



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

FI/GCR/27
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – VI

GRUPO DE ESTUDO DE COMERCIALIZAÇÃO, ECONOMIA E REGULAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA - GCR

O FATOR DE POTÊNCIA DAS DISTRIBUIDORAS NAS FRONTEIRAS COM O SISTEMA DE TRANSMISSÃO EM REGIÕES COM A REDE DE DISTRIBUIÇÃO OPERANDO EM MALHA E SOB INFLUÊNCIA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Danilo E. Ito(*)
CPFL Piratininga

Vagner Vasconcellos
CPFL Piratininga

Stanley E. Tokuno
CPFL Paulista

Reinaldo F. Fachada
CPFL Paulista

RESUMO

Os Procedimentos de Rede do ONS (Operador Nacional do Sistema Elétrico) estabelecem que os acessantes do sistema de transmissão devem manter o fator de potência nos pontos de conexão dentro da faixa limite definida por tensão nominal.

Este trabalho apresenta as particularidades encontradas no sistema elétrico da CPFL e que influenciam na definição do fator de potência medido nos pontos de conexão com o sistema de transmissão.

O objetivo é relatar fatos, constatados através de medições, com o intuito de promover a reflexão com relação à regulação do setor elétrico sobre os estímulos à redução do consumo de reativo e as formas de apuração do desempenho do fator de potência nos pontos de conexão com o sistema de transmissão.

PALAVRAS-CHAVE

Fator de Potência, Geração Distribuída, Operação em Malha.

1.0 - INTRODUÇÃO

O sistema elétrico do estado de São Paulo se desenvolveu, desde a época dos pioneiros na eletrificação de pequenos centros urbanos, no sentido de integrar e otimizar o sistema de transmissão e distribuição de energia, visando o transporte eficiente de energia das usinas hidrelétricas até os centros de consumo.

Com o desenvolvimento de novas tecnologias e a ampliação da participação da geração distribuída na matriz energética, a tradicional visão centralizada de geração, adotada até o final do século passado, dá espaço ao conceito de geração distribuída e a novos desafios na gestão eletroenergética do sistema de geração, transmissão e distribuição.

O ONS estabelece nos Procedimentos de Rede, em seu submódulo 3.6 (Requisitos técnicos mínimos para a conexão às instalações de transmissão), que acessantes do sistema de transmissão devem manter o fator de potência nos pontos de conexão dentro da faixa limite definida por tensão nominal, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Faixa de fator de potência nos pontos de conexão.

Tensão nominal do ponto de conexão	Faixa de fator de potência
$V_n \geq 345 \text{ kV}$	0,98 indutivo a 1,0
$69 \text{ kV} \leq V_n < 345 \text{ kV}$	0,95 indutivo a 1,0
$V_n < 69 \text{ kV}$	0,92 indutivo a 1,0 0,92 capacitivo a 1,0

Ainda, define que para tensão igual ou superior a 69 kV e inferior a 230 kV, pode ser admitido fator de potência indutivo e capacitivo inferior a Tabela 1, desde que não exceda 0,92, em situações que a Rede Básica não seja onerada e não haja comprometimento da segurança e da otimização eletroenergética do SIN.

O fator de potência é um indicador da eficiência energética das instalações, porém em alguns casos há necessidade de ampliar a visão de forma sistêmica, avaliando um conjunto de fatores das quais a análise isolada de um ponto de conexão trariam conclusões e necessidades equivocadas de investimentos.

2.0 - O FATOR DE POTÊNCIA NAS FRONTEIRAS DO SISTEMA DE TRANSMISSÃO COM A DISTRIBUIDORA

A seguir descrevemos alguns efeitos observados nos pontos de conexão da Distribuidora ao sistema de Transmissão, sejam estas Rede Básica ou Demais Instalações de Transmissão - DIT.

2.1 Efeito da geração e da cogeração conectada no sistema de distribuição

As centrais geradoras conectadas diretamente ao sistema de distribuição fornecem potência ativa localmente, reduzindo a demanda para atendimento a carga da Distribuidora nos pontos de conexão com o sistema de transmissão.

