



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

Helcimar Nogueira da Silva	CEMIG Distribuição S.A.	helcimar@cemig.com.br
Wilson Geraldo Machado	CEMIG Distribuição S.A.	wilsongm@cemig.com.br
Rodrigo Otavio Lombello Coelho	CEMIG Distribuição S.A.	rcoelho@cemig.com.br
Juliano Gomes Cunha	CEMIG Distribuição S.A.	jgcunha@cemig.com.br
Ernando Antunes Braga	CEMIG Distribuição S.A.	eabraga@cemig.com.br
Rodrigo Rezende Hostt	CEMIG Distribuição S.A.	rodrigo.hostt@cemig.com.br
Jose Raimundo Felix Junior	CEMIG Distribuição S.A.	jrfj@cemig.com.br

**AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS DA GERAÇÃO DISTRIBUIDA NO SISTEMA ELÉTRICO DE  
MÉDIA TENSÃO DA CEMIG DISTRIBUIÇÃO**

**Palavras-chave**

Acesso à rede de distribuição  
Impactos na Rede de Distribuição  
Relacionamento Comercial  
Geração Distribuída  
Mínimo Custo Global  
Perdas Elétricas

**Resumo**

A conexão de geração distribuída no sistema elétrico de uma distribuidora interfere sensivelmente nas perdas elétricas. Seu efeito positivo ou negativo depende entre outros aspectos do nível de tensão, da topologia do sistema e da densidade de carga dos alimentadores.

A análise proposta contemplou os estudos de conexão realizados pela Cemig Distribuição S.A para geradores em tensão inferior à 34,5kV, no período de janeiro/2010 à fevereiro/2012, mensurando os benefícios e desvantagens a serem percebidos pela distribuidora com a conexão desses geradores.

Para essa amostragem foi observado que a maioria dos geradores provocou aumento das perdas elétricas. Nesse sentido, torna-se necessário a aplicação do sinal locacional para as tarifas de uso do sistema de distribuição geradores conectados em tensão inferior a 88KV, para viabilizar a conexão próximo aos centros de carga, o que proporcionaria menor despesa para o gerador e ganhos para o sistema de distribuição.

## **1. Introdução**

A geração de energia elétrica por meio de tecnologias pouco poluentes tem sido amplamente incentivada no mundo inteiro. Isso se deve essencialmente a interesses ambientais, assim como à busca da diversificação da matriz energética de cada país.

A atual regulamentação do setor elétrico Brasileiro estabeleceu as figuras do autoprodutor de energia com venda de excedente e do produtor independente de energia – PIE, de forma que estes geradores podem comercializar a sua energia diretamente com consumidores livres no ambiente de contratação livre – ACL e no ambiente de contratação regulada – ACR, por meio de leilões, ou ainda com a distribuidora local, dispensando o leilão se não é pública, e condicionada a apenas 10% do mercado da distribuidora. Ainda, a geração proveniente de fontes incentivadas pode ser comercializada com consumidores especiais, que são aqueles cuja potência contratada está acima de 500kW e abaixo de 3.000kW.

No Brasil, a forma encontrada para o incentivo dessas fontes alternativas foi o estabelecimento da Lei no 9.427, de 26 de dezembro de 1996, que dispõe sobre a concessão de desconto no uso dos sistemas elétricos de distribuição e transmissão a algumas centrais geradoras de energia elétrica, bem como a permissão para que agentes de geração específicos possam comercializar a sua energia com consumidores ou um conjunto de consumidores reunidos por comunhão de interesses de fato ou de direito, cuja carga seja maior ou igual a 500 kW, tratados por “consumidores especiais”.

O acesso ao sistema elétrico deve ser sempre solicitado à distribuidora detentora da concessão na área geográfica em que se localizam as instalações do acessante. Complementarmente, a distribuidora deve estabelecer a forma de conexão do acessante seguindo o critério de mínimo custo global de investimentos.

