Eficiência Energética da ANEEL, porém é realizado através de contratos de desempenho com os clientes, uma vez que este é um cliente que possui fins lucrativos. Os contratos de desempenho se caracterizam pelo retorno do investimento pelo cliente para a concessionária; sendo que o pagamento se dá baseado na economia gerada pelo projeto, uma vez que as parcelas a serem pagas pelo cliente não poderão ser superiores ao valor monetário apurado pela economia gerada.

O valor pago pelo cliente retorna para o PEE, e reintegra a conta de Eficiência Energética, sendo que o mesmo deve ser usado para outros projetos de EE.

O trabalho foi baseado na crescente necessidade da indústria de estar sempre à frente em tecnologia e desempenho nos seus processos, para que possa produzir da forma mais segura, limpa e eficiente possível. A escolha dos sistemas abrangidos neste projeto foi devido à sua importância na contribuição da formação dos custos que a indústria possui com energia elétrica, além de serem pontos onde a modernização dos sistemas se fazia necessária.

Através de estudos e levantamentos técnicos na planta da indústria, pode-se identificar quais sistemas seriam atacados dentro do projeto de EE, sendo eles:

- Sistemas de ar condicionado;
- Refrigeração de equipamentos;
- Equipamentos da casa de caldeiras;
- Sistemas de iluminação;
- Sistemas de exaustão.

Após a escolha dos sistemas, foram identificadas quais seriam as soluções tecnológicas mais eficientes e viáveis para realização do projeto de EE, uma vez que todo projeto realizado dentro do PEE deve seguir rigorosamente as diretrizes e orientações do Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da ANEEL.

Desta forma, obteve-se as seguintes soluções para cada sistema:

**Sistemas de ar condicionado** - Modernização do sistema de ar condicionado através de substituição do sistema antigo constituído por torres de resfriamento a pistão por Chiller Turbocor. Instalação do recuperador de calor entálpico.

**Refrigeração de equipamentos** – Otimização do desempenho do sistema de bombas de água para refrigeração através de substituição de equipamentos e melhorias no desempenho dos sistemas existentes.

**Equipamentos da casa de caldeiras** - Substituição da bomba de alimentação da caldeira e automação do ventilador de fornecimento de ar para queimação.

**Sistemas de iluminação** - Modernização do sistema de iluminação.

**Sistemas de Exaustão** - Instalação de exaustores eólicos em prédio do recinto fabril.

A tabela 1 abaixo representa resumidamente as economias geradas pelo projeto.

**Tabela 1 - Resumo Economia**

Melhorias	Redução de energia (MWh)	Redução de demanda (kW)
Sistema Chiller 180TR	585,97	90,37
Recuperador de Calor	142,97	31,14
Sistema Chiller 20TR	48,29	8,14
Sistemas de refrigeração de equipamentos	101,53	11,79
Equipamentos da casa de caldeiras	184,28	24,16
Iluminação	457,34	87,50
Exaustores Eólicos	42,60	27,30
	<b>1.562,98</b>	<b>280,40</b>

Toda a informação para construção das economias geradas pelo projeto foram obtidas através de medições anteriores e posteriores ao Retrofit no projeto, de acordo com o Protocolo Internacional para Medição e Verificação de Performance (PIMVP).

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. Sistema de ar condicionado**

#### **Chiller 180TR:**

Este sistema de ar condicionado está destinado à aclimação ambiental de um dos recintos fabris, foram substituídos os antigos equipamentos de produção de água fria que funcionavam com base em compressores a pistão (obsoletos) por equipamentos modernos. O equipamento instalado foi um Chiller Turbocor (Tosi) com condensação a ar, o conjunto possui capacidade de refrigeração de 160 TR, sendo formado por duas unidades de 80 TR cada.

