



GRUPO VII
PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ELÉTRICOS (GPL)

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA: VANTAGENS, PROBLEMAS E PERSPECTIVAS

P. Gomes *	M. Th. Schilling	J. W. Marangon Lima	N. Martins
ONS / UERJ / PSQ	Eletrobrás / UFF	EFEI / ANEEL	Cepel

RESUMO:

Este artigo analisa a influência da incorporação da geração distribuída no desempenho de sistemas elétricos. São discutidos os aspectos relacionados com o aumento deste tipo de produção de energia em relação ao total de geração no suprimento a um dado sistema. A título de ilustração são abordadas as particularidades relacionadas à geração distribuída via parque eólico.

PALAVRAS-CHAVE: *geração distribuída, reestruturação de sistemas, geração eólica.*

1.0 - INTRODUÇÃO

Atualmente existe em todo o mundo uma grande pressão da sociedade pela busca do aumento da eficácia dos sistemas elétricos em termos ambientais mais aceitáveis. Este fato, associado ao aumento da competição, já está provocando uma tendência em alguns países, para a intensa utilização do sistema existente ao invés da construção de novos sistemas de transmissão e distribuição. Outra alternativa de grande interesse reside na possibilidade de se aumentar a capacidade dos sistemas já existentes (*recondicionamento*).

Não obstante, novas tecnologias tais como pequenos geradores com turbinas térmicas a gás estão viabilizando soluções economicamente atraentes quando comparadas ao recondicionamento dos sistemas de transmissão e distribuição já disponíveis.

Esta nova abordagem que contempla a utilização de pequenos geradores como também de dispositivos de armazenamento de energia e de estratégias de gerenciamento da demanda dentro do sistema de transmissão representa um novo conceito de operação que tem sido denominado de *geração distribuída*. Neste caso, os recursos são aplicados para a solução dos pontos críticos de carregamento ou da tensão nas redes de subtransmissão e até mesmo distribuição.

No caso da implantação destas pequenas centrais geradoras alguns desafios deverão ser enfrentados tais como: *implantação de esquemas especiais de proteção, interação com o automatismo de distribuição, controle de tensão, despachos de geração*, etc.

Enquanto o número de geradores e o montante de geração for pequeno em relação à carga local, o problema pode ser administrado sem grandes preocupações. Entretanto, diversos problemas são vislumbrados quando a energia produzida por estes geradores for aumentando em relação ao total de geração no suprimento a uma dada área.

Especula-se, por exemplo, que haverá necessidade destes geradores serem equipados com controles para estabilidade. Esta questão gera uma indagação sobre como os mesmos serão representados nos programas de simulação computacional uma vez que ainda não existem modelos apropriados de geração distribuída para as ferramentas tradicionais de

estudos de estabilidade. Nota-se também que os aspectos operacionais do sistema deverão ser reavaliados inclusive no que se refere à comunicação entre estas gerações distribuídas e os centros nacionais de controle.

Este artigo tem por objetivo analisar aspectos relacionados à geração distribuída através de uma comparação entre a abordagem tradicional, aliada à geração concentrada, e a nova abordagem, requerida pela geração distribuída.

2.0 - PERSPECTIVAS DE USO NO BRASIL

No Brasil existem algumas áreas bastante favoráveis a utilização de geração distribuída: a região Nordeste é uma forte candidata no que se refere à utilização da *geração eólica* e o Rio de Janeiro, em função da disponibilidade de *gás natural*. Em diversas localidades a presença de pequenas quedas d'água próximas à comunidades rurais enseja o aproveitamento energético através de *pequenas centrais hidrelétricas (PCH's)*. No Brasil, o uso da *biomassa* e *células solares* também constituem opções a serem consideradas.

Em particular, a facilidade de uso e disponibilidade de gás natural tem provocado grande interesse por tal tipo de geração. Existem muitas indústrias e até conglomerados comerciais que já a adotaram. Grandes condomínios de apartamentos também estão sendo procurados por empresas particulares para este fim.

3.0 - GRAU DE PENETRAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

É conveniente a proposição de um indicador que reflita o grau de penetração da geração distribuída num dado sistema, entendendo-se por geração distribuída a *proporção de carga da demanda do alimentador, região ou área que está sendo suprida por geradores locais*. O *grau de penetração ou difusão* em % (GP) é dado pela Eq.(1):

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

onde:

P - carga suprida por geração externa;

PG - nova carga, suprida por geração local.