Neste trabalho, avaliamos os estudos de conexão realizados pela Cemig Distribuição S.A para geradores em tensão inferior à 34,5kV, no período de janeiro/2010 à fevereiro/2012, mensurando os benefícios e desvantagens a serem percebidos pela distribuidora com a conexão desses geradores.

Este projeto visa analisar os reflexos da conexão da Geração Distribuída para o Sistema Elétrico de Distribuição, bem como se a legislação vigente incentiva a conexão desses geradores em locais estratégicos para a distribuidora, propiciando assim o benefício para empreendedores e para a distribuidora

## **2. Desenvolvimento**

### **2.1. ASPECTOS REGULATÓRIOS**

Por imposição da regulamentação do setor elétrico tornou-se necessário que a contratação da energia elétrica ocorresse de forma separada da contratação do acesso e do uso do sistema de transmissão.

O art. 15 da Lei 9.074, de 7 de julho de 1995, estabeleceu que fornecedores e consumidores de energia elétrica devem ter assegurado o acesso aos sistemas de transmissão e de distribuição, desde que respondam pelo ressarcimento do correspondente custo de transporte.

#### **2.1.1. Procedimentos de Conexão**

O PRODIST é a regulamentação que melhor descreve os procedimentos para viabilização do acesso, relativamente a etapas e prazos. A legislação prevê que a distribuidora acessada avalie a adequação do sistema às novas condições solicitadas pelo acessante, realizando eventuais alterações necessárias à observação do critério de mínimo custo global.

De maneira geral, os regulamentos acerca do acesso ao sistema de distribuição encontram-se atualmente nas seguintes Resoluções:

- Resolução nº 281, de 1º de outubro de 1999: Estabeleceu as condições gerais de contratação do acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica assim como o critério do Mínimo Custo Global para a escolha da alternativa de conexão de acessantes;
- Resolução Normativa nº 68, de 8 de junho de 2004: Define as responsabilidades das obras de conexão e reforço, entre a Distribuidora e Geradores;
- Resolução Normativa nº 400, de 13 de abril de 2010: Estabelece as regras para a contratação do acesso temporário aos sistemas de distribuição de energia elétrica;
- Resolução nº 371, de 29 de dezembro de 1999: Regulamenta a contratação e comercialização de Reserva de Capacidade por autoprodutor ou produtor independente, para atendimento a unidade consumidora diretamente conectada às suas instalações de geração; e
- Resolução nº 345, de dezembro de 2008: Aprovou o PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional, que é composto por oito modelos, dentre os quais interessa conhecer o Módulo 3 – Acesso ao Sistema de Distribuição e o Módulo 5 – Sistemas de Medição; e a Cartilha de Acesso ao Sistema de Distribuição.

Resumidamente, retiramos as premissas dessa legislação, que nortearam a nossa análise:

- A avaliação técnica do acesso deverá observar o critério de mínimo custo global, segundo o qual é escolhida a alternativa tecnicamente equivalente de menor custo de investimentos, considerando as instalações de conexão de responsabilidade do acessante, os reforços, as ampliações e os custos decorrentes das perdas elétricas do sistema;
- Em tensão de conexão inferior à 69kV, é permitida a conexão direta em linhas de Distribuição, sendo que a responsabilidade financeira do gerador vai apenas até o Ponto de Conexão, sendo que os custos de eventuais reforços nessas linhas são de responsabilidade da Distribuidora.

## **2.2. FORMA DE APURAÇÃO DA TUSDG:**

A Resolução ANEEL nº 281, de 1º de outubro de 1999, estabeleceu também, as premissas para a obtenção das tarifas de uso e a forma de faturamento das unidades geradoras.

Após a Resolução ANEEL nº 281, de 1º de outubro de 1999, foi publicada a Resolução ANEEL nº 594, de 21 de dezembro de 2001, na qual os §§ 3º e 4º do art. 1º estabelecem a forma de apuração da TUSDg:

- a. Para concessionárias de distribuição que operem níveis de tensão acima de 34,5kV, a TUSDg deveria ser estabelecida com base no menor valor de tarifa apurada para suas unidades consumidoras; e
- b. Para concessionárias de distribuição que operam somente níveis de tensão iguais ou inferiores a 34,5 kV, a TUSDg seria estabelecida pela ANEEL com base em valores médios regionais.