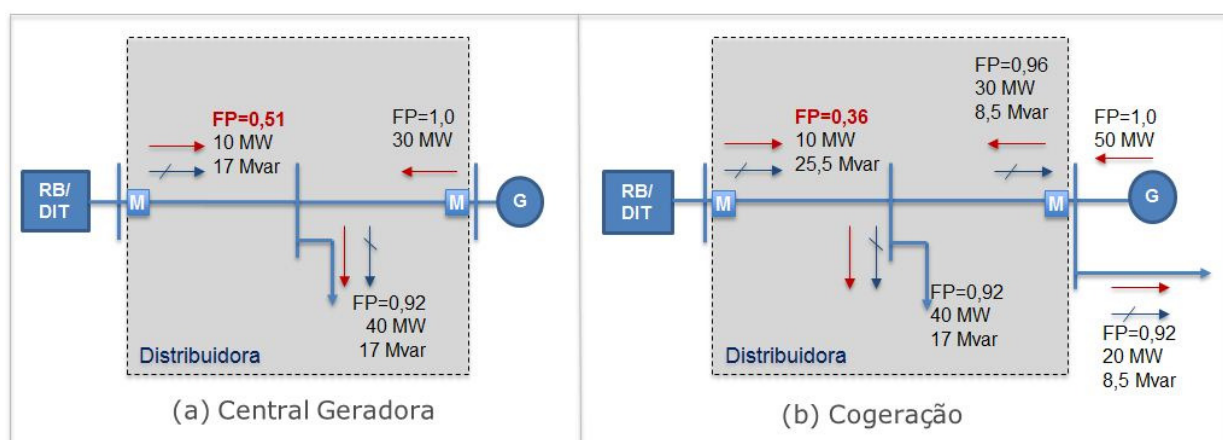


FIGURA 1 – Efeito da geração distribuída e da cogeração conectada a rede de distribuição.

Na Figura 1 (a), o suprimento da potência ativa ocorre através de duas fontes em pontos distintos, porém o suprimento de potência reativa se dá através da conexão com a Rede Básica, desta forma, embora a carga da Distribuidora mantenha o fator de potência de 0,92, o que se observa na fronteira é um fator de potência baixo devido ao efeito da redução da potência ativa fornecida pela geração distribuída.

Observa-se que o fator de potência visto no ponto de conexão com o sistema de transmissão não representa a característica real da carga atendida pela Distribuidora, nem reflete prejuízo a eficiência da Distribuidora ao atendimento aos consumidores.

Um caso particular é a de centrais geradoras à biomassa da cana-de-açúcar, os quais são constituídos de sistemas de cogeração, com o processo de produção de energia associado à produção industrial de álcool ou açúcar. Na última década, este tipo de central geradora teve grande expansão no estado de São Paulo, consequência de programas de incentivo do governo, tais como, o PROINFA. Devido a sua localização e ao seu porte a grande

maioria das conexões se desenvolveu, seguindo o critério de menor custo global, no sistema elétrico das distribuidoras.

Qualificados como produtores independentes de energia têm como princípio a comercialização do excedente de geração de energia ativa e, não ultrapassando o montante de uso contratado (MUSD), estes geradores injetam, a cada instante, a potência ativa não utilizada em seu processo industrial.

Na Figura 1 (b), a potência ativa gerada pela central geradora é parcialmente utilizada pela sua carga, sendo o excedente injetado na rede de distribuição. Este excedente irá suprir a carga da Distribuidora, reduzindo as solicitações de potência ativa no ponto de conexão com a Transmissora. Por outro lado, o sistema de Rede Básica realiza o suprimento de potência reativa às cargas da Distribuidora e adicionalmente, supre a necessidade de reativos da carga própria da cogeração. Desta forma, embora todas as cargas mantenham o fator de potência de 0,92, o fator de potência no ponto de conexão com a transmissão fica ainda mais baixo devido ao efeito da redução da potência ativa fornecida pela geração distribuída, agravado pela solicitação de potência reativa da carga própria da cogeração (ver Figura 2).