4.0 - CONTEXTO ATUAL DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

Atualmente já existe em diversos países experiência com a geração distribuída quando tratada em montantes reduzidos deste tipo de geração. Os problemas locais que apareceram relacionados com aspectos de proteção, controle dos níveis de tensão na rede de distribuição, controle de reativos e interação com o automatismo da distribuição têm sido resolvidos com sucesso.

Entretanto, com o aumento relativo deste tipo de geração, além dos problemas já citados tornarem-se mais complexos, surgirão outras preocupações afetas com o despacho de geração e o armazenamento de energia gerada em algumas condições. Logo, enquanto o número e o montante de geração for pequeno em relação à carga local, o problema pode ser administrado sem grandes preocupações. A medida que o grau de difusão da geração distribuída aumenta surgem algumas perguntas, tais como:

(i) O que poderá acontecer quando a energia produzida por estes geradores for aumentado em relação ao total de geração no suprimento a uma dada área ?

(ii) Estes geradores serão equipados com controles para estabilidade ?

(iii) Com que fator de potência os mesmos irão operar?

(iv) Como os mesmos serão representados nos programas de simulação, dado que ainda não existem modelos apropriados de geração distribuída para as ferramentas tradicionais de estudos de estabilidade ?

(v) Como os aspectos operacionais do sistema interligado deverão ser reavaliados ?

(vi) Haverá necessidade de comunicação entre estas gerações e os centros de controle responsáveis pela transmissão ?

5.0 - NOVOS PROBLEMAS E DESAFIOS

Embora a introdução de novas tecnologias sempre contribua para a solução de problemas importantes, é usual o descortino de novos desafios relativos ao uso dos novos procedimentos. Alguns desses novos problemas são comentados nesta seção.

5.1 - Modelagem local do sistema de distribuição: o sistema de distribuição é normalmente equivalentado, sendo representado por uma carga no ponto de conexão do sistema de transmissão com a distribuição. Não obstante, sabe-se que os geradores e os armazenadores de energia estão "dentro" do sistema de distribuição. *Há portanto, necessidade de representação da distribuição, para se avaliar o impacto da mudança, em termos de localização de geração, na segurança dinâmica do sistema. Essa é uma área virtualmente inexplorada em termos de pesquisa e desenvolvimento.* Assim, sob o ponto de vista das características dos modelos a serem utilizados, serão necessários modelos que traduzam o efeito da geração distribuída, e que sejam de fácil manuseio. Portanto, deverão ser desenvolvidos modelos para agregação das cargas e dos geradores.

A forma mais correta de ataque a esse problema seria a de representar os sistemas de distribuição em detalhes, o que é porém impraticável. Uma outra alternativa seria baseada no uso dos modelos atualmente disponíveis, porém com a inclusão dos efeitos dos transformadores de distribuição e equivalentes rigorosos para as cargas e os geradores.

5.2 - Interação sistêmica em regime dinâmico: se o sistema de distribuição for equivalentado por uma carga, fica imperceptível a interação do mesmo com o sistema externo. Entretanto esse fenômeno é crucial dado que, mesmo nas condições em que o crescimento local da carga seja suprida por geração local adicional, *(onde os fluxos na rede de transmissão em regime permanente não são alterados)*, durante condições transitórias, a geração e a carga adicionais no sistema de distribuição forçosamente interagem com os geradores do sistema interligado, modificando assim o desempenho transitório do sistema como um todo. Este é outro problema praticamente inexplorado e que precisa ser tratado.

6.0 - GERAÇÃO DISTRIBUÍDA VIA PARQUE EÓLICO

Visando ilustrar uma parcela do espectro de novos problemas e desafios que surgem com o advento da geração distribuída os tópicos a seguir apresentam alguns aspectos importantes relacionados à geração eólica, notadamente quando inseridos em sistemas isolados ou em sistemas "fracos".

6.1 - Problemas intrínsecos à fonte primária de energia: a inerente variabilidade do vento constitui um obstáculo a ser levado em conta.

6.2 - Problemas técnicos intrínsecos dos geradores eólicos: em função das condições de vento pode-se observar variações na potência eólica gerada, e até súbitas quedas de produção, que podem durar até alguns segundos. Verificam-se também desligamentos destes aerogeradores quando da ocorrência de curto-circuitos nas proximidades dos parques eólicos. Outro problema relevante é o eventual desligamento dos aerogeradores quando operando próximos da velocidade de "corte" (cut-off).

