



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

GPT 10
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO II

GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS – GPT

IMPACTOS DA SAZONALIDADE DE GERAÇÃO TERMELÉTRICA A BIOMASSA SOBRE OS SISTEMAS DE TRANSMISSÃO E DISTRIBUIÇÃO DE SÃO PAULO: O CASO DA CPFL

Fernando Malagoli Fonseca (*) Adriano Alessandre Emmert Merguizo Caius Vinicius Sampaio Malagoli

CPFL - COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ

RESUMO

Este artigo apresenta o impacto do crescente número de conexões de usinas sucroalcooleiras sobre o planejamento da expansão das redes elétricas de transmissão e distribuição de São Paulo. Nos estudos de acesso, busca-se dimensionar o sistema à capacidade máxima individual de exportação de excedentes, condição que pode exigir reforços na rede existente. Como a geração dessas usinas tem caráter sazonal, o sistema também precisa ser projetado para o período de entressafra, no qual as obras de expansão não são, necessariamente, as mesmas previstas para a safra. Em ambas as situações, as adequações são de responsabilidade da concessionária proprietária das instalações.

PALAVRAS-CHAVE

Fontes Renováveis de Energia, Cogeração em Usinas Sucroalcooleiras, Planejamento de Sistemas de Potência.

1.0 - INTRODUÇÃO

Na área de concessão da CPFL, que distribui energia para uma população de 8 milhões de habitantes no interior paulista, há, atualmente, cerca de 850 MVA de potência instalada de geração em usinas sucroalcooleiras conectadas em tensões iguais ou inferiores a 138 kV. A maioria delas está localizada nas áreas Nordeste e Noroeste da Distribuidora, com destaque para as localidades de Barretos, Lins, Araçatuba, São José do Rio Preto, Bebedouro, Franca, Ribeirão Preto, Sertãozinho, Araraquara e Jaú, que alternam pólos regionais já consolidados do segmento de açúcar e álcool e áreas com grande potencial de crescimento. Somadas, tais usinas têm capacidade de exportar ao sistema elétrico um montante de 450 MW de excedentes durante a safra da cana-de-açúcar na Região Sudeste, o que contribui para reduzir a dependência de suprimento energético às subestações de distribuição, associado à geração de usinas hidrelétricas situadas nos Rios Grande, Paraná e Baixo Tietê.

Apesar dos ganhos energéticos, há um impacto significativo do efeito simultâneo da operação das usinas sucroalcooleiras sobre os sistemas de transmissão e distribuição aos quais estão conectadas. Os estudos de acesso que avaliam a integração dessas usinas necessitam dimensionar o sistema elétrico para a capacidade máxima individual de despacho de excedentes, condição que pode exigir obras de adequação da rede existente para evitar sobrecargas em linhas e equipamentos e manter a tensão dos barramentos das subestações em níveis admissíveis. Entretanto, dada a sazonalidade da geração, o sistema também deve ser dimensionado para a entressafra, no qual as obras necessárias de expansão não são, obrigatoriamente, as mesmas previstas para a época de safra. Em ambas as situações, os reforços e melhorias são de responsabilidade da concessionária proprietária das instalações.

(*) Rodovia Campinas - M. Mirim, km 2,5 - Bloco III, 3º Andar - CEP 13088-900 - Campinas, SP - Brasil
Tel: (+55 19) 3756.8215 - Fax: (+55 19) 3756.8212 - E-mail: fmf@cpfl.com.br

De acordo com a Lei 10.438, sancionada pelo Governo Federal em 2002, fontes alternativas de energia têm direito à isenção parcial ou total da Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição (TUSD), paga às Distribuidoras de acordo com o nível de tensão acessado. Como as obras de expansão do sistema devem contemplar tanto o período de safra como o de entressafra, ocorre uma alocação injusta dos custos tarifários para os demais clientes da mesma área de concessão.

2.0 - PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO SETOR DE AÇÚCAR E ÁLCOOL

O potencial de produção de energia elétrica no segmento de açúcar e álcool no Brasil tem sido tema de estudos desde a criação do PROALCOOL, na década de 1970. Com a crise energética de 2001, as centrais de cogeração instaladas nas usinas sucroalcooleiras passaram a desempenhar um papel mais atuante no suprimento à demanda de determinadas localidades caracterizadas pela cultura da cana-de-açúcar, além de constar no planos de expansão de geração coordenados pelo governo. No Plano Decenal de Energia Elétrica (PDEE), elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética (EPE) para o ciclo 2006/2015, foi projetada, no ano horizonte, uma capacidade instalada de cerca de 4.000 MW referente a usinas termelétricas a biomassa. Entretanto, segundo previsões de entidades do setor de açúcar e álcool, tais como a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) e a Associação Paulista de Cogeração de Energia (COGEN-SP), considerando-se a expansão da produção agrícola e o desenvolvimento tecnológico seria possível dobrar este potencial no mesmo intervalo de tempo.