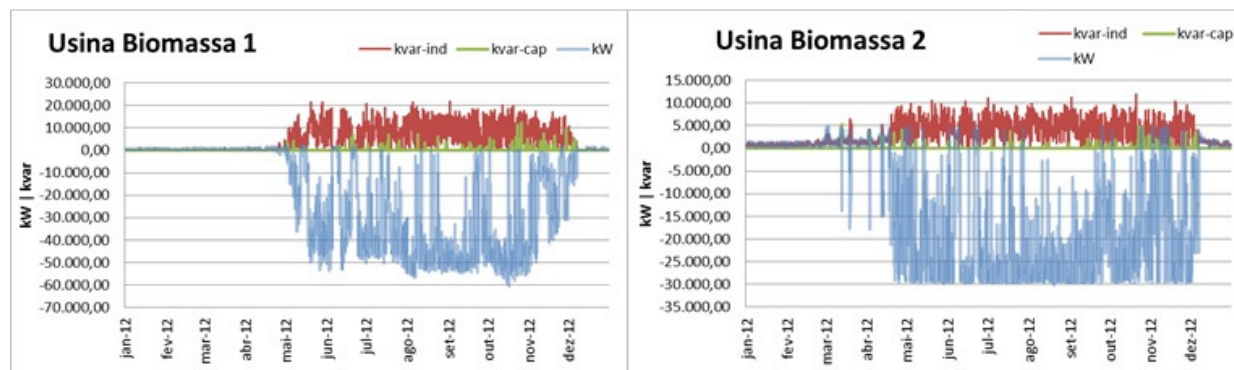


FIGURA 2 – Cogeração de biomassa – consumidores de reativos.

2.2 Efeito da Cogeração - Caso Real

O ponto de conexão de lacanga 138 kV, conectado às DIT, atende a SE lacanga 138 kV, da CPFL Paulista, o qual possui uma Usina à biomassa da cana-de-açúcar conectada na barra de 34,5 kV desta subestação. (ver Figura 3)

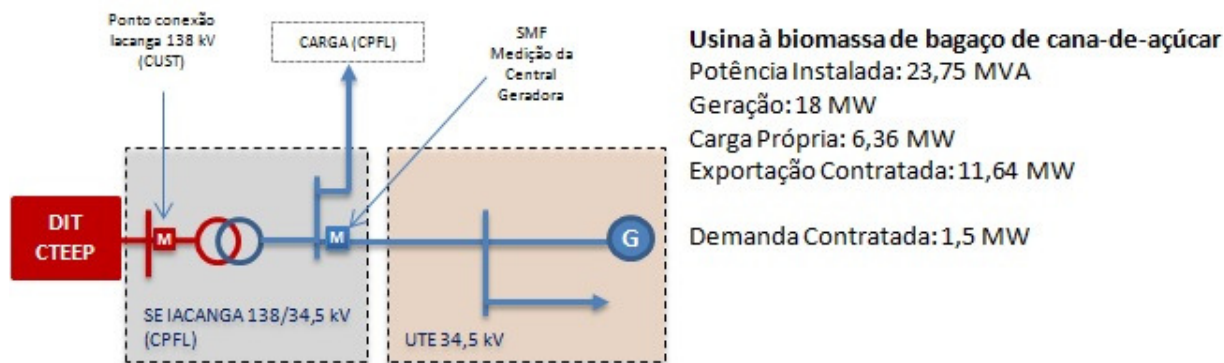


FIGURA 3 – Cogeração de biomassa – consumidores de reativos.

Este é um caso que demonstra de forma evidente o efeito da cogeração na definição do fator de potência na fronteira entre Distribuidora e Transmissora. As usinas de biomassa a bagaço da cana-de-açúcar possuem um período de geração bem característico, definido pelo período de safra da cana-de-açúcar, entre abril a dezembro. No período de entressafra, a usina de biomassa tem sua geração paralisada para manutenção periódica e a sua carga é atendida pela Distribuidora.

Devido às características da carga atendida pela CPFL Paulista e da cogeração da Usina à biomassa, o ponto de conexão, durante o período de safra da cana, tem predominância de injeção de potência ativa no sistema de transmissão. A potência reativa solicitada do sistema interligado é reduzida a patamares inferiores ao período de entressafra. Porém, o que se verifica neste período, conforme os pontos em cinza da Figura 4, é a formação de uma nuvem de pontos formados por fatores de potência com uma enorme variação, consequência do balanço energético entre a carga e a cogeração deste ponto de conexão.