6.3 - Problemas operacionais: em geral, quanto maior o grau de penetração (vide Eq.1) maior será a dificuldade de estabelecimento do pré-despacho e do despacho das usinas convencionais, em função das flutuações da potência gerada na geração distribuída. Será grande a dificuldades em se prever a potência a ser gerada pelos geradores distribuídos para as próximas horas. No caso eólico esse problema depende do regime de ventos. Identifica-se a necessidade de haver reserva de geração para compensar súbitas e rápidas quedas na geração distribuída, mormente no caso eólico. Em sistemas onde a variação da carga é grande e a variação da velocidade do vento é significativa, será necessário uma reserva compatível nas unidades tradicionais.

São também inevitáveis as dificuldades no controle do perfil de tensão do sistema localizado no entorno da geração distribuída. Em particular, os aerogeradores introduzem problemas de qualidade de tensão e de desempenho dinâmico, devido a natural variação de potência gerada.

Cabe finalmente observar que, a implementação de parques eólicos em sistemas isolados, onde é grande a existência de geradores diesel, poderá provocar a operação destes com baixos níveis de carga, conseqüentemente numa faixa de baixos níveis de rendimento.

6.4 Problemas em regime permanente: a falta de capacidade de regulação dos geradores eólicos assíncronos provocam variações do perfil de tensão. Logo, mesmo que os aerogeradores assíncronos sejam compensados individualmente por compensadores síncronos é comum os mesmos ainda absorverem potência reativa oriunda da rede. Isso pode provocar uma maior atuação da comutação automática dos transformadores com LTC's devido às flutuações da potência eólica gerada e as partidas / paradas dos aerogeradores. O impacto da geração eólica será então função das características da rede ao qual esta geração está conectada, como também da posição das cargas em relação aos locais de geração.

6.5 - Problemas com a qualidade de suprimento: a introdução de parques eólicos em sistemas fracos (baixos níveis de curto-circuito) ou isolados podem causar problemas de cintilação (*flicker*), de excursões no perfil de tensão e nos valores de *freqüência local*. Por outro lado, quando conectados em redes com elevados valores de curto-circuito nos pontos de conexão, não são observados maiores problemas.

6.6 - Problemas dinâmicos sistêmicos: em função do grau de penetração da geração eólica, pode-se observar grandes variações na *freqüência do sistema*. Quando há perturbações em sistemas fracos, os geradores assíncronos podem apresentar redução na excitação durante o período transitório, perdendo a estabilidade e contribuindo para o fenômeno de *estabilidade de tensão*, exigindo portanto a presença de sistemas de proteção da rede ajustados para evitar tais inconvenientes.

Também em sistemas isolados pode-se, em função dos valores de inércias das máquinas convencionais em operação e de suas características de velocidade, verificar o aparecimento de grandes excursões de *freqüência*. Assim, como consequência de quedas da *freqüência* pode-se ter o desligamento de cargas e dos aerogeradores pela proteção contra subfreqüências.

6.7 - Problemas conceituais para integração de aerogeradores no sistema: diversos estudos interessantes decorrem da implementação de parques eólicos. Entre eles cabe citar:

- (i) determinação do valor adequado do grau de penetração (Vide Eq.1) da geração eólica;
- (ii) o tipo, o número, o local e a potência mais adequada para os aerogeradores a instalar no sistema;
- (iii) os alívios e/ou reforços necessários nas redes de transmissão, subtransmissão e distribuição vizinhas ao parque;
- (iv) estudos em regime permanente e em regime dinâmico, contemplando o desligamento dos aerogeradores, a ocorrência de curto-circuitos e variações no montante de geração eólica.

6.8 - Vantagens e benefícios: entre os aspectos positivos que podem decorrer da localização adequada da geração distribuída em geral, e da eólica em particular, devem ser enumerados os seguintes:

- *redução do carregamento das redes e consequente maior flexibilidade operativa;*
- *melhor perfil de tensão;*
- *redução nas perdas.*

6.9 - Áreas de pesquisa e desenvolvimento: os problemas discutidos nas seções precedentes englobam uma pletera de desafios merecedores de atenção, quais sejam:

- *desenvolvimento de modelos apropriados para previsão de geração de potência, a partir de fazendas eólicas;*
- *desenvolvimento de modelos de aerogeradores, com capacidade de reprodução de desempenho dinâmico, desenvolvimento de novas ferramentas computacionais de simulação dinâmica e/ou aprimoramentos / adaptações das ferramentas hoje disponíveis;*
- *implantação de procedimentos de armazenamento energético;*
- *implantação de sistemas de controle de segurança para os aerogeradores usando técnicas de inteligência artificial e contemplando a estratégia ótima de operação.*

7.0 - CONCLUSÕES

Este artigo analisou a influência da incorporação da geração distribuída no desempenho de sistemas elétricos. Foram discutidos os aspectos relacionados com o aumento deste tipo de produção de energia em relação ao total de geração no suprimento a um dado sistema. A título de ilustração foram abordadas as particularidades relacionadas à geração distribuída via parque eólico.