Esta regra foi mantida nas demais resoluções que aperfeiçoaram o cálculo das tarifas de uso, a saber, na Resolução ANEEL nº 152, de 04 de abril de 2003, já revogada, e na Resolução Normativa ANEEL nº 166, de 10 de outubro de 2005, vigente, que estabeleceu as disposições consolidadas relativas ao cálculo da tarifa de uso dos sistemas de distribuição (TUSD) e da tarifa de energia elétrica (TE).

A Resolução nº 349, de 13 de janeiro 2009, estabeleceu os critérios para o cálculo locacional da Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição aplicável às centrais geradoras – TUSDg conectadas no nível de tensão de 138 kV ou 88 kV. Essa metodologia visa sinalizar economicamente a contribuição dessa usina para o Sistema Elétrico de Distribuição.

Para usinas conectadas em tensão inferior à 88kV, permanece a forma de apuração da TUSDg proposta pela Resolução ANEEL nº 594, de 21 de dezembro de 2001. Sendo que o desconto no Transporte foi estabelecido no §5º do art. 26 da Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996 .

### 2.3. QUANTIDADES DE ACESSO DE USINAS

O Estado de Minas Gerais apresenta condições geográficas favoráveis à implantação de geração hidráulica, isso pode ser observado pelo grande número de Centrais de Geração Hidrelétrica (CGH) e de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH).

Tendo em vista a grande atividade agrícola na região do triângulo mineiro, observa-se nessa área um crescente número de acesso de Pequenas Centrais Termelétricas (PCT) exploradas pelo setor sucroalcooleiro.

A tabela a seguir dessa a dimensão desse atendimento aos geradores no Estado de Minas Gerais:

Tipo	Estudos de Acesso		Usinas Conectadas		Usinas somente com registro*			
					Quant.	Montante (kW)	Conectadas	
	Quant.	Montante (kW)	Quant.	Montante (kW)				
Hidráulica	368	5.955.393	87	2.762.893	96	79.452	18	12.880
Térmica	61	2.467.171	24	747.508	23	53.563	8	24.300
Solar	10	155.200	0	0	9	35.200	0	0
Eólica	8	765.980	1	980	1	980	1	980

--	--	--	--	--	--	--	--	--

Total

447      9.343.744      112      3.511.381      129      169.195      27      38.160

\* O aproveitamento de potenciais hidráulicos, iguais ou inferiores a 1.000 KW, e a implantação de usinas termelétricas de potência igual ou inferior a 5.000 KW, conforme LEI Nº 9.074, DE 7 DE JULHO DE 1995;

**2.4. CARACTERÍSTICAS DOS SISTEMAS ELÉTRICOS REGIONAIS CEMIG;**

A CEMIG possui a maior rede distribuição da América Latina com uma extensão aproximada de 400,1 mil km, distribuídos em cerca de 1.600 alimentadores de 13,8kV. Na maioria das regionais, principalmente na regional Norte e Leste, os alimentadores são mais extensos e com menor número de interligações entre si, pois são áreas de grande dimensão e menor concentração de carga e consumidores.

O sistema elétrico da CEMIG é dividido em sete subsistemas regionais definidos de acordo com a região geográfica de Minas Gerais. Assim, o conjunto de subestações, linhas de distribuição e alimentadores que formam um subsistema estão agrupados em regional Centro, Norte, Sul, Oeste, Leste, Mantiqueira e Triângulo.

A figura abaixo mostra a divisão de atendimento regional pelas unidades descentralizadas da CEMIG:



Em relação ao carregamento do sistema elétrico, a CEMIG atende cerca 7,0 GWh em sua área de concessão no estado de Minas Gerais, sendo 5,0 GWh atendido pelos alimentadores de média tensão.