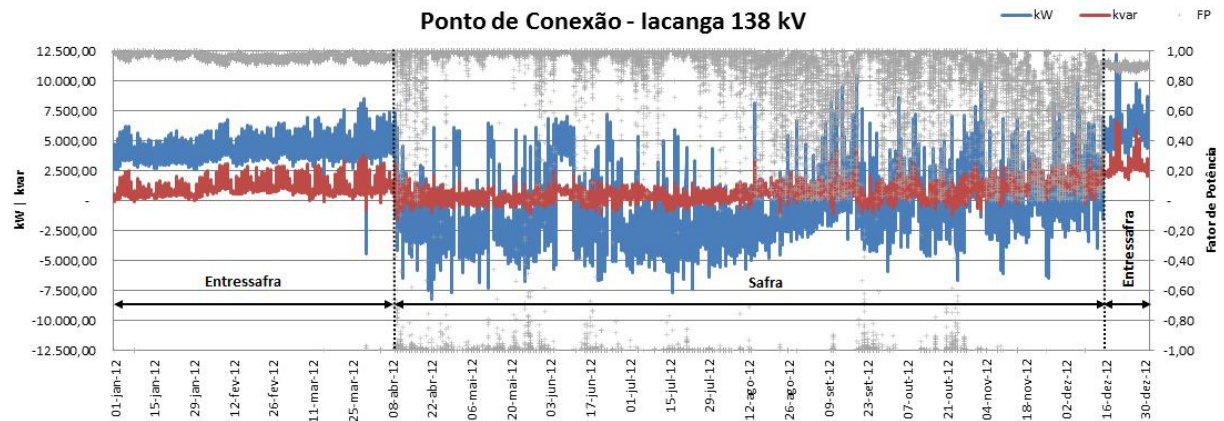


FIGURA 4 – Fator de Potência no Ponto de Fronteira - Iacanga 138 kV.

2.3 Efeito da geração despachada centralizadamente (Baixada Santista)

Centrais geradoras conectadas ao sistema de distribuição e que possuam o despacho coordenado pelo ONS, levam os pontos de conexão com a Transmissão a ter a operação definida conforme necessidade sistêmica. É o caso do ponto de conexão da Baixada Santista 88 kV, na CPFL Piratininga, onde fator de potência sofre influência direta do despacho centralizado do ONS sobre a UHE Henry Borden (ver Figura 5).

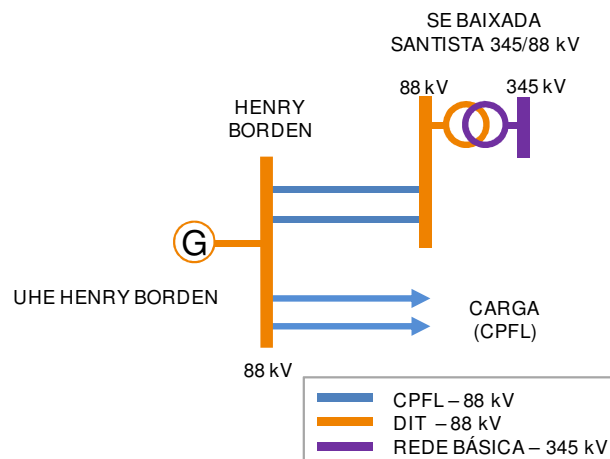


FIGURA 5 - Sistema da Baixada Santista 88 kV.

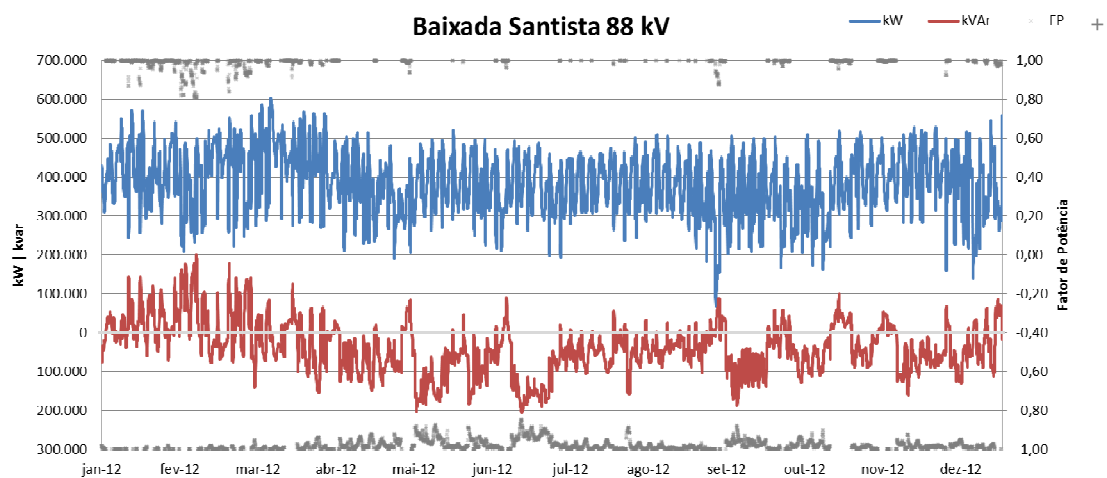


FIGURA 6 - Medição do ponto de conexão da Baixada Santista 88 kV.

