



# VI SBQEE

21 a 24 de agosto de 2005  
Belém – Pará – Brasil



Código: BEL 16 7536

Tópico: Qualidade da Energia em Sistemas com Geração Distribuída

## QUALIDADE DE ENERGIA NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA - CASO DE USINA A BIOMASSA

GIORGINA PINHEIRO (*)	MARCUS V NUNES	GONÇALO RENDEIRO	JOÃO T PINHO
UFPA	UFPA	UFPA	UFPA

### RESUMO

Este trabalho apresenta aspectos relativos à conexão de geração distribuída à rede e seus impactos em índices de qualidade de energia (nível de tensão, duração e frequência de interrupção), em especial o caso do potencial de geração distribuída representada por usinas térmicas a biomassa, constituída por resíduos, no Estado do Pará. Como exemplo, é apresentado o caso de um dos Municípios do Estado, cujo potencial de geração a biomassa de resíduos é significativo em relação à demanda local.

### PALAVRAS-CHAVE

Usinas a biomassa, geração distribuída, qualidade de energia, resíduos.

### 1.0 INTRODUÇÃO

A biomassa constituída de resíduos resultantes de processos industriais é uma das alternativas de combustível que podem ser utilizadas para geração de energia com fontes e/ou tecnologias não convencionais

No Estado do Pará se processa em torno de 10,8 milhões de metros cúbicos de madeira por ano [6]. Os resíduos gerados podem ser utilizados em usinas de energia, especialmente em plantas que operam com ciclo Rankine (ciclo a vapor), tendo em vista que esta tecnologia já está consolidada e encontra-se em estágio comercial. Uma das possíveis formas de aproveitamento deste potencial é através da autoprodução de

energia pelas empresas que geram os resíduos, sendo que parte dessas empresas tem a possibilidade de atuar como “autoprodutor com excedente”, com o montante de energia excedente podendo ser comercializado na figura do Produtor Independente de energia, e injetado no sistema.

Como no caso da geração utilizando biomassa constituída de resíduos o custo de transporte do insumo é bastante crítico para viabilidade de implantação da usina, é desejável a construção da mesma próxima ao local de geração do resíduo.

Em função do porte das usinas que podem ser implantadas na região conforme os critérios expostos, as mesmas devem atuar em esquema de geração distribuída.

Com a conexão de geração distribuída espera-se a ocorrência de impactos positivos na região da rede onde a mesma localiza-se, como suporte de tensão, possibilidade de alívio para atendimento de carga local, manutenção dos níveis de tensão em um alimentador quando há restrições devido a um período de ponta de carga, além daqueles relativos ao planejamento, como redução de custos com transporte de energia e possibilidade de adiar investimentos de expansão no sistema de distribuição. A princípio, estes impactos são esperados, tendo em vista a proximidade da “geração distribuída” ao centro de carga, suprimindo o consumo independentemente das estruturas de transmissão, evitando o transporte de energia por longas distâncias, situação comum no Brasil uma vez que a fonte primária é predominantemente hídrica de grande porte, situando-se em locais remotos. Em última análise, estes aspectos vão causar impactos também nos índices de qualidade de energia

<sup>1</sup> Rua Augusto Correa, N° 1, 66075-900, Tel/Fax: (091) 31831299

impostos às distribuidoras, como o DEC e FEC, sendo interessante a sua consideração no planejamento de implantação dessas usinas em um determinado Município, especialmente quando a energia produzida pelos geradores locais for significativa em relação à demanda de uma determinada área.

Considerando a disposição geográfica dos potenciais produtores independentes de energia utilizando biomassa, em alguns Municípios do Estado a geração distribuída seria considerável em relação à demanda local.

Neste trabalho foi identificado um dos Municípios do Estado do Pará, onde a quantidade de geração distribuída oriunda de plantas de geração a biomassa seria considerável. São apresentados aspectos relevantes relativos aos impactos nos índices de qualidade de energia na rede de distribuição onde a geração distribuída pode ser conectada, considerando que duas condições podem ser propostas para o aproveitamento dos resíduos das empresas:

- Implantação e conexão de uma usina em cada empresa produtora de resíduos;
- Implantação e conexão de uma usina com potência instalada maior, com geração utilizando os resíduos de todas as empresas.