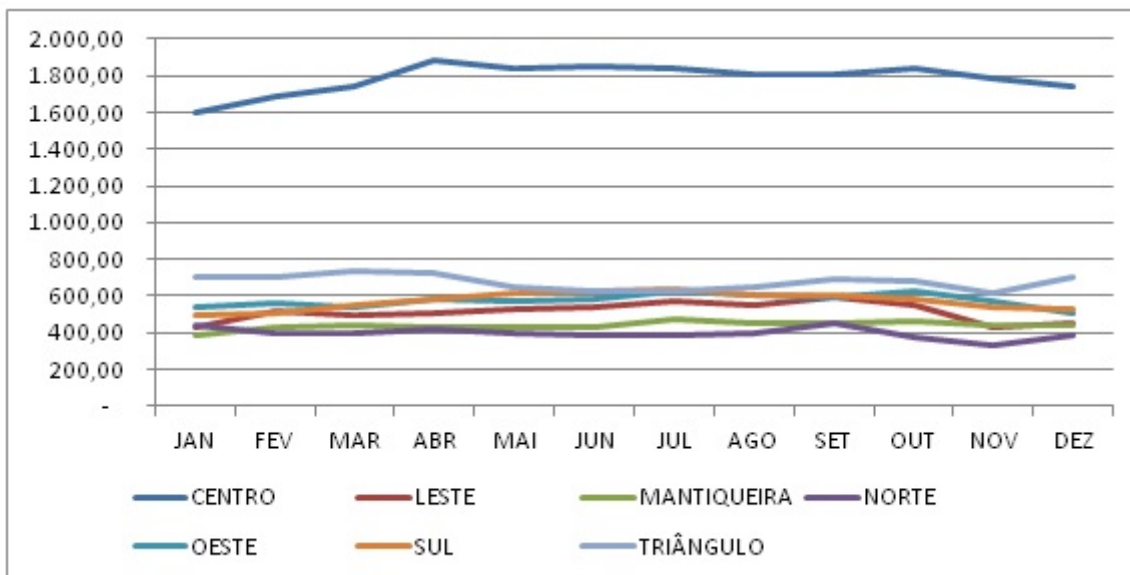
A Tabela e o gráfico seguintes apresentam os dados de carregamento do sistema de média tensão (13,8kV) de cada regional.

#### CARREGAMENTO DO SISTEMA DE MÉDIA TENSÃO NA CEMIG EM 2011

SISTEMA REGIONAL	CENTRO	LESTE	MANTIQUEIRA	NORTE	OESTE	SUL	TRIÂNGULO	TOTAL
JAN	1.595,77	427,43	385,60	442,93	540,99	499,55	698,16	4.590,43
FEV	1.690,16	515,89	434,94	401,68	563,33	503,23	703,71	4.812,94
MAR	1.737,48	498,19	443,24	396,40	541,75	544,79	733,40	4.895,25
ABR	1.885,00	508,43	425,33	422,82	579,22	578,55	719,89	5.119,24
MAI	1.837,81	526,74	433,07	397,07	576,95	615,85	652,86	5.040,35
JUN	1.846,98	535,87	429,80	385,24	584,06	630,56	622,17	5.034,68
JUL	1.837,66	568,40	468,71	391,61	625,31	636,55	622,91	5.151,15

AGO	1.806,14	553,55	450,87	400,33	603,46	609,18	652,01	5.075,54
SET	1.811,47	590,24	453,49	447,22	596,35	604,40	689,31	5.192,48
OUT	1.834,66	547,87	461,06	378,47	622,37	587,53	677,98	5.109,94
NOV	1.783,41	429,00	436,44	332,25	572,08	539,20	615,41	4.707,79
DEZ	1.742,89	455,12	439,55	381,37	504,90	526,82	700,04	4.750,69

Fonte: CEMIG



Fonte: CEMIG

Considerando a distribuição de cargas no sistema de média tensão, a classe residencial representa o maior consumo, conforme pode ser visto na tabela abaixo. Destaca-se também que a presença do consumo industrial é bem menor.