A medição de 2012 do ponto de conexão da Baixada Santista 88 kV (Figura 6) demonstra que apesar da curva de potência ativa ser relativamente comportada, a curva de potência reativa é bem atípica, com predominância de fluxo de potência reativa no sentido da Distribuidora para a Rede Básica.

2.4 Operação do sistema de distribuição em malha

Em sistemas operando em malha, com ponto de conexão com diferentes sistemas da Rede Básica/DIT, os fluxos de reativos nestes pontos de contratação de MUST dependem dos ajustes de tensão nas barras das fronteiras. Qualquer degrau de tensão pode definir novos cenários de fluxo de reativos.

Podem ocorrer situações onde o fluxo de ativo e/ou reativo seja no sentido da Distribuidora para o sistema de transmissão, por influência de intercâmbio entre sistemas de transmissão e/ou de geração despachada centralizadamente, ou seja, nestes pontos existe uma forte dependência das condições de operação eletroenergética do sistema da Rede Básica.

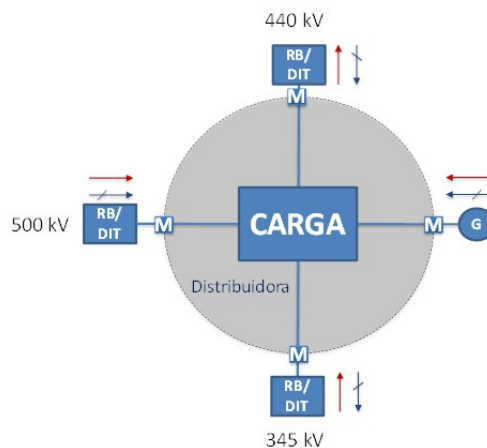


FIGURA 7 - Sistemas operando em malha.

2.5 Efeito em sistemas operando em malha - caso real - Sistema Mirassol/São José do Rio Preto

Os pontos de conexão de Mirassol e São José do Rio Preto, da CPFL Paulista, sofrem a influência dos despachos das usinas da bacia do Tietê. Em certos períodos ocorre a inversão do fluxo na SE Mirassol, que vem das centrais geradoras conectadas às DIT, passa pelo sistema de distribuição da CPFL no sentido para a Rede Básica.

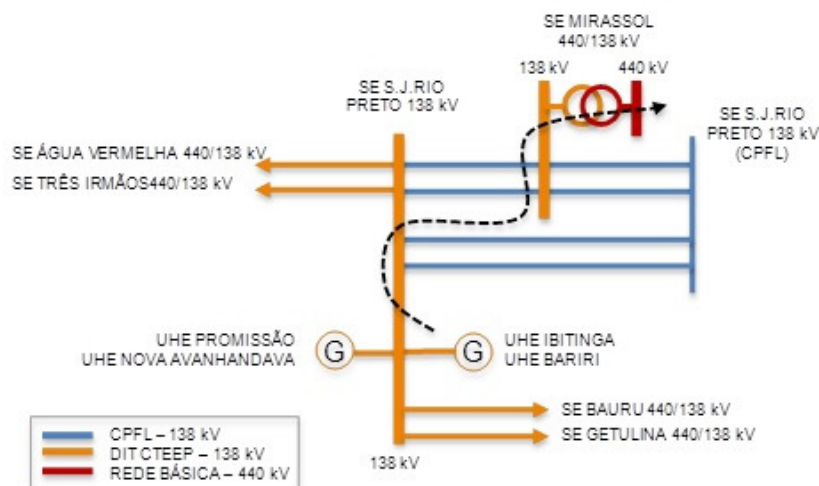


FIGURA 8 - Sistemas Mirassol/S.J.R.Preto - operando em malha.