## 2.0 POTENCIAL DE GERAÇÃO

As informações quanto ao quantitativo de resíduos gerados e potencial de geração, apresentadas neste trabalho, são oriundas de levantamento realizado como parte de um projeto de pesquisa executado em conjunto pelas Centrais Elétricas do Pará S/A e a Universidade Federal do Pará.

O levantamento mostrou que a maior parte das empresas, que geram resíduos em quantidade suficiente para suprir uma usina de geração, pertencem ao setor madeireiro [7].

O potencial de geração foi estimado com base no volume de resíduos gerado pelas empresas, cujo valor foi informado por representantes das mesmas, durante o levantamento de campo, realizado no ano de 2004 [7].

Nas Tabelas 1 e 2 são indicadas as características típicas adotadas para a biomassa e para os equipamentos, utilizadas no cálculo do potencial por empresa levantada.

O potencial de geração com biomassa proveniente de resíduos indicou a possibilidade de instalação de 118,45 MW no Estado.

Tabela 2: Características gerais adotadas para os equipamentos

EQUIPAMENTO	PARÂMETRO	VALOR ADOTADO
Caldeira	Eficiência	85%
	Pressão de Saída	21 $\text{kgf/cm}^2$
	Temperatura de Saída	213,9 °C
Turbina a Vapor	Eficiência	35%
	Consumo Específico	10 $\text{kg}_{\text{vapor}}/\text{kWh}$
Gerador	Eficiência	95%
	Tipo	Gerador síncrono

Em média as empresas levantadas apresentaram individualmente potencial na faixa de 250 kW a 500 kW. As empresas geradoras de resíduos localizam-se normalmente próximas às sedes dos Municípios, distribuídas ao longo de alguma rodovia. Como é observado na Figura 1.

Estas características justificam a entrada deste potencial como geração distribuída.

## 3.0 ASPECTOS DE CONEXÃO À REDE

No tocante aos equipamentos de interligação, no caso de produtores independentes, que têm uma determinada demanda máxima de potência atendida pela concessionária e que passa a ser atendida internamente, pode-se dizer que, enquanto a potência gerada for menor do que duas vezes a sua demanda máxima, os seus equipamentos de interligação podem ser considerados adequados (sob o ponto de vista de carregamento) [1]. Isto porque que se a geração própria atingir o valor da demanda, nenhum fluxo ocorrerá no sentido da concessionária para a empresa, de modo que os equipamentos de interligação trabalharão praticamente em vazio.

No caso de uma geração maior que a demanda, mas menor que duas vezes o seu valor, tem-se um fluxo no sentido da concessionária que terá, no máximo, um valor igual ao da demanda.

Assim, pode-se considerar que os equipamentos estarão adequados, pois haverá apenas uma inversão do fluxo de potência, mas em valores em que o fluxo de potência já ocorria anteriormente à geração própria [1].

Tabela 1: Características Típicas da Biomassa Utilizada [8]

BIOMASSA	PCI (kcal/kg)	DENSIDADE A GRANEL ( $\text{kg/m}^3$ )	ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA			
			UMIDADE (%)	TEOR DE VOLÁTEIS (%)	TEOR DE CINZAS (%)	TEOR DE CARBONO FIXO (%)
Serragem de madeira	3.000	200	20	80	1	19