Em termos energéticos, a elevada disponibilidade de resíduos agrícolas provenientes da colheita da cana-de-açúcar e a proximidade das usinas a centros regionais de consumo representam uma solução estratégica e complementar frente ao regime pluviométrico da Região Sudeste, visto que a época de safra, de maio a novembro, coincide com menores índices de chuva (período seco).

3.0 - IMPACTOS SOBRE OS PROCESSOS DE ACESSO E PLANEJAMENTO DA EXPANSÃO

Nos estudos de acesso de quaisquer unidades geradoras aos sistemas elétricos de potência, após a definição das possíveis alternativas de conexão são realizadas simulações de desempenho sob os seguintes aspectos: carregamentos de linhas e transformações; perfis de tensão; curto-circuito; proteção; e estudos adicionais.

3.1 Carregamentos e Níveis de Tensão

Por meio do estudo de fluxo de potência, verifica-se o impacto da geração das usinas sobre o carregamento de linhas e o perfil de tensão do sistema em análise. É preciso utilizar patamares extremos de carga, uma vez que o despacho de potência ativa deve ser mantido constante nas simulações.

Nos patamares de carga pesada e média, durante a época da safra, a geração das usinas sucroalcooleiras tende a reduzir o carregamento das transformações em fronteira com a Rede Básica, além de contribuir para o suporte de tensão às subestações de distribuição. Entretanto, como muitas dessas usinas não são despachadas de forma centralizada pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), há determinados locais do sistema onde a exportação de excedentes soma-se à potência gerada por usinas hidrelétricas de médio porte. Essa situação pode causar sobrecargas em instalações de 138 kV em condição normal de operação ou na simulação de desligamentos (emergência).

No patamar de carga leve (mínima), o excesso de geração é capaz de provocar sobretensão em barramentos de 138 kV, restrição normalmente solucionada por meio da regulação de tensão nas transformações de suprimento. O regime de carga leve também pode apresentar uma elevação das perdas técnicas do sistema, em circunstâncias em que o montante de excedentes supera a carga de uma determinada região. Na entressafra, as usinas de açúcar e álcool deixam de exportar excedentes e tornam-se consumidores, sujeitas a afundamentos de tensão em carga média, condição que pode trazer dificuldades a seus processos de produção.

3.2 Níveis de Curto-Circuito

Os estudos de acesso avaliam o aumento dos níveis de curto-circuito do sistema elétrico em razão do paralelismo das unidades geradoras. Como, em geral, as usinas sucroalcooleiras estão localizadas em regiões com moderada ou reduzida densidade de carga, não ocorre, na maioria dos casos, superação da capacidade dos equipamentos instalados nas subestações das concessionárias. No entanto, há situações em que o acesso se dá próximo a usinas existentes, sendo preciso avaliar a necessidade de substituição de equipamentos em função da nova conexão. Como exemplo, destaca-se o grande número de usinas sucroalcooleiras próximas às usinas hidrelétricas do Baixo Tietê, cujas subestações elevadoras foram concebidas durante as décadas de 1960 e 1970, tendo sido empregados disjuntores de baixa capacidade interruptiva, se comparados ao padrão aplicado atualmente.

3.3 Proteção e Estudos Adicionais

O crescente número de usinas de açúcar e álcool conectadas em 138 kV tem levado à necessidade de adaptação das proteções terminais das linhas acessadas à configuração futura da alternativa definida pelo estudo de fluxo de

potência. Neste aspecto, é fundamental que as concessionárias possuam normas rígidas para assegurar a atuação adequada de seus sistemas de proteção e supervisão, que evitem, por exemplo, em contingências, religamentos que poderiam danificar as instalações das centrais de cogeração e provocar interrupções no fornecimento de energia por períodos prolongados. De acordo com a necessidade, os estudos de acesso podem incluir simulações adicionais, tais como o de estabilidade transitória e o de ilhamento, situação operativa em que uma usina assume, isoladamente, o suprimento da carga de determinadas subestações de distribuição.

4.0 - CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA EM ANÁLISE

O sistema analisado neste artigo compreende as instalações de 138 kV na região nordeste da área de concessão da CPFL, responsáveis pelo atendimento a centros de carga como Araraquara, Ribeirão Preto, Franca, Barretos, São Carlos, Bebedouro, entre outros. A demanda máxima atual deste sistema é de cerca de 1.300 MW.