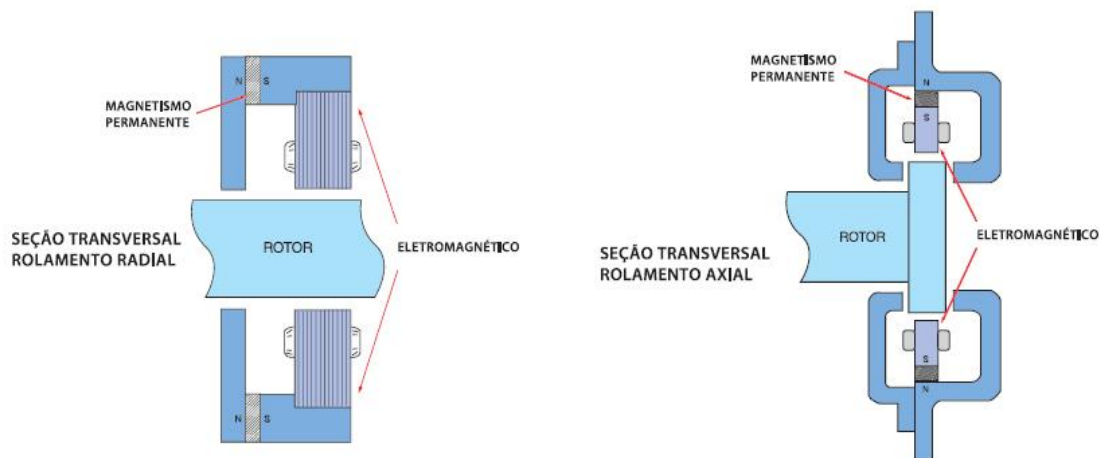
Com a instalação do novo equipamento, foi possível a desativação e retirada de duas torres de resfriamento a água, que foram substituídos por dois conjuntos chiller turbocor conforme figura 1 abaixo.



**Figura 1 - Torre de resfriamento antiga e Turbocor utilizado na substituição**

O desempenho ideal pode ser obtido através do controle de velocidade variável contínuo. Os compressores são ligados e desligados individualmente, de forma a atingir o melhor Coeficiente de Performance (COP). Uma ampla capacidade de modulação permite que pequenas cargas térmicas sejam atendidas, o que reduz o número de partidas do motor.

Como o compressor é com mancais magnéticos (figura 2), sem óleo, não são mais necessários componentes do compressor para circulação, resfriamento e filtragem do óleo, e não há desgaste no mancal magnético, pois não há contato entre as peças móveis, o que faz com que o grau de eficiência permaneça otimizado e os custos de manutenção e serviço sejam reduzidos.



**Figura 2 - Mancais magnéticos**

Também foram alvos do projeto os equipamentos auxiliares do sistema de refrigeração deste setor, em especial as bombas de circulação de água gelada. Como foi modificada a metodologia de operação, foi possível que agora se trabalhasse com mais bombas de menores vazões, de modo que elas entrem em funcionamento de acordo com a carga térmica necessária. Foram instalados 3 novos conjuntos motobomba, cada um deles equipado com motor de potência de 10 CV, que entram em operação conforme a demanda de

água gelada.

Com o novo chiller, foi possível desativar todo o sistema de refrigeração a água da parte da condensação, uma vez que esta agora se dá através de ar, eliminando-se as bombas de circulação de água e os ventiladores das torres.

É importante lembrar-se do incrível benefício de não mais se utilizar água para o processo de condensação, economizando-se também este recurso. Além disso, houve um enorme ganho predial para a indústria, sendo que toda uma sala foi desapropriada de equipamentos.

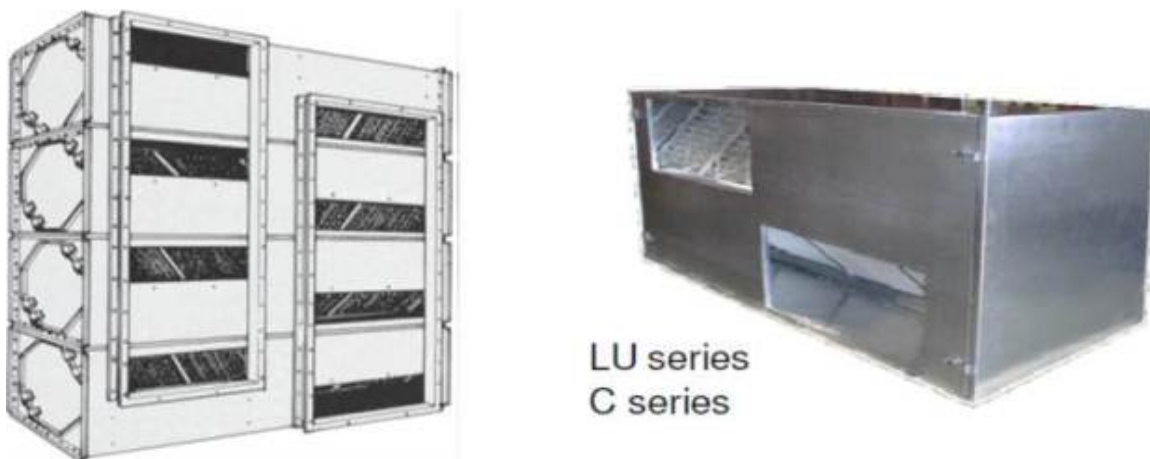
Através desta ação dentro do projeto, obtivemos a seguinte tabela representativa para o sistema:

**Tabela 2 - Dados Chiller 180TR**

Situação	Equipamento	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	Torres de Resfriamento	851,55	131,62
	Sistema Auxiliar	324,03	46,71
Atual	Chiller	483,70	72,75
	Sistema Auxiliar	105,92	15,21
Redução		585,97	90,37

### **Recuperador de Calor Entálpico:**

Em determinado setor fabril, é necessário que se mantenha condições confortáveis de temperatura até 22<sup>o</sup>?, além disso, existem elementos tóxicos que são dispersos no ar através do processo tecnológico ali desenvolvido, o que faz com que frequentemente precise-se eliminar o ar do interior do local (resfriado e com impurezas). Foi neste ponto do sistema que instalou-se um recuperador de calor entálpico, projetado para um fluxo de ar de até 19.000 m<sup>3</sup>/hora, modelo Lossnay da Mitsubishi, ilustrado na figura 4.



**Figura 3 - Recuperador de Calor Entálpico**

Este equipamento permite a recuperação da energia do ar frio que estava sendo rejeitado (figura 4), e desta

forma o ar que será lançado para os equipamentos de ar condicionado já está previamente resfriado, podendo-se diminuir a carga destes equipamentos, refletindo assim em uma economia energética no sistema de refrigeração destinado para este local. A troca de energia se dá por convecção por meio de placas especialmente desenvolvidas, sendo assim não há contato do ar de saída com impurezas e o ar de entrada (figura 5).

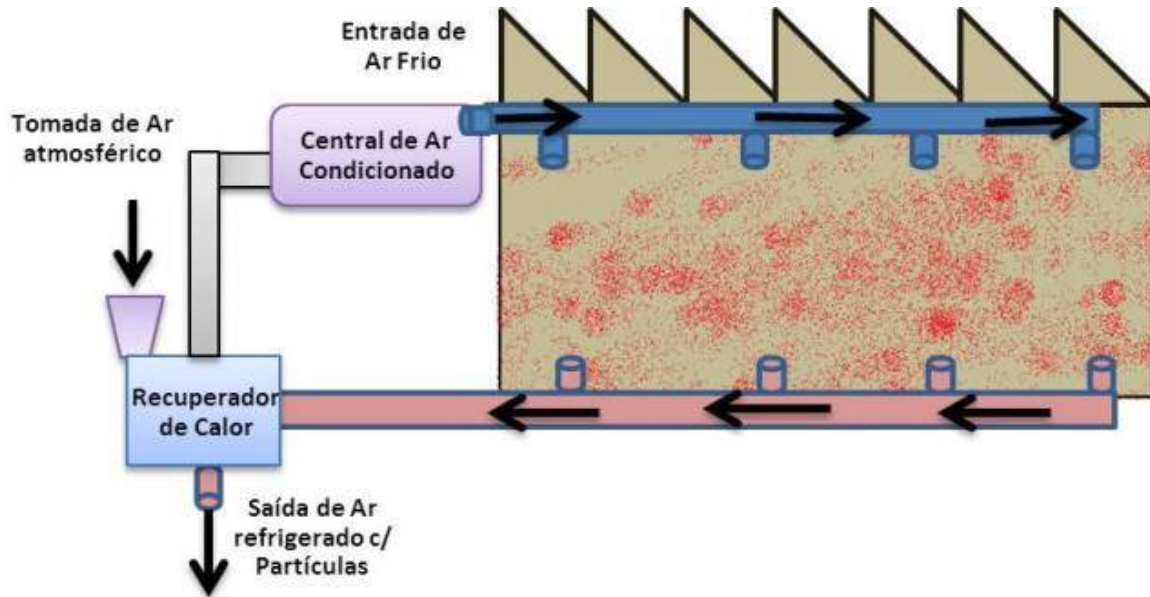


Figura 4 - Reaproveitamento do ar resfriado.