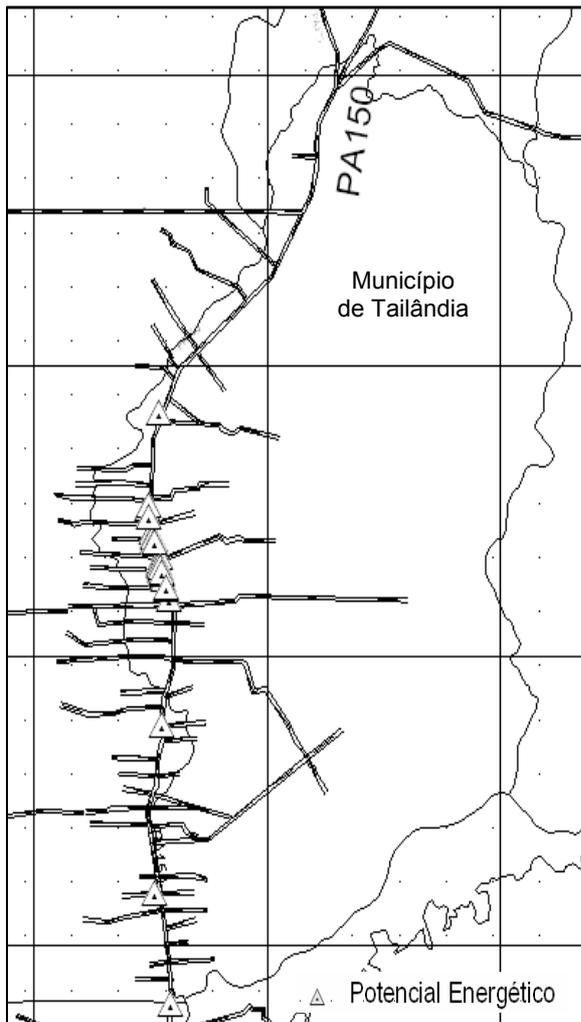


Figura 1: Disposição geográfica dos geradores no Município de Tailândia

Assim, pode-se considerar que os equipamentos estarão adequados, pois haverá apenas uma inversão do fluxo de potência, mas em valores em que o fluxo de potência já ocorria anteriormente à geração própria [1].

Para o levantamento apresentado neste trabalho, considerando o potencial dos geradores de resíduos individualmente, para entrada dos mesmos como produtor independente, tem-se a conexão de geradores com potência instalada até 500 kW em 13,8 kV, em diversos casos havendo possibilidade de utilização das instalações de conexão existentes.

#### 4.0 ASPECTOS DE QUALIDADE DE ENERGIA

Alguns aspectos relativos à influência de geração distribuída nos índices de qualidade praticados no setor elétrico brasileiro são comentados a seguir.

#### 4.1 Confiabilidade do sistema

O efeito da presença de geração distribuída nos índices de confiabilidade é observado pela possibilidade da mesma suprir toda ou parte da carga interrompida na indisponibilidade da alimentação principal, em decorrência de alguma falta no sistema.

A ocorrência de uma falha provoca a atuação dos dispositivos de proteção do sistema principal e também da geração distribuída, caso esteja em operação, e esta também é isolada. Nesse instante, pode-se analisar a possibilidade de retornar à geração distribuída, e alimentar as cargas que foram desligadas e estão em seu campo de atuação. Dessa forma, com a entrada desta geração, há melhoria significativa nos índices relacionados a tempo de indisponibilidade, como o DEC, devido ao suprimento de parte da carga pela geração distribuída enquanto a geração principal está sendo reparada. Nos índices de confiabilidade relacionados à frequência de falha não são esperadas melhorias tão significativas, uma vez que os sistemas de proteção retiram também a geração distribuída [2], porém os índices de frequência que contabilizam desligamentos programados, como o FEC, terão um desempenho melhor nos meses em que houver desligamentos programados.

#### 4.2 Conformidade do fornecimento

Entende-se por conformidade do produto energia elétrica, a ausência de diferenças entre a tensão entregue ao consumidor e aquela com amplitude especificada, frequência nominal e forma senoidal [4].

A geração descentralizada representada por usinas térmicas contribui para a melhoria dos índices de conformidade, uma vez que injeta energia elétrica dentro dos padrões de amplitude especificada, nas proximidades da área de consumo, "fortalecendo" a capacidade do sistema em absorver as distorções ocasionadas pela operação inadequada de equipamentos da rede ou dos consumidores. Em função de estar perto da carga há melhor controle do perfil de tensão.

