



## XIX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica

SENDI 2010 – 22 a 26 de novembro

São Paulo - SP - Brasil

### Impacto na Perda Técnica com o Aumento da Cogeração das Usinas Sucroalcooleiras no Sistema de Transmissão da CPFL

<b>Alex Almeida Pignatti</b>	<b>Luiz Cláudio T. Nunes</b>	
<b>CPFL Energia</b>	<b>CPFL Energia</b>	
<a href="mailto:alexpignatti@cpfl.com.br">alexpignatti@cpfl.com.br</a>	<a href="mailto:lnunes@cpfl.com.br">lnunes@cpfl.com.br</a>	

#### Palavras-chave

Cogeração  
Geração Distribuída  
Perdas Técnicas  
Usinas Sucroalcooleiras

#### RESUMO

A CPFL Paulista possui 29 usinas sucroalcooleiras coggerando energia com contrato de exportação total de 490 MW. Em 2007, a demanda máxima da Companhia foi de 4290 MW sendo 376 MW supridos por exportação de usinas de cana-de-açúcar, o que representa aproximadamente 9 %.

O aquecimento do mercado sucroalcooleiro e os incentivos cada vez maiores à cogeração, tornam a geração distribuída um assunto de grande relevância para a matriz energética brasileira.

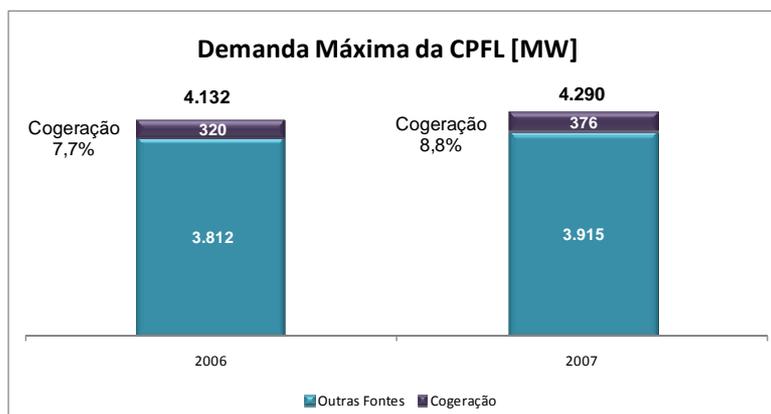
No sistema da CPFL Paulista foram previstos para os anos de 2008 e 2009 contratos de exportação com outras nove usinas, incrementando cerca de 250 MW, sendo todas conectadas no sistema de transmissão da empresa (69 kV e 138 kV).

Essa exportação é sazonal e tem forte impacto sobre o sistema da distribuidora, com excesso de fontes de suprimento na safra e escassez na entressafra.

Este trabalho apresenta um estudo do impacto da conexão desses novos autoprodutores na perda técnica do sistema de transmissão da CPFL Paulista e do Sistema Interligado Nacional (SIN). Nele, são demonstrados os diferentes efeitos da exportação energética das usinas de cana-de-açúcar na perda técnica do SIN e da distribuidora.

#### 1. INTRODUÇÃO

A CPFL Paulista distribui energia a uma população de aproximadamente 8 milhões de habitantes no interior do estado de São Paulo. Em 2008, seu sistema possuía 29 usinas sucroalcooleiras coggerando energia com contrato de exportação. Conforme mostra a Figura 1, no ano de 2007 a carga da CPFL Paulista atingiu 4290 MW, sendo que o montante de geração utilizando biomassa representou aproximadamente 9 % dessa carga com 376 MW, e pico máximo de exportação de 394 MW.



**Figura 1 - Demanda Máxima da CPFL [MW] nos anos de 2006 e 2007**

Em termos energéticos, comparando o ano de 2006 com o ano de 2007, ocorreu um aumento de 2,63 % da energia exportada pelos cogeneradores no sistema da CPFL Paulista.

Esse crescimento é resultado de um aquecimento do mercado sucroalcooleiro e dos diversos incentivos à produção de energia elétrica utilizando biomassa. Junto a isto, foram previstos para os anos de 2008 e 2009, contratos de exportação com outras nove usinas de cana-de-açúcar.

Pela demanda elevada, esses novos empreendimentos serão conectados ao Sistema de Transmissão da CPFL Paulista e, para atender a todos os requisitos técnicos, essa conexão seria feita através de seccionamento de circuitos.

Outra característica importante das Usinas Sucroalcooleiras, com relevante impacto sobre sistema da CPFL Paulista, é a sazonalidade da exportação de energia, configurando dois períodos bem distintos: safra e entressafra da cana-de-açúcar.

A sazonalidade da cogeração, o montante de energia exportada e a forma de conexão dessas novas usinas têm impacto no comportamento da perda de energia do Sistema Interligado Nacional e no sistema de transmissão da empresa.