AGRADECIMENTOS:

Este trabalho foi parcialmente viabilizado através do apoio do *CNPq (# 522 849/96-2)*, *FAPERJ (# E-26 /171.060 / 98 APQI)* e do projeto *0626/96-SAGE, FINEP/RECOPE*.

REFERÊNCIAS

- (1) Relatório CHESF - DEFA - EO - RT 002 / 96 ver 1 - "Potencial Eólico no Litoral do Ceará e do RGN para Geração de Energia Elétrica" - Out/96
- (2) E.N. Dialynas, N.D. Hatziairgiroy, N.C. Koskolos, E.S. Karapidakis - "Effect of High Wind Power Penetration on the Reliability and Security of Isolated Power Systems" - Paper 38.302 - 1998 Cigré Biental Session 30th August - 5th September 1998
- (3) J.K. Jensen, A.G. Sorensen - "Large Offshore Wind Farms" - Paper 38 - 304 Cigré Biental Session - 30th August - 5th September/ 1998
- (4) M.K. Donnelly, J.E. Dayle, D.J. Trudnowoki, G.J. Rogers "Impacts of the Distributed Utility on Transmission System Stability IEEE/PES Summer Meeting, July 23-27, 1995 - Portland, OR.
- (5) J.F. Christensen, A.G. Sorensen, N. Hatziairgyron, M. Donnelly "Methods and Models for Evaluating the Impact of Decentralized Generation" Paper 38.301-1998 Cigré Biental Session - 30th August - 5th September/1998.
- (6) Grabriël Clemend, M. Fipper, H.J. Haubrich - Institute of Power System and Power Economic - Aachen University of Technology, Germany , 1998 "Influence of Large Disperse Generation Units on the Needed Redundancy in Distribution Network"
- (7) J.A. Peças Lopes "Operação de Redes Isoladas com grande nível de penetração da geração eólica" - ELAB-98 - Mindelo - Republica de Cabo Verde .

BIOGRAFIAS

Paulo Gomes é *Engenheiro Eletricista* (UERJ, 1973), *M.Sc.* (EFEI, 1976), *MBA-CEADE* (FGV, 1995). Desenvolve seu *Doutoramento* na EFEI com término previsto para o ano 1999. Trabalhou durante 23 anos na *Eletrobrás* onde foi *Coordenador do GTAD/GCOI e Chefe da Divisão de Desenvolvimento Tecnológico da Operação Elétrica (DOLT)*. É atualmente *Professor Assistente da UERJ, Professor Titular da USU, Diretor da PSQ e Consultor do ONS*. É *Membro ativo da CIGRÉ*.

Marcus Th. Schilling é *Engenheiro Eletrotécnico* (PUC/RJ, 1974), *M.Sc.* (COPPE/UFRJ, 1979), *D.Sc.* (COPPE/UFRJ, 1985) e *P. Eng.* (Ontario, Canadá, 1988). Trabalha há 25 anos no setor elétrico (Brasil, Alemanha, Canadá) e foi *Coordenador do Subgrupo de Confiabilidade (SCG/GCPS)*. É atualmente *Chefe da Divisão de Estudos Elétricos (DOEL) na Eletrobrás e Professor Titular da Universidade Federal Fluminense*. É *Membro Senior do IEEE e Membro ativo da CIGRÉ*.

José Wanderley Marangon Lima é *Engenheiro Eletricista* (IME, 1979), *M. Sc.* (EFEI, 1990), *D.Sc.* (COPPE/UFRJ, 1994). Trabalhou 13 anos na *Eletrobrás*. É atualmente *Professor Titular na EFEI e Assessor da ANEEL*. É *Membro Senior do IEEE*.

Nelson Martins é *Engenheiro Eletricista* (UnB, 1972), *M.Sc.* (UMIST, 1974), *Ph.D.* (UMIST, 1978). Trabalha há 21 anos no *CEPEL* como *Pesquisador Senior*, onde desenvolve pesquisa pioneira na área de modelagem dinâmica de sistemas de potência. É atuante na *CIGRÉ e "Fellow" do IEEE*.