#### DISTRIBUIÇÃO DE CARGA POR CLASSE DE CONSUMO - EM MVA NO ANO DE 2011

Residencial	Comercial	Industrial	Rural	Outros	Total
-------------	-----------	------------	-------	--------	-------

2.769,38

814,12

80,77

536,66

254,55

4.455,49

Fonte: CEMIG

## 2.5. REFLEXO PARA O SISTEMA

O critério de mínimo custo global de investimentos leva em consideração a soma dos valores referentes à obra de conexão, reforços e perdas no sistema da distribuidora. Nos estudos efetuados para conexão de usinas no sistema de distribuição da Cemig, limitado a tensão de 22 kV, foram verificados em várias conexões um aumento das perdas para o sistema.

Aproveitando a favorabilidade geográfica de Minas Gerais, grande parte dos geradores, objetos de nossa análise, são geradores hidráulicos e termelétricos cuja fonte é o bagaço de cana. Esses geradores, basicamente, estão conectados em áreas rurais, longe das áreas de maior densidade de carga.

Devido às particularidades dos alimentadores da Cemig, com extensões médias de 30 km, atendendo as cargas urbanas e rurais, em relação às perdas elétricas, usinas com potência maior ou igual de 2 MW influenciam consideravelmente o sistema elétrico provocando aumento das perdas do sistema, quando instaladas em pontas de sistema elétrico com baixa densidade de carga.

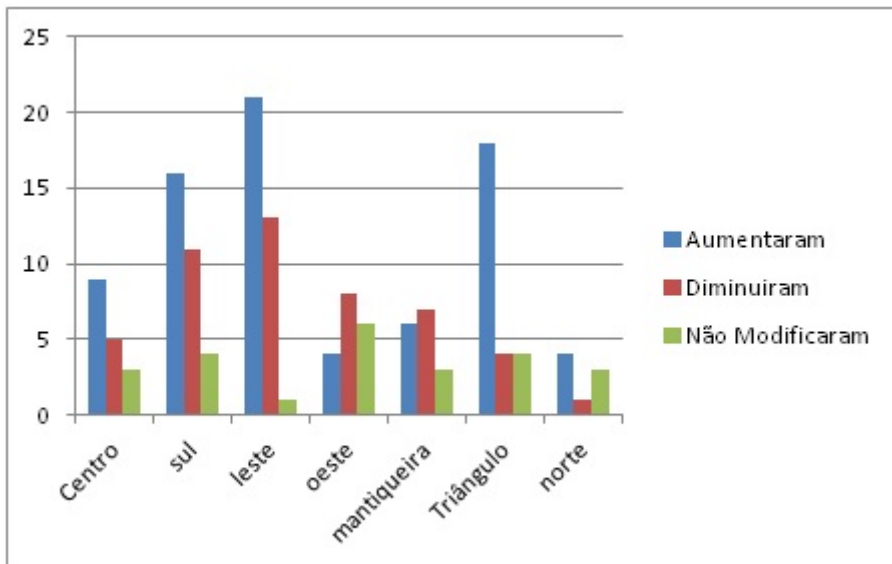
Para usinas com potência abaixo de 2MW, sua geração tende a ser toda absorvida pelo mercado consumidor local. Quando isso ocorre há a redução das perdas do sistema e melhoria da qualidade da energia da região.

Para os casos típicos de usinas de maior porte a energia gerada não é totalmente absorvida retornando pelo sistema até as SE, produzindo a elevação das perdas e possivelmente a necessidade de reforços sistêmicos de maior complexidade.