Se para o Sistema Interligado Nacional (SIN) a geração distribuída dessas usinas possibilita redução da perda de energia, no sistema da distribuidora isso não ocorre. Além de um significativo aumento da extensão dos circuitos e da sazonalidade da cogeração, a grande concentração de exportação de energia na mesma região eleva a perda na transmissão da distribuidora. Esse fato é agravado pela localização das novas usinas que estão, na grande maioria dos casos, em áreas agrícolas e, portanto, afastadas dos grandes centros de carga da CPFL Paulista.

O objetivo principal deste trabalho é apresentar um estudo relativo ao impacto da conexão desses novos empreendimentos na perda técnica do sistema de transmissão da CPFL Paulista e do SIN. Foram realizadas simulações para três patamares de carga (pesada, média e leve), considerando diferentes intercâmbios energéticos no SIN, combinados com os principais cenários de exportação das novas usinas sucroalcooleiras.

Com esses enfoques, são demonstrados os diferentes efeitos da exportação das usinas de cana-de-açúcar na perda técnica do SIN e da distribuidora. Também são abordados aspectos relacionados às características das curvas de exportação de energia das usinas, os impactos no desempenho do sistema de transmissão da distribuidora e sobre o planejamento da expansão da CPFL Paulista.

## **2. SAZONALIDADE NA EXPORTAÇÃO DAS USINAS SUCROALCOOLEIRAS**

A cogeração das usinas sucroalcooleiras apresenta comportamentos totalmente variáveis durante o ano. No período da safra da cana-de-açúcar, compreendido entre os meses de maio e novembro, os valores de demanda exportada atingem montantes próximos aos definidos em contrato com a distribuidora. Nos outros meses a exportação é praticamente nula. A Figura 2 apresenta a sazonalidade

de exportação de energia das Usinas sucroalcooleiras no sistema da CPFL Paulista, para os anos de 2006 e 2007.

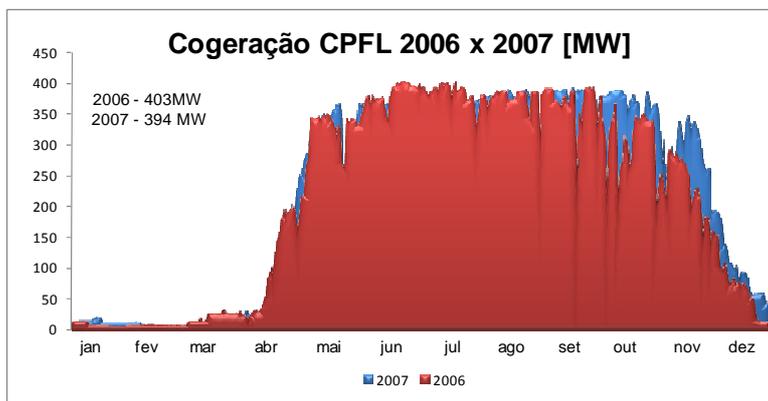


Figura 2 - Exportação de Autoprodutores no Sistema da CPFL Paulista - 2006/2007

A análise das curvas de exportação das usinas atualmente operantes permitiu determinar um fator de coincidência de 80 % em relação aos valores de contrato de exportação para o período de safra. Logo, as usinas exportam, em média, 80 % da demanda contratada no período da Safra. Esse fator permite elaborar cenários de exportação mais realistas para os estudos de planejamento.

Essa característica de geração tem forte impacto sobre o sistema da distribuidora, com comportamentos totalmente divergentes para esses dois períodos. Assim, no período de safra tem-se excesso de fontes de suprimento e, no período de entressafra, verifica-se escassez dessas fontes, conforme mostra a Figura 3.