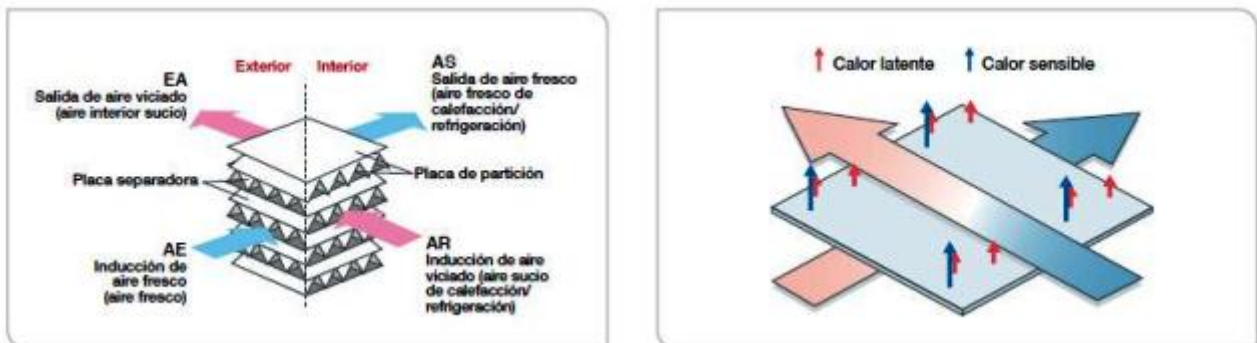


Figura 5 - Troca de energia por convecção.

Com esta ação, obtivemos a seguinte tabela representativa para o sistema:

Tabela 3 - Dados Recuperador Entálpico

	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	353,25	66,28
Atual	210,28	35,14
Redução	142,97	31,14

## Chiller 20TR:

Houve a substituição de um Chiller antigo de 20TR por um Tosi modelo Digital Scrol com os mesmos 20TR. Com esta modificação, foi possível alterar o regime de operação do sistema auxiliar de fornecimento de água fria do processo, que é composto por uma torre de refrigeração mecânica com uma bomba de água e um reservatório de água fria com uma bomba de água.

O tempo total de funcionamento do sistema de refrigeração diminuiu, ainda que fosse mantido inalterado o regime de trabalho e o processo fabril ali desenvolvido; isso foi possível com a instalação de um sistema de automação.

Com esta ação, obtivemos a seguinte tabela representativa para os resultados:

**Tabela 4 - Dados Chiller 20TR**

Situação	Equipamento	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	Chiller	34,49	13,89
	Sistema Auxiliar	57,78	8,26
Atual	Chiller	30,97	10,85
	Sistema Auxiliar	13,01	3,16
Redução		<b>48,29</b>	<b>8,14</b>

## 2.2. Refrigeração de equipamentos

Estes sistemas são, em sua maioria, formados por compressores, torres de refrigeração e bombas (água fria e normal). A efficientização deles deu-se por substituições e otimização dos processos executados. Através de substituição de bombas e automação do sistema foi possível que se controlasse o funcionamento dos equipamentos, para que fossem ligados ou desligados e acordo com a demanda.

Abaixo segue resumo dos resultados obtidos nesta frente de trabalho:

**Tabela 5 - Dados Refrigeração de equipamentos**

	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	250,09	34,53
Atual	148,56	22,74
Redução	<b>101,53</b>	<b>11,79</b>

## 2.3. Equipamentos da casa de caldeiras

### Bombas

Neste ponto do processo, uma das bombas de alimentação de água foi substituída por uma bomba de alta

pressão, melhor dimensionada para os parâmetros reais de demanda de água exigida pelas caldeiras.

## Ventiladores

O fornecimento de ar aos queimadores das caldeiras é realizado por ventiladores com potência de 20CV, e o controle da quantidade de ar fornecida para os queimadores era realizado através de comporta na entrada de ar, com o ventilador trabalhando com carga total.

Esta regulagem de fornecimento de ar através de comportas não é a mais eficiente, e resulta em consumo complementar de energia elétrica, pois uma parte considerável da potência consumida pelo ventilador é dissipada nestas comportas. Através de medições, obteve-se que havia um coeficiente de excesso de ar superior aos valores recomendados.

Para aumentar a eficiência da combustão de gás nas caldeiras e a eficiência da utilização de energia elétrica pelos ventiladores, foram realizadas as seguintes ações:

- Instalação depois da caldeira um analisador de gás fixo que proporcionará o controle da correlação (combustível – ar);
- Regulagem do funcionamento do ventilador com um inversor de frequência, através do coeficiente de excesso de ar nos gases de exaustão.