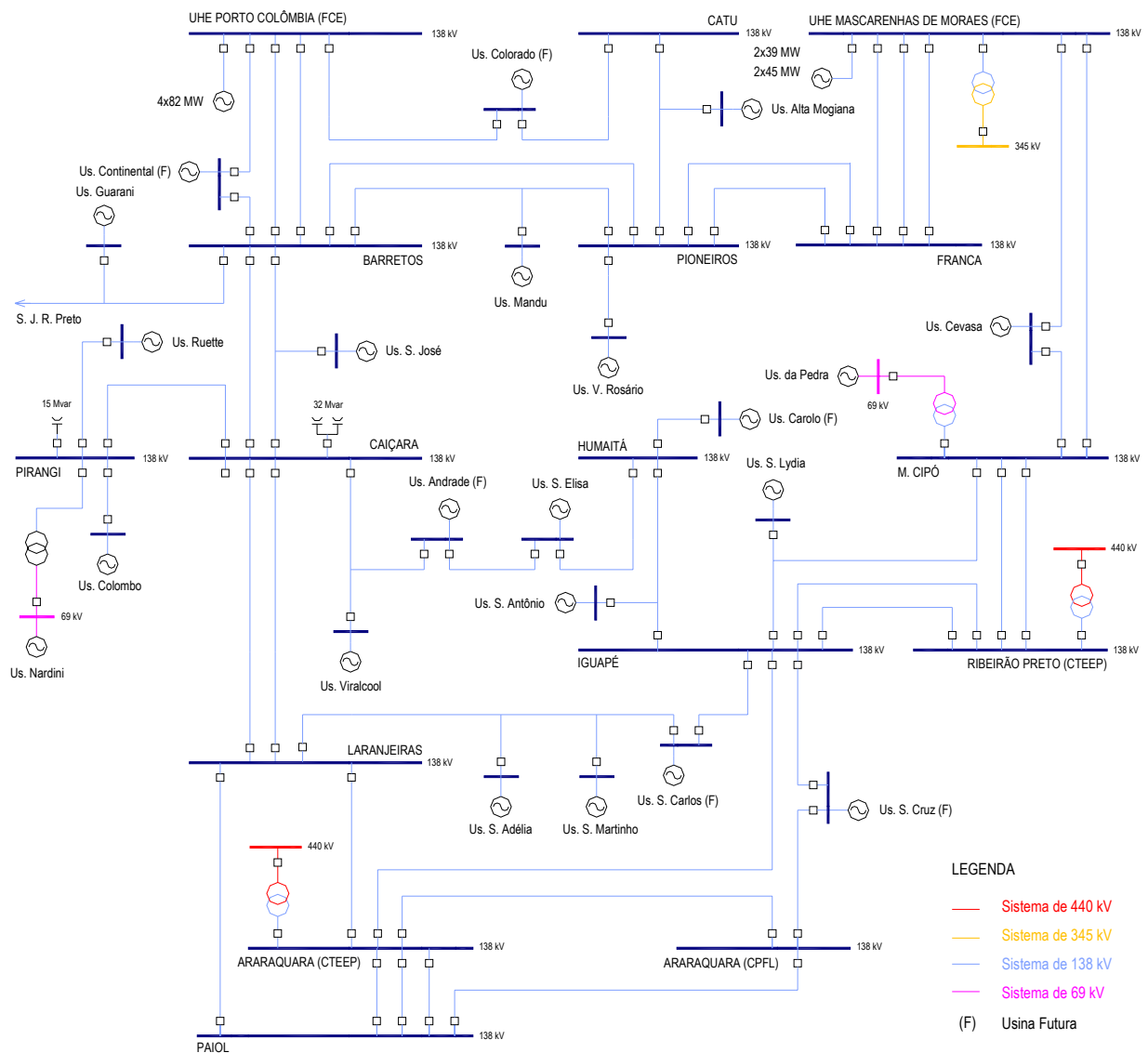


FIGURA 1 - Sistema de 138 kV da Área Nordeste da CPFL

As instalações que realizam o suprimento às subestações de distribuição são:

- SE Araraquara 440/138 kV, com três autotransformadores de 300 MVA;
- SE Ribeirão Preto 440/138 kV, com dois autotransformadores de 300 MVA;
- SE Mascarenhas de Moraes 345/138 kV, com 1 autotransformador de 150 MVA, e geração de 168 MW;
- SE UHE Porto Colômbia 138 kV, com geração de 328 MW.