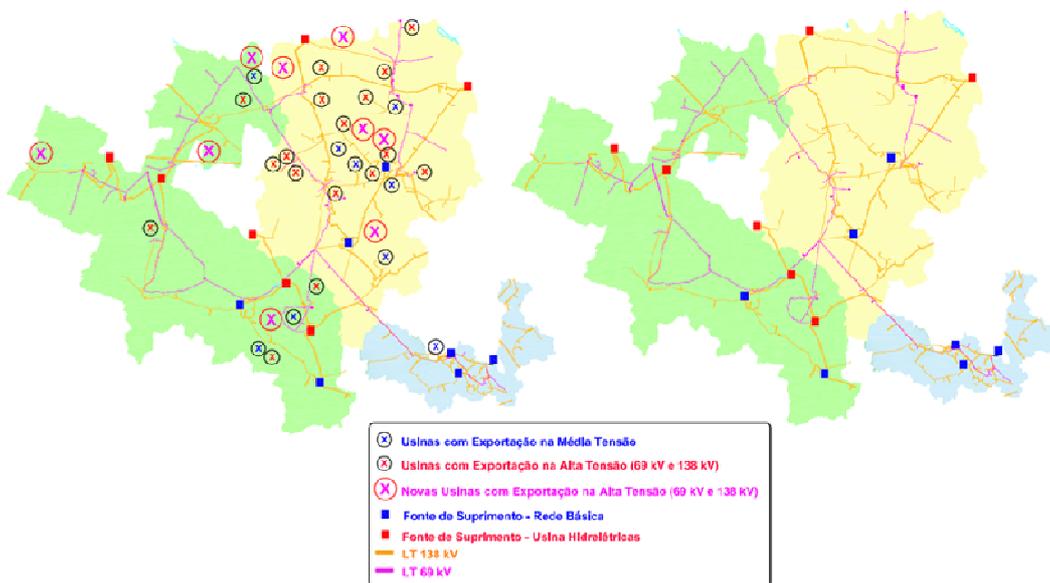


Figura 3 – Sistema da CPFL Paulista - 2006/2007

Analisando o comportamento da carga total da CPFL Paulista, no ano de 2007, considerando todos os pontos de suprimento, é possível verificar a participação dos cogeneradores no complemento da carga da empresa e sua sazonalidade, conforme mostra a Figura 4.

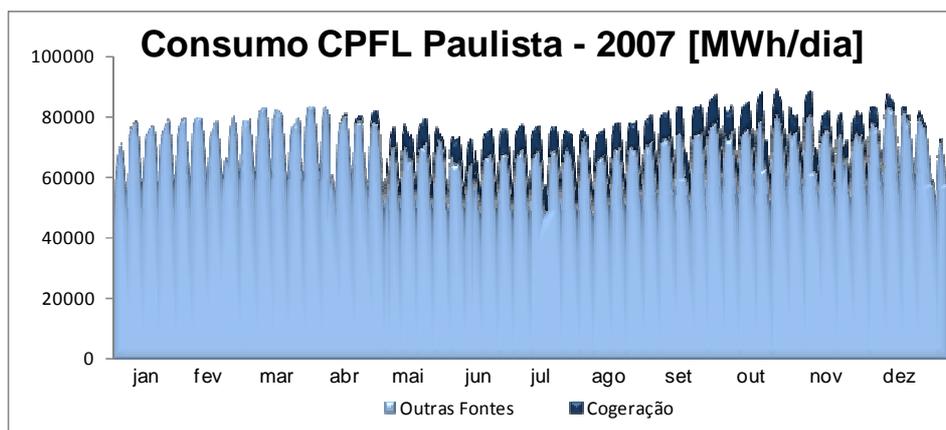


Figura 4 - Composição do Suprimento Energético da CPFL Paulista [MWh/dia].

### 3. A CONEXÃO DAS NOVAS USINAS NO SISTEMA DE TRANSMISSÃO DA CPFL PAULISTA

As usinas que possuíam previsão de conexão para os anos de 2008 e 2009 são apresentadas na Tabela I, e identificadas por números. Todas elas estão localizadas nas regiões Nordeste e Noroeste da CPFL Paulista, ou seja, nos mesmos sistemas onde se encontram a maior parte das usinas em atual operação. A Figura 3 apresentada anteriormente identifica os locais de conexão dessas novas usinas.

Tabela I - Novas Usinas Sucroalcooleiras no Sistema da CPFL - 2008/2009

USINA	TENSÃO [kV]	ARRANJO	CONTRATO DE EXPORTAÇÃO [MW]	
			2008	2009
1	138	Seccionamento	20	24
2	138	Seccionamento	40	40
3	138	Seccionamento	14	26
4	138	Seccionamento	21	21
5	138	Seccionamento	34,4	34,4
6	138	Seccionamento	14	26
7	69	Seccionamento	27	27
8	69	Seccionamento	30	30
9	138	Seccionamento	12,5	15

Esses novos empreendimentos totalizam um incremento de aproximadamente 250 MW de exportação contratada frente aos 490 MW já em contrato no sistema da empresa em 2008.

Devido à potência instalada, todas elas seriam conectadas no sistema de transmissão da CPFL Paulista (69 kV e 138 kV). Para manter os padrões de confiabilidade e flexibilidade operativa, bem como o ajuste adequado do sistema de proteção, essas conexões deveriam ser realizadas através do seccionamento das linhas de transmissão, o que traria como consequência o aumento de aproximadamente 140 km nos circuitos da CPFL Paulista.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS

Todas as análises e resultados são embasados em dados de previsões de mercado, cenários de despachos de usinas, intercâmbios energéticos e configurações do sistema elétrico da CPFL Paulista e do SIN.

#### 3.1 PREMISSAS DE ESTUDO

Para o cálculo do fluxo de potência são utilizados os casos bases do Plano Decenal 2007-2016, elaborados pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) em conjunto com os demais agentes do setor, para os anos de 2008 e 2009.

