



## **Grupo de Estudo de Sistemas de Distribuição-GDI**

### **Influência da geração distribuída no planejamento da expansão do sistema de distribuição e impactos no MUST**

**STANLEY EIDI TOKUNO(1); REINALDO DE FREITAS FACHADA(1); OTÁ VIO HENRIQUE SALVI VICENTINI(1);  
DANILO EIJI ITO(1);  
CPFL Energia(1);**

#### **RESUMO**

Este artigo apresenta a alternativa de expansão adotada para a região nordeste do estado de São Paulo, área de concessão da CPFL Paulista que apresenta em torno de 1,5 GW de geração distribuída associada às usinas a biomassa. São apresentados os impactos da presença desta geração com sua sazonalidade típica no sistema de distribuição de alta tensão e alternativa de expansão adotada para atendimento ao crescimento dos montantes de carga e geração na região. Esta alternativa, composta por uma nova conexão ao sistema de 500 kV e reforços no sistema da distribuidora estará associada a conexão no sistema de 345 kV através de um transformador defasador que realizará o controle de fluxo de potência na fronteira com a Rede Básica e no sistema de distribuição. Também são apresentadas considerações do impacto desta alternativa nos Montantes de Uso do Sistema de Transmissão contratados pela distribuidora.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Geração distribuída, Montantes de Uso do Sistema de Transmissão, Transformador defasador, Planejamento da expansão

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Atualmente, a análise de expansão do sistema de distribuição de alta tensão deve considerar novos fatores que influenciam na proposta e definição das alternativas que serão implantadas.

Um importante fator que influencia o planejamento e operação dos sistemas elétricos corresponde à geração distribuída, representada pelas Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs), Usinas a Biomassa e a Gás, Usinas Fotovoltaicas e Usinas Eólicas, além da minigeração e microgeração, regulamentadas recentemente no Brasil. Esta geração distribuída apresenta grandes variações ao longo do período, seja horário, diário ou mensal.

No caso da geração fotovoltaica, a geração e consequente exportação de energia para o sistema elétrico estão associadas ao período de incidência solar. A geração eólica apresenta variação associada ao regime de ventos. A geração a biomassa, mais especificamente a geração a biomassa associada à indústria sucroalcooleira, apresenta dois períodos bastante distintos ao longo do ano: o período de safra, que corresponde ao período de produção de açúcar e álcool com geração de energia elétrica associada ao processo produtivo, e o período de entressafra, onde ocorre parada da produção e consequente interrupção na geração de energia elétrica.

A Figura 1 mostra a sazonalidade típica ao longo do ano das fontes de geração hidráulica, eólica e biomassa da cana-de-açúcar.

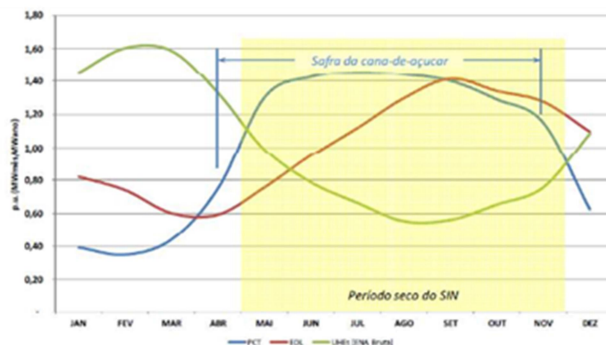


Figura 1: Complementaridade anual das diversas fontes de geração (fonte: ONS).

Esta sazonalidade da geração distribuída altera significativamente o fluxo de potência no sistema de distribuição, modificando os carregamentos nas linhas e perfil de tensão nos barramentos, gerando cenários bastante distintos e que devem ser avaliados. Particularmente no caso dos sistemas de distribuição de alta tensão, associado ao efeito provocado pela geração distribuída, existe a questão regulatória associada aos Montantes de Uso do Sistema de Transmissão (MUST) cujas regras são definidas pela Resolução Normativa nº666 de 2015 da ANEEL, regulamentando a contratação do uso do sistema de transmissão, definindo penalização e multa em caso de descumprimento. Nesta condição, a expansão da geração distribuída eleva a quantidade de variáveis e cenários que devem ser avaliados para definição dos valores de demanda de potência nas fronteiras do sistema de distribuição.