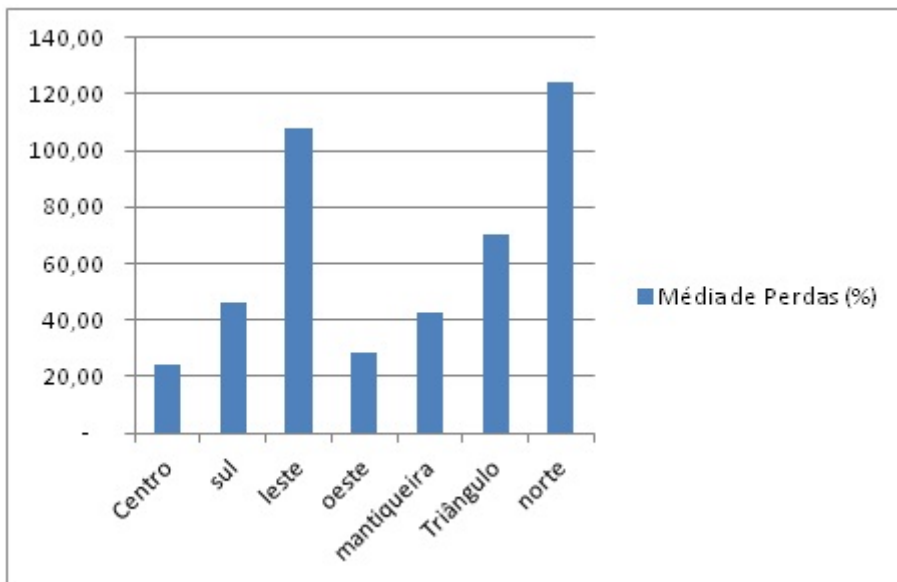
Ainda em relação aos reforços no sistema de distribuição da Cemig para conexão das usinas, foi verificado durante os estudos que devido às particularidades dos alimentadores foram necessárias obras para permitir a conexão dos geradores. Nas conexões onde as usinas estão localizadas mais distantes do centro de carga as obras de reforço foram mais dispendiosas. Isso ocorre, porque esses sistemas não foram originalmente concebidos para injeção de energia.

Abaixo gráfico com a influência de cada usina no aumento, manutenção ou redução das perdas no sistema:

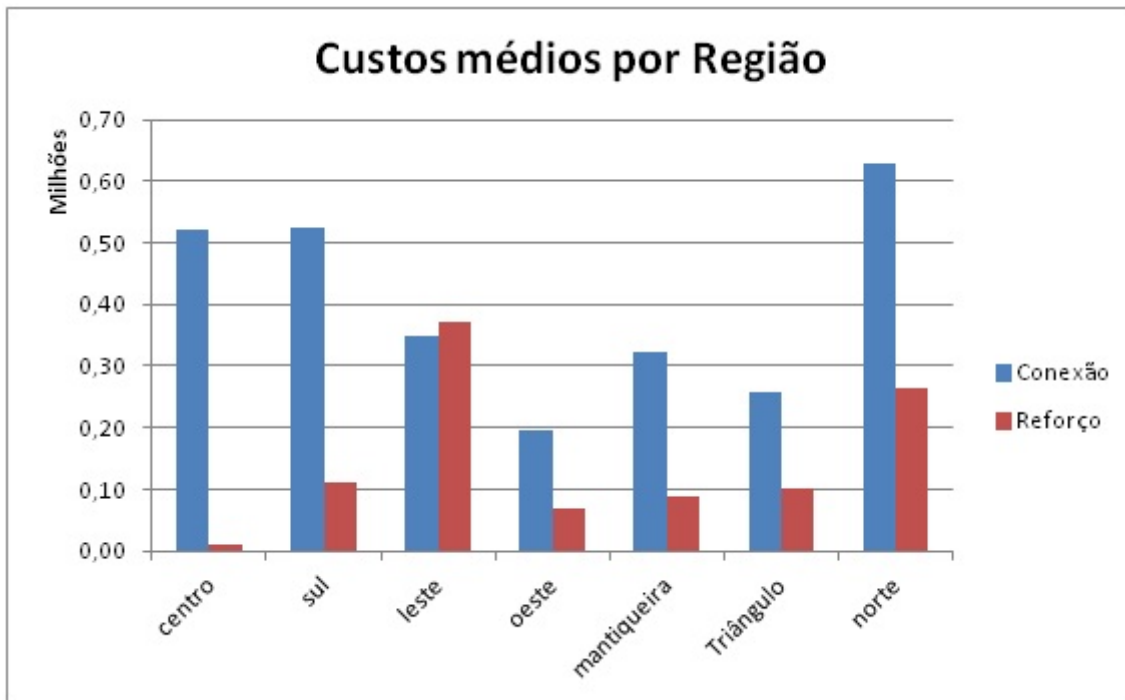




Abaixo gráfico com o aumento percentual das perdas por região:



A seguir o gráfico com o custo médio de obras de conexão e reforços no sistema de distribuição:



## 2.6. TARIFA X CONTRIBUIÇÃO PARA O SISTEMA ELÉTRICO

Os cálculos da tarifa de consumidores e de geradores levam em consideração a discriminação de preços pela atribuição de algumas variáveis tais como: classe, localização geográfica/topológica ao qual se atribui o termo de custo do cliente. Esse cálculo está relacionado a um mecanismo de cálculo chamado de tarifa nodal ou tarifa locacional.

A composição das tarifas finais do custo do cliente é composta por duas parcelas: sendo a compra da energia e a cobertura dos custos de transportes desde o local da produção até o local do consumo. Para o transporte da energia, o gerenciamento de toda a capacidade limitada das linhas e circuitos, bem como seus níveis de carregamento podem ser considerados como gerenciamento da malha de transmissão e de distribuição do Sistema Interligado Nacional - SIN.

### 2.6.1 Tarifa Nodal

A tarifa nodal é a precificação do gerenciamento eficiente das linhas e circuitos elétricos do SIN, ferramenta que determina a tarifa de uso do sistema de transmissão - TUST.

A Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição pela Geração (TUSD-G TUSDg) também é calculada da observando a mesma condição nodal e leva em consideração a localização dos Geradores dentro do estado de Minas Gerais. Assim, estando um Gerador conectado em nível de tensão de 138 kV próximo a um centro de carga em uma determinada região do estado, a tarifa TUSD –G desse gerador será menor que a de um gerador que se localiza longe do centro de carga dentro da mesma região.

Quando tratamos de geradores conectados em média tensão (13,8 kV) com montantes de injeção abaixo de 2 MW, a metodologia nodal para o cálculo da TUSD- G, mostra-se relativamente complexa, devido ao grande número de pontos de ligação existentes nos alimentadores e ao grande dinamismo de uma rede de distribuição desse porte.

A ANEEL vem utilizando a metodologia de Custo Incremental Médio de Longo Prazo - CIMLP. Todavia, ainda que esse método seja conceitualmente correto e aplicável às particularidades de cada empresa de

distribuição, o Órgão Regulador estipulou valores típicos a serem aplicados a todas as empresas.

### **2.6.2 Redução das perdas na ponta**

Ao considerarmos a conexão de Geradores em nível de tensão de 138 kV, podemos verificar que a sua localização perto dos centros de cargas nos circuitos de transporte da energia até o consumo, produzindo menos reativos, menos perdas e menor influência no fator de potência regional. Por outro lado, quanto mais longe esses geradores estiverem dos seus centros de carga e quanto maior for o Montante de Uso a ser injetado no sistema, maiores serão as perdas, o reativos e a influência negativa no fator de potência do sistema de distribuição.

Considerando os empreendimentos de geração que serão interligados em sistemas de média tensão, esses são geralmente interligados em alimentadores de áreas rurais a sua injeção de potência na rede de distribuição provoca uma redução nas perdas na ponta, aliviando o sistema regional e melhorando as suas características elétricas.

### **2.6.3 Critério Mínimo Custo Global**

Ao observar os critérios de menor custo global, para a simulação e cálculo da localização do ponto de conexão dos geradores, foram percebidos grande discrepância nos resultados e na valoração da solução integral da conexão. Dessa forma, para o gerador que está conectado longe dos centros de carga e provoca incremento das perdas do sistema e comumente configurando necessidade de reforços na rede de distribuição, o escopo da conexão será mais complexo e será necessário maior investimento, podendo comprometer a viabilidade da implantação do gerador.