Foram considerados três patamares de carga para análise das perdas técnicas:

- Pesada: representa aproximadamente 2 horas do dia
- Média: representa aproximadamente 10 horas do dia
- Leve: representa aproximadamente 12 horas do dia

Foram considerados três cenários de exportação para os novos empreendimentos de cogeração:

- Conectadas ao sistema sem exportar energia
- Conectadas ao sistema gerando exatamente o valor de contrato
- Conectadas ao sistema gerando 80 % do valor de contrato (despacho esperado)

Foram considerados dois intercâmbios energéticos para o SIN:

- 2008 – Cenário Norte Seco – O cenário que caracteriza o regime hidrológico representativo do segundo semestre do ano (período seco no Norte), quando a região Sul é exportadora para a região Sudeste/Centro-Oeste e esta exportadora para as regiões Norte e o Nordeste.
- 2009 – Cenário Norte Úmido – O cenário que caracteriza o regime hidrológico representativo do primeiro semestre do ano (período úmido no Norte), quando a região Sul é importadora da região Sudeste/Centro Oeste e esta importadora do Norte e exportadora para o Nordeste.

### 3.2 PERDAS NO ANO DE 2008 NA CPFL PAULISTA E NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

Nos cálculos realizados para o ano de 2008, pode-se observar o impacto da entrada dos novos autoprodutores nas perdas técnicas do sistema de transmissão da CPFL Paulista e do SIN.

Analisando-se os gráficos da Figura 5A e Figura 5B, é possível certificar que com a entrada dos autoprodutores no período da entressafra, ou seja, “Sem Gerar”, existe um incremento na perda da companhia e do SIN.

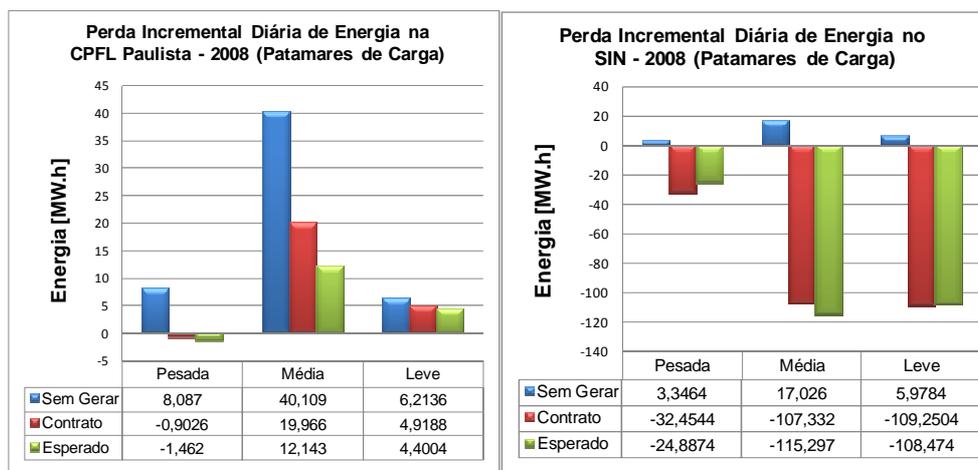


Figura 5A e 5B - Perda Incremental Diária de Energia na CPFL Paulista e no SIN (separada em Patamares de Carga) – 2008

Esse incremento de perdas no ano de 2008, sem a geração das usinas, é justificado pelo aumento da extensão das linhas de transmissão da empresa pela conexão dos cogeneradores. Com a chegada da safra,

as usinas iniciam a exportação de energia causando uma mudança no comportamento das perdas no sistema de transmissão da CPFL e do SIN. Se todas as novas usinas exportassem energia conforme valores declarados nos contratos de exportação, o valor resultante das perdas seria incrementado nos patamares de “Carga Média” e “Carga Leve” da CPFL, havendo uma pequena diminuição das perdas no patamar de “Carga Pesada” (Figura 5A). Para o SIN, ocorreria um decremento das perdas em todos os patamares, como mostra a Figura 5B. Esse modo de operação é apresentado nos gráficos como “Contrato”.

Avaliando-se a exportação de todas as novas usinas exportando 80 % do declarado em contrato (Esperado), podem ser observadas reduções nas perdas da CPFL para o patamar de Carga Pesada, porém, em Carga Leve e Média as perdas permanecem, como mostra a Figura 5A.

A Figura 6A e a Figura 6B apresentam uma ponderação do total de perdas de energia por dia, no sistema da CPFL Paulista e no SIN, para os três cenários: Sem Gerar, Contrato e Esperado, para o ano de 2008.