No caso das distribuidoras que possuem como ativo de sua propriedade uma extensa rede de distribuição de alta tensão, estes sistemas possuem como fontes de suprimento os pontos de fronteira com a Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), formados por subestações transformadoras de 500 kV, 440 kV, 345 kV e 230 kV para os níveis de tensão de distribuição. Considerando o sistema de distribuição de alta tensão como um sistema radial, possuindo um único ponto de fronteira com o sistema de transmissão como fonte e a conexão exclusivamente de cargas, a estimativa de valores para contratação pode ser realizada com relativa precisão. Entretanto, para sistemas de distribuição de alta tensão que possuem interligação entre dois ou mais pontos de conexão com a Rede Básica, além de um elevado volume de geração distribuída conectado com sua sazonalidade característica, o fluxo nas fronteiras varia de acordo com as condições operativas do sistema externo à distribuidora.

Nestas condições, existe a necessidade de mudança nas características do sistema elétrico, de elemento passivo para um sistema que possibilite ações de controle de acordo com cada cenário possível. Deste modo, a aplicação de equipamentos que realizam o controle ativo dos parâmetros do sistema elétrico surge como uma alternativa para expansão e melhor aproveitamento do sistema existente, realizando o direcionamento do fluxo de potência associado à geração distribuída no sistema ao qual está conectado, possibilitando ao mesmo tempo o controle da potência nas fronteiras entre os sistemas de transmissão e distribuição.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO

A região nordeste da CPFL Paulista é atendida pelos sistemas de transmissão da ISA-CTEEP e de Furnas. As principais fontes desta região são as subestações de fronteira: Araraquara 440/138 kV, Ribeirão Preto 440/138 kV da ISA-CTEEP e Mascarenhas de Moraes 345/138 kV de FURNAS, além das usinas hidrelétricas de Porto Colômbia (conectada em 138 kV) e Mascarenhas de Moraes (conectada em 345 kV e 138 kV), conforme mostrado na Figura 2.

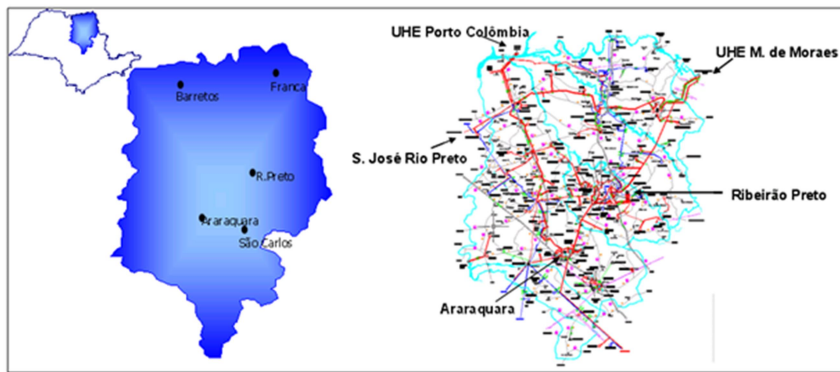


Figura 2: Região nordeste da área de concessão da CPFL Paulista com as fontes de suprimento do sistema de distribuição.

Essa região tem como principal característica a presença de um grande parque gerador térmico, movido por usinas a biomassa a partir de bagaço de cana.

A figura 3 apresenta a representação esquemática do sistema de distribuição de alta tensão e usinas a biomassa conectadas na região Nordeste da CPFL Paulista.



Figura 3: Sistema de distribuição de alta tensão e usinas a biomassa conectadas na região Nordeste da CPFL Paulista.

A maior parte dessas usinas está conectada no sistema em 138 kV da CPFL Paulista, causando impacto no desempenho dessa rede, seja no período de safra (de abril a novembro), seja no período de entressafra (de dezembro a março).

No período da safra, as usinas atuam como agentes geradores, injetando no sistema de distribuição grandes montantes de energia. Essa injeção de potência ativa, principalmente no período da carga leve, faz com que haja até mesmo a transferência desse excedente para a Rede Básica, através dos transformadores de fronteira.