Em [2] são apresentados resultados de simulações dos índices de confiabilidade obtidos com a entrada de geração distribuída (com potências na faixa de 3 a 5 MW e nível de tensão 13,8 kV) em um alimentador da rede de distribuição. Os valores obtidos para o DEC foram reduzidos em função do suprimento de parte da carga pela geração descentralizada. Nesse

mesmo trabalho os resultados indicaram melhora no perfil de tensão do sistema.

Em [5] é simulado o acréscimo de geração de 5 MW em um alimentador em nível de tensão de 13,8 kV, e os resultados indicam melhora do perfil de tensão.

## 5.0 CASO CONSIDERADO

A fim de exemplificar a entrada na rede de distribuição de geração conforme as condições descritas, serão apresentados os dados levantados para o caso específico do Município de Tailândia, que possui potencial de implantação de geração distribuída via usina térmica a biomassa. Neste caso, o potencial de geração levantado foi considerável em relação à demanda no Município.

Em [3] é proposto o conceito de grau de penetração da geração distribuída (GP), conforme a Equação 1:

$$GP (\%) = \frac{PG}{P + PG} \times 100 \quad (1)$$

onde:

**P** - carga suprida por geração externa;

**PG** - nova carga, suprida por geração local.

Podemos considerar este valor um indicador da relevância da geração distribuída em relação à demanda do alimentador, região ou área que está sendo suprida pela mesma (geradores locais).

A figura 2 apresenta o perfil de carga do dia 15/04/05, que é tomada como referência para obtenção de um valor para o grau de penetração. Considerando que a demanda máxima foi de 8,09 MW, e o potencial levantado no Município foi de 6,305 MW (geração local com possibilidade suprir parte das cargas), estimou-se um grau de penetração de 78%, considerando a utilização de toda a geração local para atendimento às cargas, nos horários de demanda máxima.

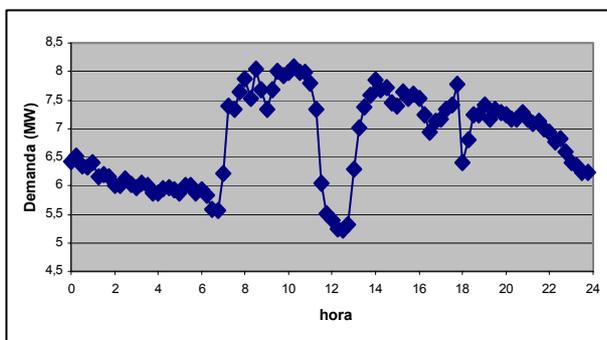


Figura 2: Perfil de carga

Os aspectos acerca do impacto desta geração distribuída nos índices de confiabilidade e conformidade adotados na operação do sistema elétrico brasileiro comentados na seção anterior, serão considerados a seguir.

A Tabela 3 apresenta um resumo do levantamento de potencial para o Município de Tailândia. O valor do volume de resíduos apresentado está diminuído do volume de resíduos utilizado pelas empresas para geração de calor para o processo industrial. Observa-se que se as empresas forem consideradas individualmente como geradoras, haverá quantidade significativa de usinas com pequenas potências (no máximo 419 kW), e com apenas um gerador.

Em função da grande penetração da geração distribuída os índices relativos à duração de interrupções seriam melhorados quando a falha ocorresse na fonte principal, bem como os de

Tabela 3: Dados de Potencial de Geração

№ EMPRESA	VOL. TOTAL DE RESÍDUO(m³/ANO) MÉDIA	ENERGIA GERADA(kW)
1	16200	150
2	30375	281
3	28215	261
4	25704	238
5	12150	113
6	16200	150
7	35437,5	328
8	33750	313
9	18900	175
10	27000	250
11	23760	220
12	19800	183
13	27000	250
14	13500	125
15	19800	183
16	51840	480
17	25650	238
18	20250	188
19	4275	40
20	27000	250
21	34875	323
22	9641,25	89
23	32400	300
24	8437,5	78
25	27900	258
26	12600	117
27	24300	225
28	27000	250
29	27000	250
		6305

freqüência nos meses em que houvessem desligamentos programados. Pelo fato dos geradores estarem conectados de forma