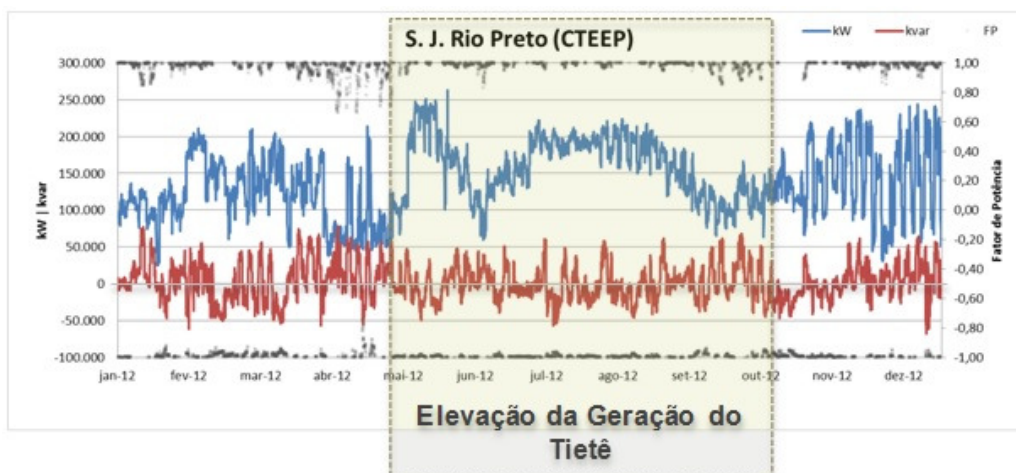


FIGURA 9 - Medição do ponto de conexão de São José do Rio Preto 138 kV.

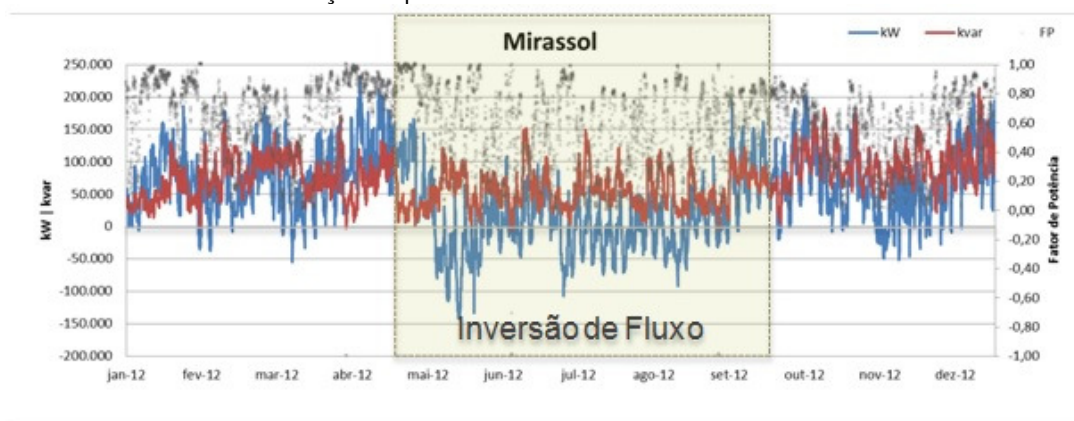


FIGURA 10 - Medição do ponto de conexão de Mirassol 138 kV.

Analisando as medições do ponto de conexão de Mirassol e São José do Rio Preto, mais evidente entre os meses de maio a setembro, verifica-se a elevação fluxo de potência ativa em São José do Rio Preto (Figura 9), levando a inversão do fluxo no ponto de conexão de Mirassol (Figura 10). Assim, a geração do Tietê, associado ao período de safra da cana-de-açúcar (geração à biomassa), leva a geração presente no sistema das DIT a exportar para Rede Básica, passando pelo sistema da CPFL Paulista.

Em contrapartida, o fluxo de potência reativa é do sentido Rede Básica para as DIT, passando pelo sistema da CPFL Paulista, constatado pela variação e constantes inversões de fluxo de reativo na fronteira de São José do Rio Preto (Figura 9).

Com isto, o fator de potência de ambos os pontos de conexão dependem das condições de operação eletroenergética dos sistemas das DIT e da Rede Básica. A resultante, principalmente no ponto de conexão de Mirassol, é a formação de uma nuvem de pontos de fatores de potência, que não refletem a característica da carga da CPFL, mas o intercâmbio entre dois sistemas de transmissão.

2.6 Aspectos regulamentares sobre o fator de potência

Com relação à regulamentação do setor elétrico sobre o assunto fator de potência, verificam-se algumas diferenças entre os estímulos à redução ou controle do consumo de reativos com relação aos consumidores conectados ao sistema de distribuição e ao relacionamento do ONS com os acessantes ao sistema de transmissão.