Por outro lado, se um gerador com as mesmas características que se conecta próximo ao centro de carga e apresentando menores perdas, o escopo da conexão torna-se mais simples e contribui para a viabilidade do empreendimento.

Nesse sentido, torna-se muito dispendiosa a instalação de Geradores em rede de 138 kV em áreas rurais que apresentam baixa densidade de carga. Entretanto, ao buscar a instalação de geradores próximos aos centros de carga, as questões ambientais e sociais são bastante relevantes e restringem a implantação de muitos projetos.

## **3. Conclusões**

A conexão de geração distribuída no sistema elétrico de uma distribuidora interfere sensivelmente nas perdas elétricas. Seu efeito positivo ou negativo depende entre outros aspectos do nível de tensão, da topologia do sistema e da densidade de carga dos alimentadores.

As tarifas de uso do sistema de distribuição para as usinas conectadas em tensão acima de 88 kV, consideram em sua metodologia de cálculo o efeito locacional como forma de sinalizar economicamente a contribuição dessa usina para o Sistema Elétrico de Distribuição.

Nenhuma das legislações atuais privilegia as usinas conectadas em tensão inferior a 88kV que estão próximas as cargas, em comparação com outras usinas conectadas no sistema de média tensão de Distribuição e afastadas dos centros de cargas.

Esse vazio regulatório não estimula à inserção de geração distribuída próximo a carga em tensão inferior à 88kV, pois o benefício do desconto do transporte é dado a essas fontes, independente da sua localização e benefício proporcionado ao sistema elétrico.

Na análise dos estudos de conexão realizados pela Cemig Distribuição S.A para geradores em tensão inferior à 34,5kV, no período de janeiro/2010 à fevereiro/2012, mensurando os benefícios e desvantagens a serem percebidos pela distribuidora com a conexão desses geradores, foi observado que a maioria dos geradores provocou aumento das perdas elétricas.

Assim, torna-se necessário a aplicação do sinal locacional para as tarifas de uso do sistema de distribuição geradores conectados em tensão inferior a 88KV, para viabilizar a conexão próximo aos centros de carga, o que proporcionaria menor despesa para o gerador e ganhos para o sistema de distribuição.

#### 4. Referências bibliográficas

- BRASIL. Código Civil. Lei 9.648, de 27 de maio de 1998.
  - BRASIL. Código Civil. Lei 9.074, de 7 de julho de 1995;
  - BRASIL. Código Civil. Lei nº 9.427, de 26 de dezembro de 1996;
  - ANEEL. Resolução nº 281, de 1º de outubro de 1999;
  - ANEEL. Resolução Normativa nº 68, de 8 de junho de 2004;
  - ANEEL. Resolução Normativa nº 400, de 13 de abril de 2010;
  - ANEEL. Resolução nº 371, de 29 de dezembro de 1999;
  - ANEEL. Resolução nº 345, de dezembro de 2008;
  - ANEEL. Resolução nº 166, de 10 de outubro de 2005;
  - ANEEL. Resolução nº 349, de 13 de janeiro 2009;
  - ANEEL. Resolução nº 594, de 21 de dezembro de 2001;
  - ANEEL. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/>. Acesso em: 02 de janeiro de 2009 a 05 de março de 2012.
  - ONS. Disponível em: <http://www.ons.org.br/home/>. Acesso em: 01 de dezembro de 2005 a 05 de março de 2012.
  - [http://www.trconsultoria.com/up\\_docs/Calculo\\_TUSD\\_2001.pdf](http://www.trconsultoria.com/up_docs/Calculo_TUSD_2001.pdf).
  - Norma de Distribuição – ND 5.31- Requisitos para a Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao sistema de Distribuição Cemig D;
  - Procedimentos para Acesso ao Sistema Elétrico da Cemig D
-