Com estas melhorias obteve-se:

**Tabela 6 - Dados Equipamentos Caldeiras**

Situação	Equipamento	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	Bombas	193,54	25,20
	Ventiladores	57,80	8,19
Atual	Bombas	34,56	4,50
	Ventiladores	32,50	4,73
<b>Redução</b>		<b>184,28</b>	<b>24,16</b>

## 2.4. Sistemas de iluminação

Foi realizada a modernização de 1350 pontos do sistema de iluminação da planta, tanto de ambientes internos quanto externos.

Boa parte da iluminação da indústria estava com equipamentos não eficientes, como luminárias sem refletores, assim, em muitos casos foi possível substituir todo o conjunto, lâmpadas fluorescentes tubulares de 110W por lâmpadas de 32W em luminárias modernas de alto rendimento, e ainda em alguns pontos internos onde havia lâmpadas de vapor de sódio de 250W foram feitas substituições por FLC de 45W.

Na área externa, lâmpadas de vapor de sódio de 250W foram substituídas por FLC de 85W ou por vapor de sódio de 150W, além de alguns locais com sensores para que as lâmpadas fossem acionadas conforme o período do dia e a necessidade do setor.



Foi obtido um resultado bastante satisfatório com esta etapa, conforme ilustra a tabela abaixo:

**Tabela 7 - Dados Iluminação**

Situação	Equipamento	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	Interna	510,01	91,75
	Externa	208,36	47,14
Atual	Interna	166,81	29,93
	Externa	94,22	21,47
Redução		<b>457,34</b>	<b>87,50</b>

### 2.5. Sistemas de ventilação

A ventilação de um dos prédios da unidade era realizada por ventiladores axiais com potência de 1,5kW cada, e a exaustão de ar, que mostrava-se insuficiente, realizava-se por conta do movimento natural de ar através das aberturas no telhado. Os equipamentos substitutos escolhidos foram exaustores eólicos.

O desempenho deles é baseado na velocidade do vento e em função disso, para sua análise de viabilidade, foi realizada uma pesquisa no local (Ribeirão Preto) e conforme os dados coletados obteve-se a velocidade média do vento de 9 km/hora. Com este valor os exaustores eólicos instalados (com diâmetro de 24”) puderam proporcionar um fluxo de ar suficiente para a ventilação do prédio em questão.

Neste prédio foram substituídos os 15 ventiladores axiais de teto por exaustores eólicos, oferecendo os seguintes resultados:

**Tabela 8 - Dados Exaustores Eólicos**

	Consumo (MWH/ano)	Demanda (kW)
Anterior	42,60	27,30
Atual	-	-
Redução	<b>42,60</b>	<b>27,30</b>

### 3. Conclusões

Os projetos de Eficiência Energética no setor industrial estão em uma demanda crescente junto à CPFL, uma vez que são cada vez mais essenciais e importantes, tanto para o próprio setor como para a concessionária, que vê nestes clientes possibilidades de expansão e melhorias para o PEE, uma vez que a indústria representa 44,2% do consumo de energia elétrica no Brasil, segundo dados do Balanço Energético Nacional 2011, ano base 2010.

Através de projetos como este, é possível se obter um consumo muito mais eficiente de energia elétrica, e também um melhor conhecimento sobre a influência deste insumo para os setores da indústria.

Com as ações de eficiência energética executadas na planta da 3M em Ribeirão Preto através do PEE, foi possível obter os resultados globais conforme apresentados abaixo:

**Tabela 9 - Resultado global**

Redução de energia (MWh)	Redução de demanda (kW)
1.562,98	280,40

Além destes resultados obtidos diretamente no consumo de energia elétrica, também há os resultados secundários alcançados pelo projeto, como a redução no consumo de água para os casos em modernização nos sistemas de chiller, principalmente no momento em que sua refrigeração agora é realizada a ar. E também na redução de consumo de gás combustível nas caldeiras através de otimização de seu sistema.

Todas estas iniciativas dentro da indústria se mostram importantes não apenas pelo caráter obrigatório e de vantagem financeira do projeto como também como métodos melhores e mais sustentáveis de produção.

#### **4. Referências bibliográficas**

- Catálogos Tosi.
  - Catálogos Mitsubishi Lossnay.
  - Documentos e relatórios pertencentes ao PEE – CPFL Paulista.
  - Manual para Elaboração do Programa de Eficiência Energética da ANEEL. 2008.
  - Protocolo Internacional de Medição e Verificação do Desempenho Energético. 2007.
  - Balanço Energético Nacional 2011, ano base 2010.
-