A Figura 1 apresenta um diagrama unifilar das instalações em análise, destacando-se o grande número de usinas sucroalcooleiras conectadas através de subestações particulares. A operação normalmente fechada das linhas que compõem este sistema cria uma ligação entre dois sistemas distintos de Extra Alta Tensão (EAT) - 440 kV e

345 kV - através da rede de 138 kV. Esta condição torna o carregamento das transformações supridoras susceptível às variações de despacho das usinas hidrelétricas do sistema interligado.

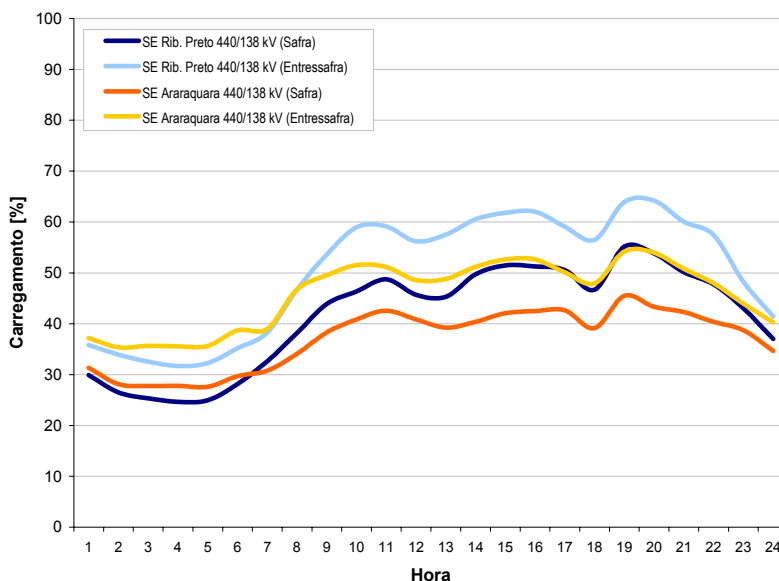


FIGURA 2 - Carregamento Horário das Transformações 440/138 kV de Rib. Preto e Araraquara (Curva Média dos Meses de Demandas Máximas nos Períodos de Saфра e Entressaфра, Valores Integralizados em 1 Hora)

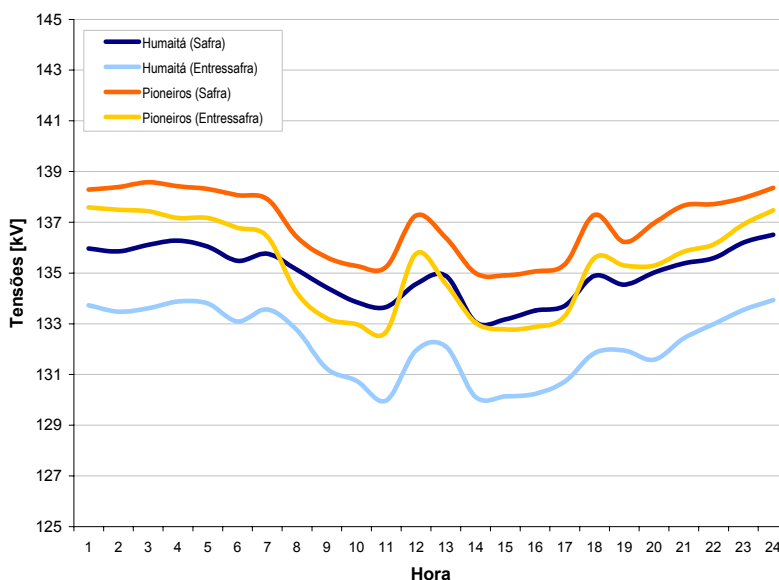


FIGURA 3 - Variação Horária de Tensão nas SEs Humaitá e Pioneiros 138 kV (Curva Média dos Meses de Demandas Máximas nos Períodos de Saфра e Entressaфра, Valores Integralizados em 1 Hora)

Na entressaфра, especialmente em semanas que combinam altas temperaturas e intensa atividade industrial, observam-se tensões precárias em muitos dos barramentos de 138 kV, em operação normal durante a carga média. Isso se deve à atual configuração deste sistema, que alterna regiões com variadas densidades de carga alimentadas por linhas de até 100 quilômetros. Na saфра, a exportação de excedentes pelas usinas de açúcar e álcool provoca efeito inverso: alivia o carregamento de determinadas instalações e dá suporte de tensão.