No período da entressafra, as usinas atuam como agentes de carga, solicitando da rede e das transformações de fronteira as demandas de potência ativa e reativa necessárias, embora de pequeno monte, para suas manutenções.

Estas condições se refletem nas demandas observadas nas fronteiras do sistema de distribuição com a Rede Básica, elevando de três patamares de carga (carga pesada, média e leve) normalmente analisados nos estudos de expansão, para seis cenários em função dos períodos de safra e entressafra no caso da geração a biomassa.

A figura 4 apresenta a carga da área nesta região e fluxo de potência observado nas fronteiras com a Rede Básica nos períodos de safra e entressafra, devido a influência da geração distribuída das usinas a biomassa.

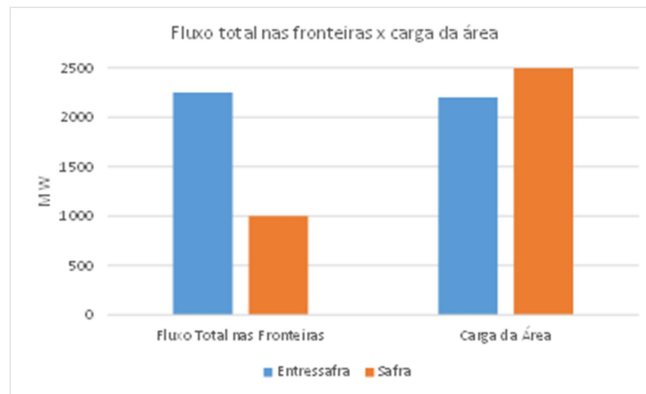


Figura 4: Fluxo de potência nas fronteiras x carga da área.

Na região Nordeste da CPFL Paulista, esta sazonalidade leva a cenários distintos e extremos de tensões e carregamentos. Durante o período de safra, a geração das usinas a biomassa existentes na região, associada a variação de geração da Usina de Porto Colômbia, cujo despacho é realizado centralizadamente pelo ONS, provoca elevação no carregamento das linhas de 138 kV e elevação no perfil de tensão no barramento das subestações, principalmente no patamar de carga leve.

No período de entressafra, com as usinas de biomassa na região caracterizadas como carga, com suas respectivas demandas de energia necessárias para manutenção de seus processos produtivos, é observada a redução do perfil de tensão na região e elevação no carregamento de determinadas linhas do sistema de distribuição de 138 kV que não necessariamente correspondem aos mesmos pontos observados no período da safra. Devemos observar que o despacho destas usinas a biomassa não possui controle por parte da distribuidora na qual encontra-se conectada, estando a geração vinculada ao processo produtivo, provocando variações nos montantes de geração mesmo no período de safra. Esta condição é refletida na condição operativa do sistema de distribuição de alta tensão.

Considerando estes cenários, foi realizado estudo para expansão do sistema na região, sendo definida alternativa de expansão composta por uma nova fonte denominada Morro Agudo 500/138kV, com conexão no sistema da CPFL Paulista, além da instalação de um transformador 345/138 kV em série com um transformador defasador 138/138 kV na SE Porto Colômbia.

A figura 5 apresenta as obras de expansão definidas para a região.