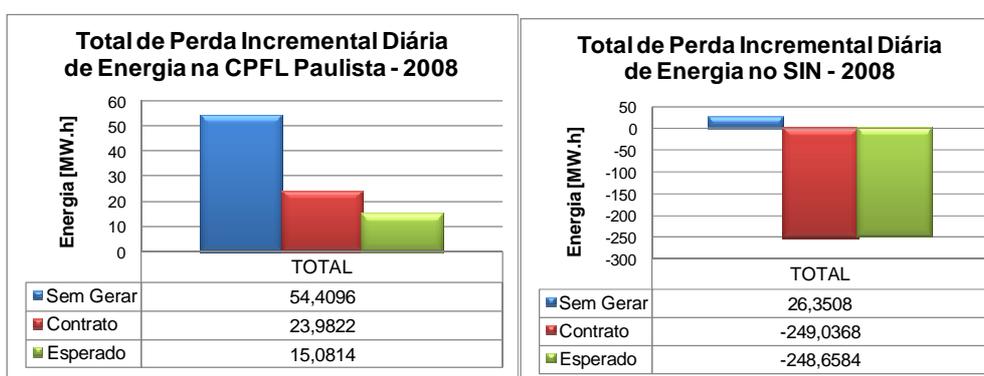


Figura 6A e 6B - Total de Perda Incremental Diária de Energia na CPFL Paulista e no SIN – 2008

A Figura 7A e a Figura 7B apresentam o resultado da perda incremental anual no sistema de transmissão da CPFL Paulista e do SIN. Nesse caso, foram considerados 210 dias para o período de safra e 155 dias para o período de entressafra de cana-de-açúcar.

Na CPFL, calculando-se o total da perda incremental anual através da soma da perda na safra com a perda na entressafra, tem-se um valor de 13469,75 MW.h/ano para geração das usinas em contrato de exportação. Para a geração em 80 % do contrato de exportação, tem-se um total de 11600,58 MW.h/ano.

No SIN, calculando-se o valor total da perda incremental anual através da soma da perda na safra com a perda na entressafra, têm-se valores de -48213,36 MW.h/ano, para geração das usinas em contrato de exportação e -48133,89 MW.h/ano, para a geração em 80 % do contrato de exportação.

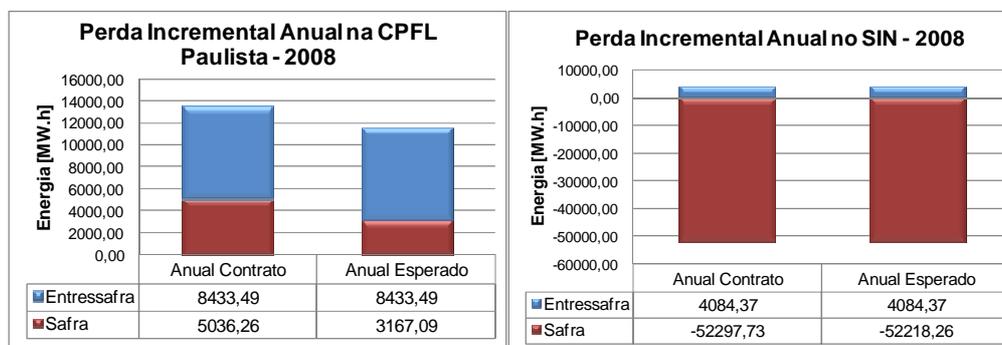


Figura 7A e 7B - Perda Incremental Anual de Energia na CPFL Paulista e no SIN – 2008

### 3.3 PERDAS NO ANO DE 2009 NA CPFL PAULISTA E NO SISTEMA INTERLIGADO NACIONAL

Os critérios utilizados para essa análise são os mesmos utilizados para item 4.2, variando somente o intercâmbio energético do sistema interligado, a previsão de carga e o contrato de exportação dos novos cogeneradores.

A Figura 8A e a Figura 8B mostram que em todos os cenários ocorrerá acréscimo de perdas para a CPFL. Em contrapartida, para o SIN existirá uma redução das perdas em todos os patamares de carga durante a Safra.

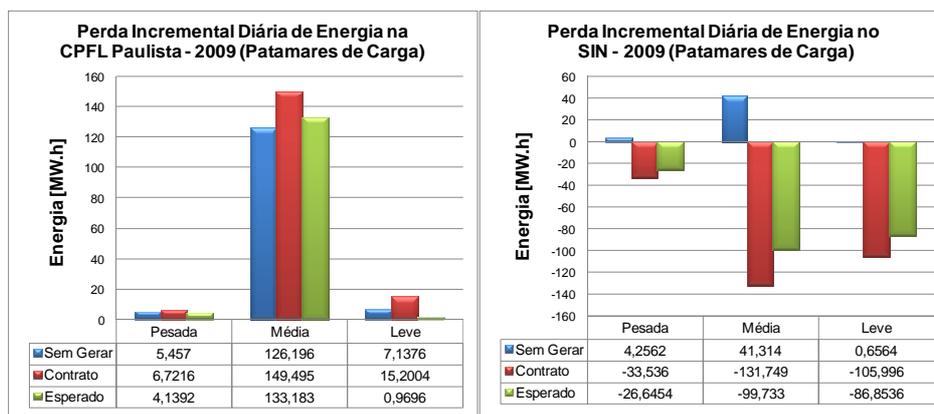


Figura 8A e 8B - Perda Incremental Diária de Energia na CPFL Paulista e no SIN (separada em Patamares de Carga) – 2009