Conforme a Figura 2, as curvas de carga das transformações 440/138 kV de Araraquara e Ribeirão Preto podem sofrer um decréscimo de até 10 pontos percentuais na comparação entre as curvas máximas registradas nas épocas de saфра e entressaфра. Para a elaboração do gráfico foi obtida a curva média, integralizada em 1 hora, dos meses do ano de 2006 que registraram os maiores intercâmbios naqueles pontos de fronteira. Este efeito também se estende à transformação 345/138 kV de Mascarenhas de Moraes, apesar de a comparação ficar prejudicada em razão da geração hidrelétrica conectada àquela subestação ser despachada de forma centralizada pelo ONS. O impacto da sazonalidade da geração termelétrica a biomassa sobre o comportamento da tensão do sistema de 138 kV em estudo pode ser avaliado conforme a Figura 3. Foram comparadas as curvas médias típicas dos

períodos de safra e entressafra de 2006 para 2 subestações que registram valores precários em operação normal quando as usinas estão fora de serviço: Humaitá, em Sertãozinho, e Pioneiros, em São Joaquim da Barra.

5.0 - ANÁLISE DE DESEMPENHO

Neste item são apresentados os resultados das simulações de desempenho da rede em estudo, considerando-se o sistema operando nas épocas de safra e entressafra da cana-de-açúcar em São Paulo. Para fins de análise de sensibilidade, foi incluído um cenário adicional, designado como P&D (Pesquisa e Desenvolvimento), com a hipótese de que fosse disponibilizada uma exportação mínima de excedentes durante o período de entressafra, possibilitada por investimentos em tecnologia capazes de estender a disponibilidade de biomassa.

A capacidade de geração de excedentes de uma usina sucroalcooleira está associada ao seu ciclo térmico. A utilização de turbinas de contra pressão limita a conversão elétrica em cerca de 4 a 5%, considerando-se o rendimento global. A substituição das turbinas convencionais por equipamentos do tipo extração-condensação aumentaria a eficiência e viabilizaria a geração de um maior número de excedentes. Há tecnologias em desenvolvimento que gradualmente poderão ser inseridas no mercado comercial, como a BIG/STIG - *Biomass Integrated Gasifier/Steam Injected Gas Turbine*, que considera a gaseificação do bagaço de cana.

O critério utilizado para se obter os valores do Cenário P&D baseou-se em uma ponderação com os seguintes fatores: porte da usina; relação entre capacidade instalada e montante exportado; histórico de operação fora da safra; inscrição nos leilões de energia promovidos pela EPE; e uma avaliação se a usina pertence a grupos empresariais que possuem outras plantas de açúcar e álcool em São Paulo. Como regra geral, considerou-se que o despacho máximo possível de uma usina neste cenário seria de 50% do montante utilizado na época de safra.

As simulações foram realizadas com o programa Anarede (CEPEL), em sua versão 9.0, com os casos base de fluxo de potência do ciclo decenal 2007/2016, consolidados pela EPE. Os anos estudados foram os do período 2007-2011, englobando, desta forma, o efeito dos leilões de energia de 2007. Nos casos base há variações nos intercâmbios regionais que afetam o carregamento de determinadas instalações em anos pares e ímpares. Admitiu-se a entrada em operação de ampliações e reforços já aprovados pelos agentes setoriais:

- 3º autotransformador de 300 MVA na SE Ribeirão Preto 440/138 kV;
- Substituição do autotransformador de 150 MVA por 1 de 400 MVA na SE M. Moraes 345/138 kV;
- 3º circuito de 138 kV entre as SEs Araraquara (CTEEP) e Paiol (CPFL);
- 3º circuito de 138 kV entre as SEs M. Moraes (FCE) e Franca (CPFL).

TABELA 1 - Carregamentos das Transformações Supridoras [%]
Operação Normal, Carga Pesada ou Média conforme Patamar mais Restritivo.

Transformação	Cenário	2007	2008	2009	2010	2011
Araraquara 440/138 kV	Entressafra	81	64	53	63	61
	Safra	61	50	30	39	36
	P&D	72	58	42	51	48
Rib. Preto 440/138 kV	Entressafra	82	51	72	61	81
	Safra	65	38	51	40	59
	P&D	75	44	62	51	70
M. Moraes 345/138 kV	Entressafra	60	59	71	58	84
	Safra	44	38	40	33	54
	P&D	51	47	57	44	68

TABELA 2 - Carregamentos de Linhas de 138 kV [%]
Operação Normal, Carga Pesada ou Média conforme Patamar mais Restritivo