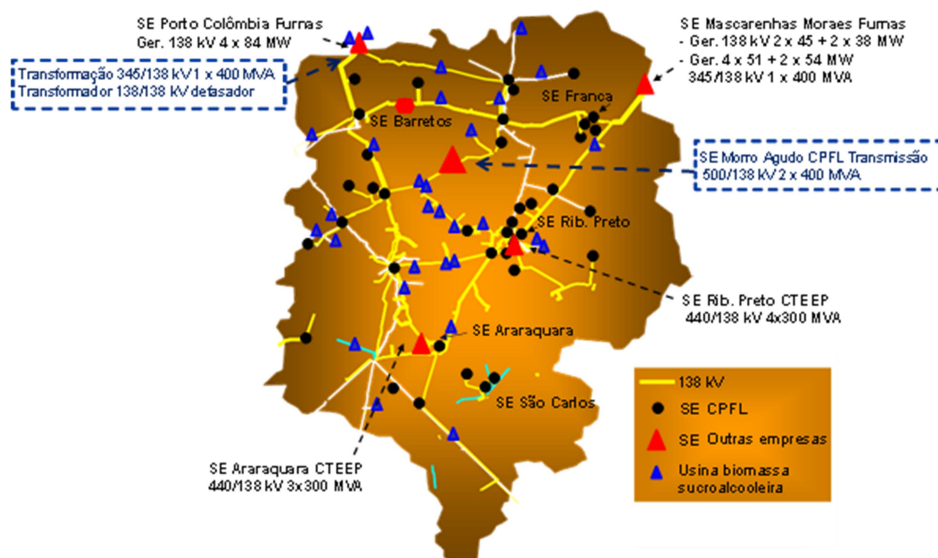


Figura 5: Sistema de distribuição de alta tensão e respectivas obras.

Durante as análises realizadas no estudo coordenado pela EPE, foram selecionadas cinco alternativas, sendo diferenciadas quanto à localização de novas fontes de suprimento e/ou reforços na rede, de forma que todas possibilitassem a solução dos problemas apresentados, o pleno escoamento do excedente de geração da região e adequado atendimento ao mercado da distribuidora até o ano horizonte.

No caso do sistema analisado, em função da forte presença da geração distribuída, a aplicação do transformador defasador para controle de fluxo de potência entre o sistema da Rede Básica 345 kV e o sistema de distribuição 138 kV, com ajustes específicos para o período de safra e entressafra, resultou na melhoria nas condições de carregamento e tensão, além da redução das perdas técnicas, itens determinantes para a definição desta alternativa.

No período de safra, o transformador defasador será ajustado para manter o fluxo de potência ativa no sentido do sistema de 138 kV para o sistema de 345 kV, proporcionando um caminho para escoamento da geração existente no sistema de 138 kV, incluindo a geração distribuída e geração da usina hidrelétrica de Porto Colômbia, reduzindo o carregamento do sistema de 138 kV neste período. No período de entressafra, o transformador defasador deverá ser ajustado para manter o fluxo de potência ativa no sentido do sistema de 345 kV para o sistema de 138 kV, operando como uma nova fonte para suprimento da carga na região.

A figura 6 apresenta o diagrama esquemático do sistema de 138 kV da região com indicação do fluxo de potência entre as fontes do sistema, com destaque para a bidirecionalidade em determinados pontos em função da forte presença da geração distribuída, bem como da possibilidade de controle de fluxo que será viabilizado após implantação da transformação 345/138 kV e transformador defasador 138/138 kV na SE Porto Colômbia.

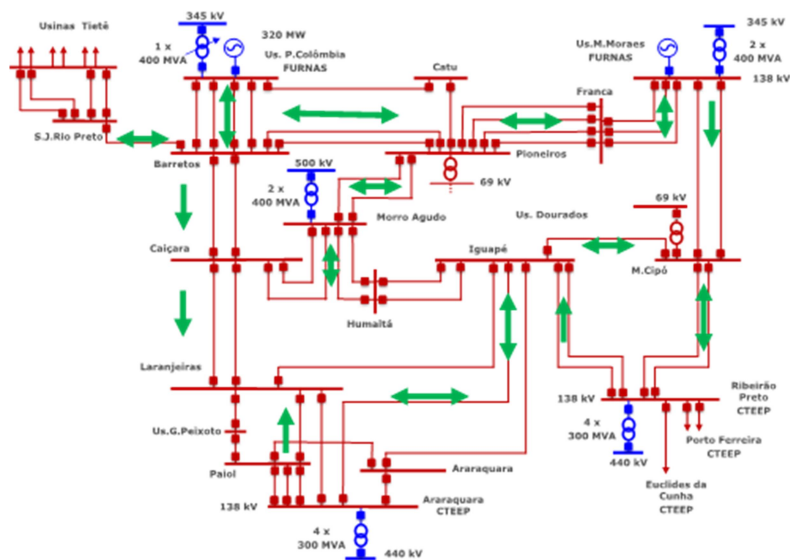


Figura 6: Sistema de distribuição de alta tensão e obras estruturais propostas.