A Figura 9A e a Figura 9B apresentam os valores totais de perda incremental diária de energia, na CPFL e no SIN no ano de 2009. Os valores totais de incremento de perdas na CPFL são maiores do que em 2008. Para o SIN, a redução de perdas é maior que em relação ao ano de 2008.

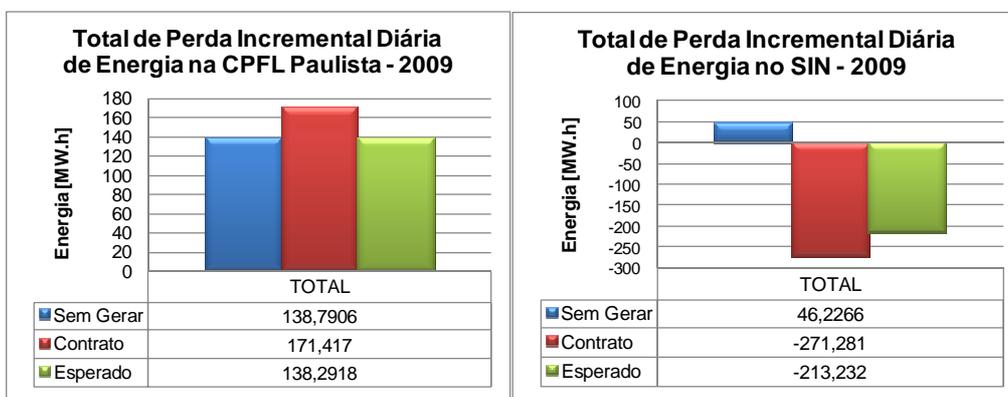


Figura 9A e 9B - Total de Perda Incremental Diária de Energia na CPFL Paulista e no SIN – 2009

A Figura 10A e Figura 10B apresentam os valores anuais de perda incremental na CPFL e no SIN, para o ano de 2009.

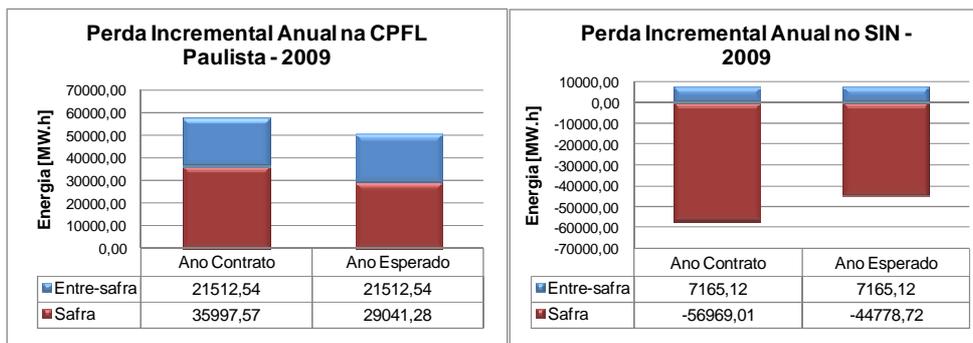


Figura 10A e 10B - Perda Incremental Anual de Energia na CPFL Paulista e no SIN – 2009

### 3.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

O incremento das perdas no sistema de transmissão da CPFL Paulista com o despacho das usinas sucroalcooleiras ocorre devido à distância desses novos empreendimentos dos principais centros de carga da empresa.

Enquanto as subestações da Rede Básica, que suprem o sistema da distribuidora, encontram-se próximas aos grandes centros de carga, as usinas estão localizadas em áreas agrícolas, com baixa densidade de carga e afastadas dos grandes centros de carga da empresa.

A Figura 11 apresenta as densidades de carga por quadrículas nas regiões elétricas de Ribeirão Preto e Araraquara, a localização das novas usinas, mais próximas, e as fronteiras com a Rede Básica.

É possível notar a distância geográfica dessas usinas dos grandes centros de carga. É importante salientar que as distâncias elétricas são ainda maiores.