Linha	Cenário	2007	2008	2009	2010	2011
Barretos - Caiçara	Entressafra	78	65	95	80	103
	Safra	94	71	93	79	100
	P&D	91	70	97	84	104
Caiçara - Laranjeiras	Entressafra	25	16	35	16	41
	Safra	60	40	84	65	88
	P&D	42	24	59	40	64
M. Cipó - Iguapé	Entressafra	74	74	93	82	101
	Safra	59	58	68	57	75
	P&D	68	68	83	71	91
Franca - Pioneiros	Entressafra	91	80	99	83	115
	Safra	46	43	42	44	54
	P&D	67	61	70	57	84
M. Moraes - Franca	Entressafra	62	55	69	57	74
	Safra	32	31	30	30	37
	P&D	47	43	49	40	57

TABELA 3 - Perfis de Tensão em Subestações de 138 kV [%]
Operação Normal, Carga Média, Valores na Base de 100 MVA

Subestação 138 kV	Cenário	2007	2008	2009	2010	2011
Pirangi	Entressafra	88,8	90,2	91,1	90,7	89,3
	Safra	98,0	98,4	105,0	104,7	103,4
	P&D	93,0	93,8	98,3	97,8	96,6
Caiçara	Entressafra	90,9	92,4	91,9	91,6	90,4
	Safra	96,7	97,1	100,6	100,5	99,3
	P&D	93,6	94,4	96,6	96,3	95,1
Humaitá	Entressafra	91,7	94,9	92,2	91,8	91,0
	Safra	96,6	97,8	101,5	101,2	100,5
	P&D	94,1	96,1	97,1	96,7	96,0
Catu	Entressafra	90,6	92,7	92,4	91,7	91,3
	Safra	97,4	97,7	100,3	99,0	99,5
	P&D	94,1	95,0	96,7	95,5	95,9
Pioneiros	Entressafra	90,4	93,3	92,8	92,4	91,9
	Safra	97,5	98,4	100,4	99,3	99,9
	P&D	94,1	95,8	97,2	96,2	96,5

As Figuras 4 a 6 apresentam os resultados de forma gráfica, com os valores de 2009. A Figura 7 apresenta uma simulação de estabilidade de tensão, na qual se incrementa gradualmente a carga de uma região de monitoramento até que se atinja o ponto de colapso de tensão. Neste cálculo foi considerado um incremento gradual de 2% nas demandas de potência ativa e reativa na carga da área nordeste da CPFL, monitorando-se o desempenho da SE Humaitá.

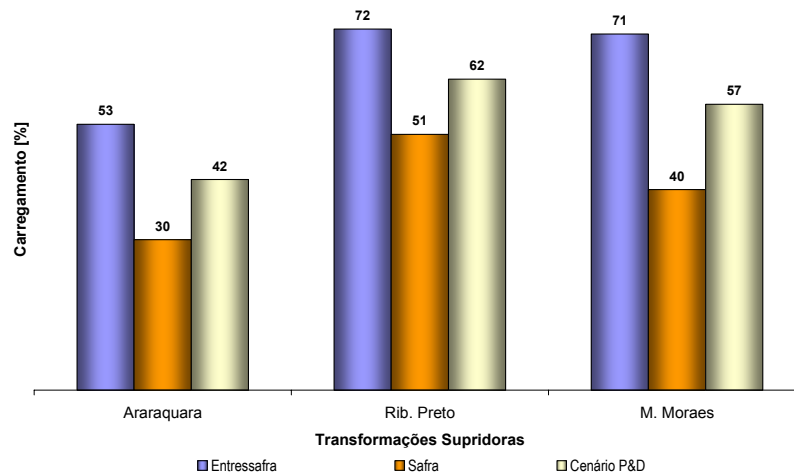


FIGURA 4 - Carregamentos Máximos das Transformações Supridoras - 2009 [%]

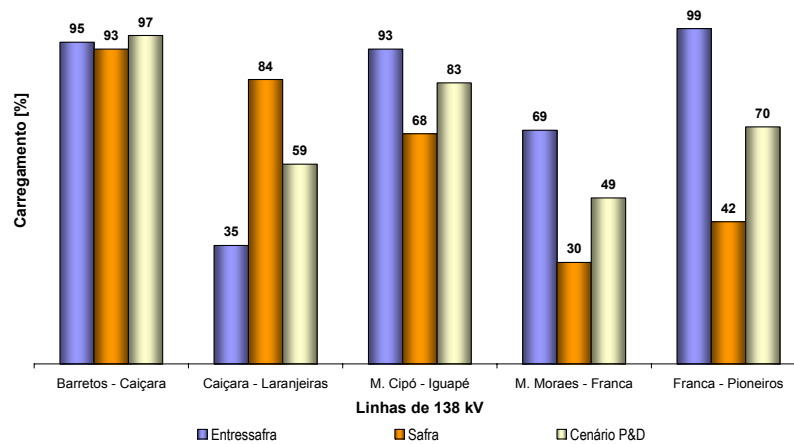


FIGURA 5 - Carregamentos Máximos em Linhas de 138 kV da CPFL - 2009 [%]