distribuída na rede do Município haveria maior flexibilidade nos desligamentos programados e na manutenção do fornecimento em algumas áreas quando da ocorrência de falhas. O período de parada para manutenção das unidades geradoras causaria impacto negativo menor nos índices de qualidade em função da pequena potência. A princípio, a baixa potência instalada permitiria também que parte desses geradores utilizasse as instalações de conexão existentes; porém, vale ressaltar que nos estudos realizados em [5] para entrada de geração distribuída em sistemas de distribuição as simulações de curto-circuito indicaram que geradores com potência muito pequena, devido à pequena inércia do rotor, poderiam apresentar sérios problemas de estabilidade transitória para o sistema, sendo que o custo do sistema de proteção necessário para que os consumidores tivessem a confiabilidade adequada poderia ser excessivo. Observa-se que este tipo de alternativa apresenta fatores limitantes em outros aspectos além da qualidade do suprimento, como maior complexidade no despacho, e aumento do valor do MW instalado em função do menor porte das unidades geradoras.

Considerando a construção de uma usina com potência garantida pela biomassa gerada no Município, seria possível uma potência instalada em torno de 6,3 MW, injetada em um único ponto da rede; esta usina permitiria melhorar os índices de confiabilidade, assim como o perfil de tensão na área de atuação.

Neste caso o impacto da parada das unidades geradoras para realização de manutenção seria maior.

Aspectos relativos à logística de aquisição da biomassa pelo produtor independente podem ocasionar aumento do custo de operação neste tipo de alternativa.

## 6.0 CONCLUSÕES

No Estado do Pará existe um potencial considerável de geração de energia representado pela utilização de biomassa de resíduos.

Este potencial encontra-se “pulverizado” nas diversas empresas geradoras de resíduos com potencial de geração individual na faixa de 300 kW na maioria dos casos.

Avaliando individualmente os Municípios com produtores independentes em potencial, observa-se em muitos casos penetração considerável desse tipo de geração em relação à demanda local, fato que possibilita melhoria na qualidade de energia caso sejam implantadas usinas térmicas utilizando a biomassa disponível. A

implantação de usina de maior porte utilizando todo resíduo disponível na região, reduz problemas de despacho de carga, e estabilidade presente em uma alternativa com usinas de potência menor, porém aumentam as dificuldades em reunir a biomassa para utilização por um único produtor independente.

## 7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] BRIGHENTI, C. R. F. Integração do cogenerador de energia do setor sucroalcooleiro com o sistema elétrico. 2003. 166 pp. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

[2] CARMEM, L. T.; et al. Análise do impacto e dimensão da geração distribuída na confiabilidade, perdas elétricas e perfil de tensão de redes de distribuição. Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica, vol.2, 2003, Salvador. Brasília: ANEEL, 2003. pp. 291-296.

[3] GOMES, P.; et al. Geração distribuída: vantagens, problemas e perspectivas. In: Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, 16, 1999, Foz do Iguaçu.

[4] GOUVÊA, M. R. Geração descentralizada e qualidade de fornecimento de energia elétrica. In: MIOTO, J. A. et al. Usinas termelétricas de pequeno porte no estado de São Paulo. São Paulo: Páginas & Letras Editora e Gráfica. 2001. p. 371 – 376.

[5] SPIER, E. B.; et al. Avaliação da conexão de produtores independentes em alimentadores radiais de sistemas de distribuição. In: VIII Simpósio de Especialistas em Planejamento da Operação e Expansão Elétrica, 8, 2002.

[6] VERÍSSIMO, A.; et al. Pólos Madeireiros do Estado do Pará, Belém: Imazon, 2002. 74p.

[7] Relatório Técnico de Acompanhamento. Projeto de P&D Estudo de Viabilidade Técnica e Econômica do Potencial de Biomassa Disponível no Estado do Pará para Geração de Energia Elétrica Utilizando os Resíduos da Indústria Madeireira, do Alumínio e Agroindústria. Belém, junho de 2004.

[8] PINHEIRO, G.; RENDEIRO, G.; PINHO J. Resíduos do Setor Madeireiro: Aproveitamento Energético. Biomassa & Energia, v. 1, n. 2, p. 199-208, 2004.