Na Resolução Normativa nº 414/2010, o Fator de Potência é um tópico bem detalhado, cabendo uma seção exclusiva para tratar o assunto. Nesta resolução, também debatido no ambiente de audiência pública, estão definidas as responsabilidades dos consumidores conectados ao sistema de distribuição com relação ao consumo de excedente de reativos, estabelecendo-se:

- ☒ Faixa limite de fator de potência, definidos por grupo de tensão;
- ☒ Critérios de medição, intervalo de medição e cálculo do fator de potência;

- ☒ Tolerâncias de faixa de fator de potência para períodos de carga definidos e
- ☒ Critérios de apuração do excedente de consumo e demanda de potência reativa.

Entretanto, no âmbito do relacionamento entre o ONS e os acessantes do sistema de transmissão, o tema “Fator de Potência” ainda requer discussão, podendo haver interpretações divergentes entre tratamentos a consumidores conectados em tensão de Rede Básica e sobre a forma de operação das centrais geradoras.

A Resolução Normativa nº 414/2010 estabelece forma de valoração do consumo (ERE) e da demanda (DRE) de potência reativa excedente aos limites definidos aos consumidores do grupo A. Evidencia-se que para qualquer excedente de consumo de energia reativa durante um ciclo de faturamento caberá ao consumidor um adicional a sua fatura referente a este consumo (ERE). Porém quando se trata da demanda de potência reativa, ao analisarmos a formulação básica, verificam-se tolerâncias a fatores de potência inferiores ao limite de 0,92 indutivo ou capacitivo de forma inversamente proporcional à relação entre a demanda medida e sua demanda contratada (MUSD) por período de consumo (ver Figura 11).

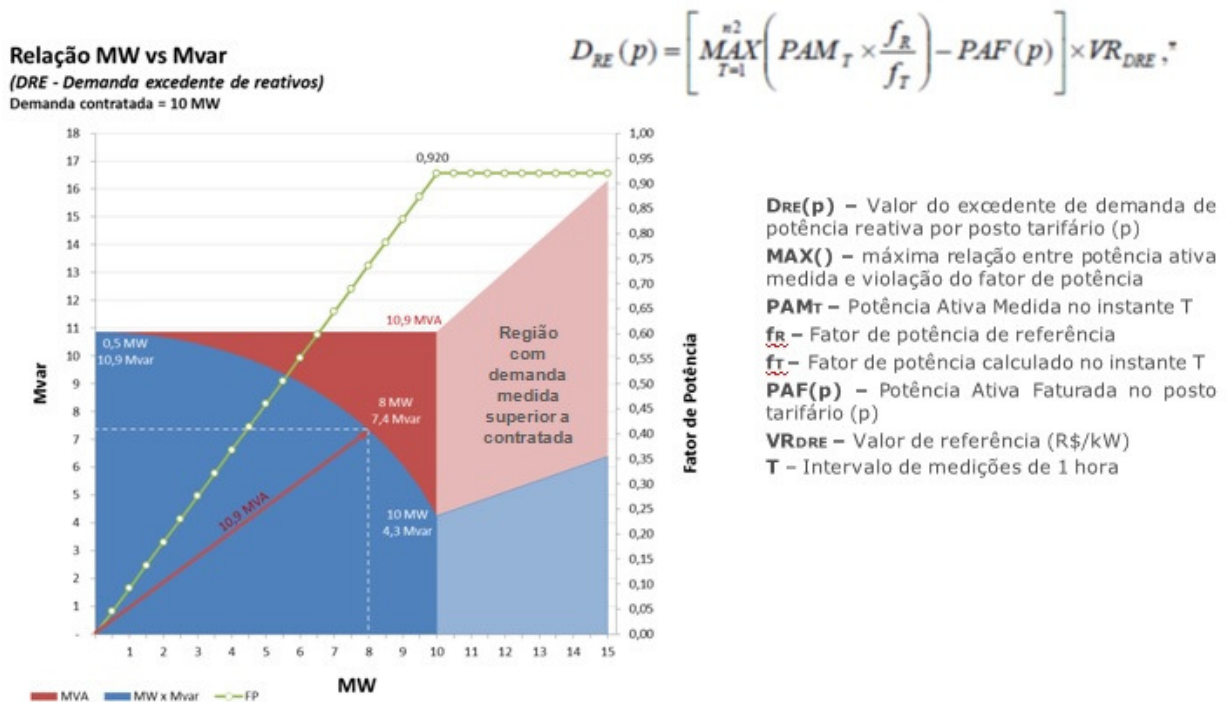


FIGURA 11 - Excedente de Demanda de Reativos (DRE) - REN 414/10.