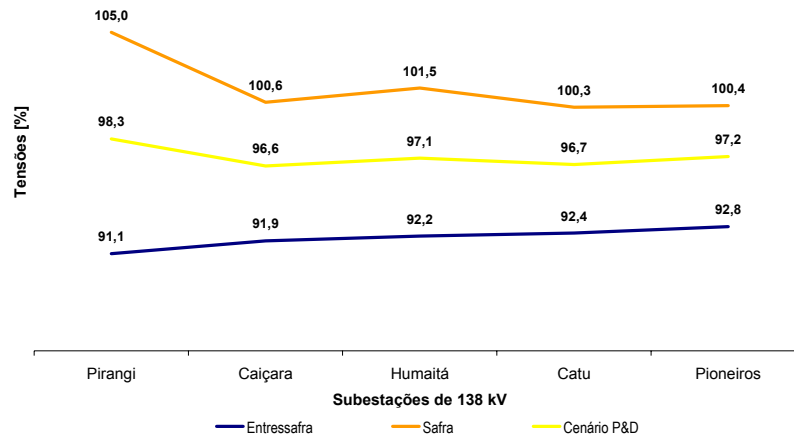


FIGURA 6 - Perfil de Tensão do Sistema de 138 kV da CPFL - 2009 [%]
Valores na Base de 100 MVA

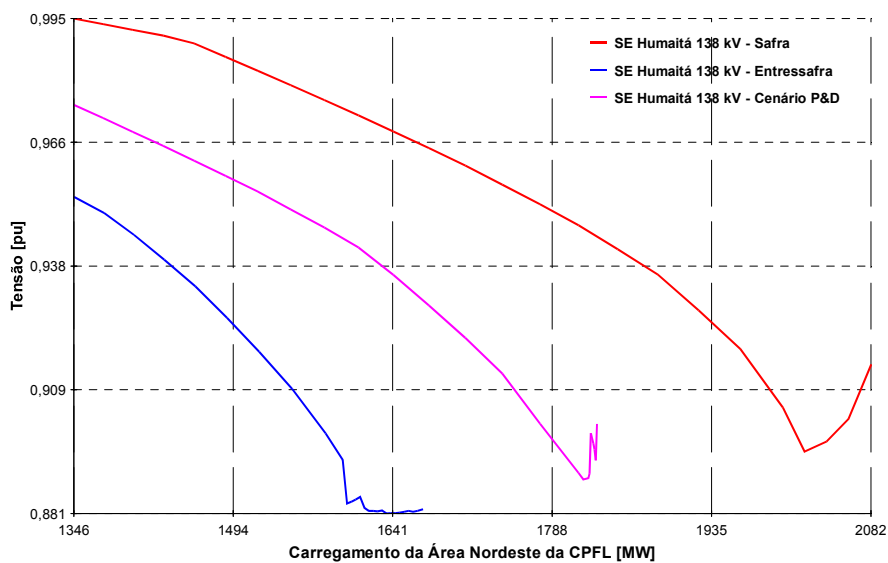


FIGURA 7 - Margem de Estabilidade de Tensão - SE Humaitá 138 kV
Valores de Tensão na Base de 100 MVA

6.0 - CONCLUSÕES

6.1 Obras de Expansão

Nos estudos de fluxo de potência para o período 2007-2011, em condição normal de operação, houve expressivas variações no desempenho das instalações em estudo. As conclusões foram agrupadas em 2 cenários:

- Cenário A, com geração plena na safra e sem geração na entressafra;
- Cenário B, com geração plena na safra e um montante de geração disponível na entressafra (Cenário P&D).

No Cenário B seria possível postergar, por exemplo, tanto a necessidade por novas ampliações das transformações supridoras de Araraquara, Ribeirão Preto e Mascarenhas de Moraes como a entrada em operação do 3º circuito em 138 kV entre as SEs M. Moraes e Franca. Também seria viável adiar a instalação de compensação reativa capacitiva para se atingir níveis admissíveis de tensão em diversos barramentos de 138 kV. Como exemplo de situação inversa, para qualquer cenário seria preciso reforçar a LT 138 kV Barretos - Caiçara.