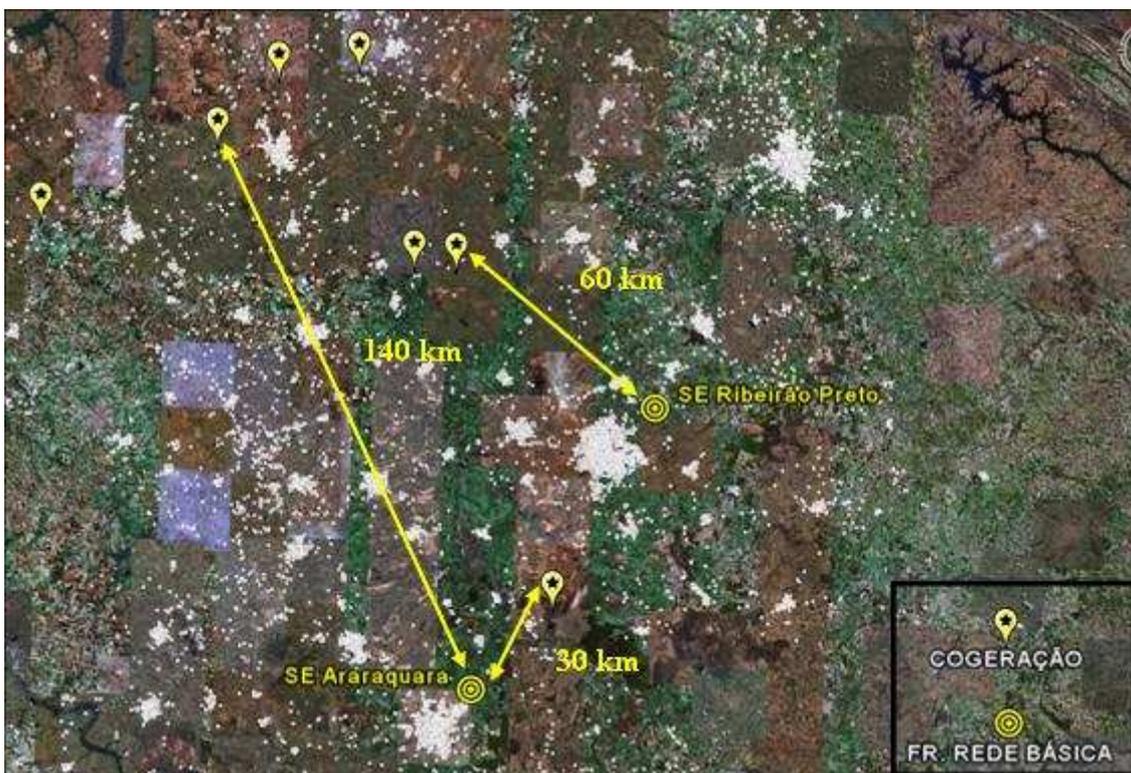


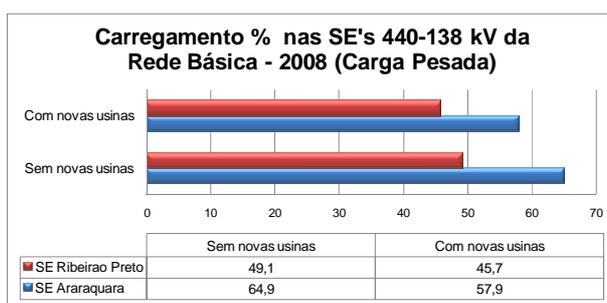
Figura 11 - Densidades de Carga das Regiões de Ribeirão Preto e Araraquara, Locais das Novas Usinas e Fronteiras com a Rede Básica (Google Earth, 2007)

Por possuírem uma exportação maior que a carga da região, a energia gerada pelas usinas escoar por grande parte do sistema de transmissão até atingir os grandes centros de carga. Isto ocasiona o aumento do carregamento das linhas de transmissão de CPFL Paulista e redução do carregamento das linhas e transmissão e transformadores da Rede Básica.

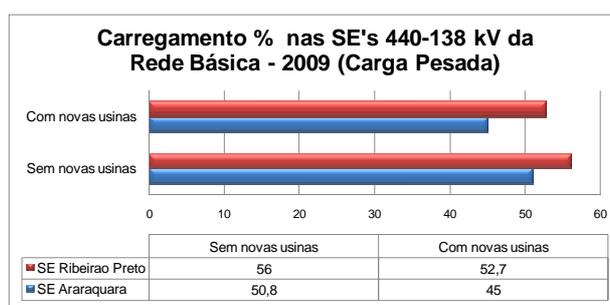
A distância dos cogeneradores para os principais centros de carga e o maior carregamento das linhas de transmissão tem relação direta com o aumento das perdas no sistema de transmissão da CPFL Paulista. Ao contrário, a redução do carregamento dos transformadores da Rede Básica implica em uma diminuição das perdas no SIN.