Podemos observar a interligação entre as diversas fontes do sistema de distribuição e conseqüente influência das condições operativas da Rede Básica e DIT, geração distribuída presente no período de safra, além dos futuros ajustes do transformador defasador no fluxo de potência do sistema de distribuição de alta tensão, determinando as condições de carregamento das linhas e tensões nos barramentos deste sistema.

Também haverá forte influência destas condições nas demandas das fronteiras do sistema de distribuição com a Rede Básica, elevando a complexidade para definição dos Montantes de Uso do Sistema de Transmissão que devem ser contratados e controlados nestas fronteiras, representando fator de risco e dificuldade para controle destes montantes, condições que devem ser consideradas nas análises de apuração do MUST nos pontos de fronteira.

### 3.0 - CONCLUSÃO

O sistema de 138 kV da região Nordeste da CPFL Paulista apresenta em torno de 1,5 GW de geração distribuída associada às usinas sucroalcooleiras. Em função dos impactos da presença desta geração com sua

sazonalidade típica neste sistema, foi realizado sob coordenação da EPE estudo para analisar alternativas de reforço para a região.

Neste estudo, foi definida a alternativa para atendimento, sendo composta por duas novas fontes de suprimento denominadas Morro Agudo 500/138 kV e transformação 345/138 kV em série com um transformador defasador 138/138 kV na subestação de Porto Colômbia, com as respectivas obras no sistema de 138 kV da distribuidoras associadas às obras na Rede Básica.

A análise do sistema de 138 kV considerando esta solução estrutural que possibilita o controle de fluxo de potência ativa entre os sistemas de 345 kV e 138 kV, com reflexo nos fluxos através de todo o sistema de distribuição de alta tensão da região, prevê benefícios em função da possibilidade de ajustes específicos do transformador defasador para os períodos de safra e entressafra, demonstrando a necessidade de inserção no sistema de elementos que possibilitem ações de controle de acordo com cada cenário possível. Porém, estes controles e respectivos ajustes apresentarão reflexo direto no fluxo de potência do sistema de distribuição e nos Montantes de Uso do Sistema de Transmissão (MUST) que deverão ser contratados nas fronteiras com o sistema de transmissão.

Nestas casos específicos, estas variáveis precisam ser consideradas durante a apuração dos MUST pois correspondem a fatores não gerenciáveis por parte das distribuidoras, sendo uma característica cada vez mais presente nos sistemas de distribuição.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Relatório "EPE-DEE-RE-124\_2012-rev1 (Reavaliação atendimento à região nordeste da CPFL Paulista)\_final", 2010.

(2) ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Legislação Básica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>

(3) ANEEL - PRODIST - Procedimentos de Distribuição. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/>>

(4) ONS - Procedimentos de Rede. Disponível em: <http://www.ons.org.br>

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Stanley Eidi Tokuno engenheiro eletricitista formado pela POLI-USP; mestre em engenharia elétrica pela POLI-USP. Atualmente é Engenheiro de Planejamento na CPFL Energia onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento da expansão de sistemas de distribuição.

Reinaldo de Freitas Fachada engenheiro eletricitista formado pela PUC-RJ; com curso de Especialização em Sistemas Elétricos pela EFEI – MG. Atualmente é Engenheiro de Planejamento na CPFL Energia onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento da expansão de sistemas de distribuição.

Otávio Henrique Salvi Vicentini, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Itajubá, mestre em Sistemas Elétricos de Potência pela Universidade Federal de Itajubá. Atualmente é Engenheiro de Planejamento na CPFL Energia onde desempenha atividades relacionadas ao planejamento da expansão de sistemas de distribuição.

Danilo Eiji Ito, engenheiro eletricitista formado pela Universidade Federal de Itajubá, MBA em Finanças Corporativas pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), especialização em Gestão de Projetos pela Fundação Dom Cabral (FDC) e aluno do curso de MBA em Liderança e Gestão Organizacional pela Franklin Covey Business School. Atualmente é Gerente de Planejamento do Sistema Elétrico no grupo CPFL Energia.