3.0 - CONCLUSÃO

Foi exposto uma visão diferenciada sobre o assunto fator de potência com o intuito de promover a reflexão com relação à regulação do setor elétrico sobre os estímulos à redução ou controle do consumo de reativo em toda a cadeia de produção, transporte e consumo de energia elétrica e as formas de apuração do desempenho do fator de potência nos pontos de conexão com o sistema de transmissão.

Demonstramos como a operação em malha e a geração distribuída, que tem como objetivo a otimização da operação do sistema elétrico, influenciam na definição do fator de potência dos pontos de conexão da Distribuidora com o sistema de Transmissão. Importante apontar que tais fatores de potência, nestes pontos de influência, não refletem perda de eficiência na operação do sistema e considerar estes fatores de potência na avaliação do ponto de conexão com o sistema de Transmissão pode levar a conclusões equivocadas.

Os efeitos apresentados atualmente são observados em pontos de conexão específicos, onde é evidente a influência de geração ou intercâmbio. O crescente estímulo à geração distribuída nos mais diferentes níveis de tensão deve propagar estes efeitos a um número sempre crescente de conexões.

Embora a ANEEL tenha promovido discussão sobre o fator de potência aplicável aos consumidores das distribuidoras em audiência pública, houve pouco avanço sobre este assunto no âmbito da transmissão e na compatibilização entre resoluções para tratamento isonômico entre agentes.

Desta forma, observa-se a necessidade de:

- Do lado da oferta: desenvolver mecanismos de incentivos à geração distribuída para a injeção de potência reativa, reduzindo as solicitações de reativos da Rede Básica ou a necessidade de implantação de compensação reativa no sistema de distribuição;
- Do lado da demanda: necessidade de reavaliar os mecanismos de incentivos à redução de demanda de potência reativa medido nas instalações dos consumidores, uma vez que o atual mecanismo prevê flexibilização dos limites definidos em resolução quando da utilização de demanda inferiores à contratada;
- Desenvolver novas formas de avaliar os pontos de conexão de distribuidoras ao sistema de transmissão que tenham influência de geração distribuída ou intercâmbio entre conexões e
- Criação de métodos e critérios bem definidos para a coleta de dados e apuração do fator de potência na avaliação do desempenho das conexões com o sistema de transmissão.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Legislação Básica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>
- (2) ANEEL - PRODIST - Procedimentos de Distribuição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>
- (3) ONS - Procedimentos de Rede. Disponível em: <<http://www.ons.org.br/>>

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Danilo Eiji Ito. Nascido em 1973 em Bragança Paulista, SP. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1998, MBA em Finanças Corporativas pela Fundação Getulio Vargas (FGV) em 2008 e aluno do curso de especialização em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral (FDC). Atualmente é Coordenador de Planejamento Elétrico da Transmissão no grupo CPFL Energia.



Vagner Vasconcellos. Nascido em 1973 em Sorocaba, SP. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Faculdade de Engenharia de Sorocaba FACENS (1998), Mestrado em Sistemas de Potência pela Escola Politécnica da USP (2007) e Doutorando em Sistemas de Potência pela Escola Politécnica da USP. Atualmente é Engenheiro de Planejamento Elétrico da Transmissão no Grupo CPFL Energia.



Stanley Eidi Tokuno. Nascido em 1975 em São Paulo, SP. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da USP (POLI-USP) em 2002, especialização em Gestão de Ativos do Setor Elétrico pela UNICAMP em 2009 e aluno de mestrado em Sistemas de Potência na POLI-USP. Atualmente é Engenheiro de Planejamento Elétrico da Transmissão no grupo CPFL Energia.



Reinaldo de Freitas Fachada. Nascido em 1962 em São Paulo. Graduado em Engenharia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC-RJ) em 1986, Pós-graduação no Curso de Especialização de Sistemas Elétricos – CESE pela Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI) em 1989 e no Curso de Especialização em Gestão Estratégica de Empresas – ECO 100 pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) em 2003. Atualmente é Engenheiro Especialista de Planejamento Elétrico da Transmissão no grupo CPFL Energia.