Esse comportamento das perdas é comprovado nesse estudo através da elaboração de diversos cenários, com resultados coerentes e semelhantes para todas as simulações realizadas.

A Figura 12 e a Figura 13 apresentam a previsão de redução do carregamento das subestações da Rede Básica que estão localizadas em dois importantes centros de carga da CPFL Paulista, para os anos de 2008 e 2009, no patamar de carga pesada.



**Figura 12 - Carregamento Percentual das Subestações Ribeirão Preto e Araraquara de 440-138 kV – 2008**



**Figura 13 - Carregamento Percentual das Subestações Ribeirão Preto e Araraquara de 440-138 kV – 2009.**

#### 4. CONCLUSÕES

Em um curto espaço de tempo, a geração de energia utilizando biomassa terá um papel ainda mais relevante na composição da matriz energética brasileira. Vários fatores conduzem a esse cenário: expansão do mercado sucroalcooleiro, incentivos a cogeração e o risco de racionamento que poderá elevar muito o preço da energia.

Essa expansão já pode ser sentida por algumas distribuidoras de energia, principalmente no estado de São Paulo. No caso da CPFL Paulista, comparando o ano de 2006 com o ano de 2007, ocorreu um aumento de 2,63 % da energia exportada pelos cogeneradores. Estimava-se a conexão de nove usinas com exportação total de aproximadamente 250 MW até o ano de 2009. Esse montante tem impacto direto sobre as perdas técnicas da distribuidora e de todo o Sistema Interligado Nacional.

A forma de conexão das novas usinas, o montante exportado e a distância dos principais centros de carga da empresa indicam uma forte tendência de aumento das perdas no sistema de transmissão da CPFL Paulista. Em contrapartida, devido ao menor carregamento dos ativos da Rede Básica, estima-se uma redução das perdas técnicas no SIN.

Todos os estudos foram realizados considerando a combinação de diversos patamares de carga, cenários de exportação das usinas e diferentes intercâmbios energéticos. Todos os resultados indicaram praticamente o mesmo comportamento para as perdas no sistema de transmissão da CPFL Paulista e para o SIN.

Os cenários de exportação utilizando 80 % e 100 % do valor de contrato indicam que quanto maior a exportação de energia maior o incremento de perdas técnicas no sistema da distribuidora. Conseqüentemente, a eminente expansão da geração distribuída poderá elevar a perda técnica da CPFL Paulista.

Um dos objetivos principais desse trabalho é tentar quebrar um paradigma e demonstrar que nem sempre a geração distribuída reduz as perdas técnicas. Nada pode ser afirmado sem a realização de estudos profundos e que considerem diversos cenários. Dessa forma, discussões e proposições mais concretas poderão ser feitas junto aos órgãos reguladores do sistema elétrico em relação a possíveis soluções para minimizar o impacto do incremento das perdas para as distribuidoras que atendem aos pedidos de conexão destes clientes

#### **4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E/OU BIBLIOGRAFIA**

EPE, “Estudos do Plano Decenal de Expansão do Setor Elétrico, Empresa de Pesquisa Energética, 20 de dezembro de 2006.

Brighenti, C.R.F., “Integração do Cogrador de Energia do Setor Sucrialcooleiro com o Sistema Elétrico”, Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo - SP, 2003.

ONS, “Operação do Sistema Interligado Nacional – Dados Relevantes de 2003”, Operador Nacional do Sistema, Rio de Janeiro – RJ, 2003

Brito, J.S., “A Cana como Gerador de Energia”, material disponível no site da União da Indústria de Cana-de-açúcar (UNICA) ([www.unica.com.br](http://www.unica.com.br)), 2004

ELETROBRAS, “Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica”, material disponível no site das Centrais Elétricas Brasileiras (ELETROBRAS) ([www.elektrobras.gov.br](http://www.elektrobras.gov.br)), 2004.

Flausino, E. F., “Interconexão de Autoprodutores com o Sistema de Distribuição: Uma Abordagem pela Ótica da Proteção”, Monografia de Especialista em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá - MG, 2003.

Kitayama, O., “Situação da Cogeração - As Possibilidades de Cogeração com Biomassa da Cana e Legislação Nacional”, 2003.

MME, “PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica”, material disponível no site do Ministério de Minas e Energia (MME) ([www.mme.gov.br](http://www.mme.gov.br)), 2004.

Monticelli, A. J., “Fluxo de Carga em Redes de Energia Elétrica”, São Paulo – SP, Editora Edgard Blücher Ltda., 1983.

Nunes, L. C. T., “Uma nova abordagem para resolução do problema de fluxo de potência ótimo utilizando os métodos de Newton e pontos interiores”, Dissertação de Mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2001. Ordagdi, J. M. e Silveira, P. M., “Apostila do Curso de Especialização de Proteção em Sistemas Elétricos”, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá – MG, 2002