A consideração usual do período de entressafra do Cenário A como referência para a proposição de reforços e ampliações tem impacto direto na tarifa, dado que a expansão do sistema elétrico é remunerada pelos consumidores da respectiva área de concessão. Em função dos incentivos da Lei 10.438 de 2002, propõe-se uma reavaliação da legislação vigente com o objetivo de, por exemplo, estipular programas de pesquisa e desenvolvimento para agentes de geração, visando a avanços tecnológicos que permitam estender a disponibilidade de biomassa para a época de entressafra.

6.2 MUST

O Montante de Uso do Sistema de Transmissão (MUST) é contratado pelas distribuidoras em seus pontos de fronteira com instalações de transmissão. A Tabela 4 apresenta os montantes contratados entre a CPFL e o ONS para a somatória dos pontos de suprimento de Araraquara, Ribeirão Preto e Mascarenhas de Moraes, na ponta, condição representada pelo Cenário A e comparada com a hipótese de que fosse empregado o Cenário B:

TABELA 4 - Montante de Uso do Sistema de Transmissão [MW]
Somatória dos Pontos de Suprimento de Araraquara, Ribeirão Preto e Mascarenhas de Moraes

MUST	2007	2008	2009
Cenário A	905	913	932
Cenário B	864	868	867

A situação obtida no Cenário B permitiria uma redução de 5 a 10 pontos percentuais em relação aos valores contratados. Em termos econômicos, segundo os índices da Resolução Homologatória ANEEL 354, de 2006, que fixou as Tarifas de Uso do Sistema de Transmissão (TUST), a redução seria de cerca de R\$ 10.000 Mil. Este ganho aumentaria à medida que fossem monitorados os demais pontos de fronteira da Distribuidora.

6.3 Perdas Técnicas

Na Tabela 5 foram calculadas as perdas técnicas para o período 2007-2011. O procedimento adotado foi obter os montantes de perda de potência ativa nos três patamares de carga da Área Nordeste da CPFL, nos Cenários A e B, admitindo-se 7 meses do ano para a safra e 5 meses para a entressafra. Os resultados foram multiplicados pelo valor de US\$ 38 / MWh, normalmente utilizado nos estudos sistêmicos de planejamento, e pela taxa de câmbio:

TABELA 5 - Perdas Técnicas [R\$ x 10³]
Área Nordeste da CPFL, Valores Anuais, US\$ 1,00 = R\$ 2,15

Cenário	2007	2008	2009	2010	2011
A	18.655	14.254	23.759	19.679	27.098
B	18.025	13.342	22.964	18.770	25.963

No Cenário B, o montante gerado pelas usinas na entressafra permitiria uma redução, para a média do período entre 2007 e 2011, de cerca de 4 pontos percentuais em relação ao Cenário A.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) COGEN-SP - Associação Paulista de Cogeração de Energia. Estatísticas em www.cogensp.com.br.
- (2) EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Energia Elétrica 2006-2015. Rio de Janeiro, 2006.
- (3) ÚNICA - União da Agroindústria Canavieira de S. Paulo. Estatísticas em www.portalunica.com.br.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Fernando Malagoli Fonseca

Nascido em Santos, SP, em 29 de março de 1976.

Graduação (1998) em Engenharia Elétrica: Escola de Engenharia da Universidade Mackenzie (São Paulo-SP).

Empresas: CPFL - Companhia Paulista de Força e Luz, desde 1999.

Engenheiro da Divisão de Planejamento do Departamento de Engenharia e Planejamento.

Adriano Alexandre Emmert Merguizo

Nascido em São Paulo, SP, em 17 de maio de 1972.

Graduação (1996) em Engenharia Elétrica: Faculdade de Engenharia de Sorocaba (Sorocaba-SP).

Empresas: RGE - Rio Grande Energia (1998 - 2004); CPFL - Companhia Piratininga de Força e Luz, desde 2004.

Engenheiro da Divisão de Planejamento do Departamento de Engenharia e Planejamento.

Caius Vinicius Sampaio Malagoli

Nascido em Jundiá, SP, em 23 de fevereiro de 1968.

Graduação (1991) em Engenharia Elétrica: Faculdade de Engenharia da UNESP (Guaratinguetá-SP).

Mestrado (1997) em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP (São Paulo-SP).

Empresas: CPFL - Companhia Piratininga de Força e Luz, desde 2002.

Gerente do Departamento de Gestão de Ativos da CPFL Piratininga.