

# O Uso da Energia Eólica para Geração de Eletricidade no Brasil

Julio Dolce(\*)

Vanessa Reich(\* \*)

## Resumo

Este artigo faz uma análise dos meios empregados para incorporar o uso da energia eólica na matriz energética brasileira, visando o aproveitamento dessa fonte renovável de energia na geração de energia elétrica. Serão estudadas as atuais condições do potencial de energia eólica no mundo, em especial no mercado europeu onde a energia eólica tem contribuído de forma significativa para a geração de energia elétrica. Serão apresentadas as novas propostas do governo brasileiro no que diz respeito a fontes renováveis de energia e como a energia eólica se situa no cenário atual com vistas à implantação dessa indústria no Brasil.

## Introdução

A energia eólica é a fonte de energia renovável para geração de eletricidade que mais cresceu na última década, em todo mundo. No Brasil, também aumenta o interesse em sua utilização, principalmente por ser uma fonte limpa e inesgotável de energia. Os negócios que vão desde o preparo das cartas de vento, a pesquisa, o desenvolvimento industrial, a fabricação de equipamentos, a instalação e o gerenciamento desses sistemas vêm despontando, neste início de século, como uma das mais promissoras atividades econômicas no setor de geração de energia elétrica.

A produção de eletricidade a partir dos ventos possui grandes vantagens tanto econômicas quanto ambientais. A energia eólica torna-se competitiva com os combustíveis fósseis (óleo, gás e carvão) por não produzir emissões poluentes e até mesmo com a energia nuclear, especialmente quando se levam em conta os custos de descomissionamento de uma central nuclear, que devido aos cuidados com os resíduos radioativos podem chegar quase ao mesmo valor gasto na construção da usina. No caso de uma central eólica, quando o sistema ficar obsoleto, basta substituí-lo por outro mais moderno. Acrescente-se que o custo para geração de eletricidade através da energia eólica vem caindo com as recentes inovações

tecnológicas do setor, enquanto que a energia produzida pelas fontes derivadas do petróleo está se tornando cada vez mais cara, principalmente no Brasil que possui reservas de óleo pesado que necessita maior investimento em seu refino.

Os EUA e países como Dinamarca, Alemanha e Espanha são líderes no emprego de geração de energia elétrica pela força dos ventos e por isso mesmo são os que apresentaram o maior desenvolvimento tecnológico nesse setor, nos últimos anos. No Brasil, levantamentos recentes realizados por diversas empresas e universidades mostram que o potencial de energia eólica do Brasil é muito maior que o da Europa. Os ventos litorâneos são fortes e estáveis além de estarem próximos aos centros consumidores e serem complementares ao ciclo de chuvas nessas regiões. Desse modo, as grandes fazendas de geração de eletricidade pela força dos ventos poderão trabalhar em complementaridade ao sistema das centrais hidroelétricas existentes.

Com um breve estudo sobre a situação desses países será possível entender as condições que conduziram aqueles países à situação de liderança no setor de aeroeletricidade, procurando demonstrar a viabilidade técnica e econômica da utilização das forças dos ventos para geração de energia elétrica no Brasil.

### **O mercado de energia eólica no mundo**

O uso da energia eólica já atinge uma potência instalada superior a 24000 MW, em todo o mundo. Somente durante o ano de 2001, foram instalados cerca de 6500 MW, dos quais 2600 MW apenas na Alemanha e 1700 MW nos EUA. Os países europeus, em conjunto, respondem por mais de 70% da potência global instalada. Alemanha, Dinamarca e Espanha estão demonstrando que a energia eólica pode, com segurança, suprir de 10% a 25% da demanda de eletricidade de uma região. Fora esses países, apenas a Índia se situa entre aqueles que já possuem mais de 1000 MW de potência eólica instalada, mas espera-se que também o Brasil e a Grã-Bretanha atinjam esse patamar em breve.



Na Europa, a instalação de novas unidades geradoras de eletricidade por fonte eólica tem crescido a taxa de 40% nos últimos oito anos, estimulada por políticas governamentais que permitem à energia eólica competir em condições de igualdade com as tecnologias tradicionais de geração elétrica, devendo atingir uma potência instalada de 33 GW ao final de

2005 e de 60 MW até 2010, segundo a Associação de Energia Eólica Européia.

Esse crescimento, principalmente, nos três países líderes do setor na Europa como Alemanha, Dinamarca e Espanha, reflete o sucesso da política energética adotada por seus governos. De uma maneira geral a liberalização do setor elétrico em toda Europa tem tido grande influência na adoção de políticas para utilização econômica de várias fontes renováveis de energia, que já atingiu um patamar superior a 30% da potência total instalada.

A indústria de energia eólica compete com as empresas de energia que empregam combustíveis fósseis poluentes ou combustível nuclear radioativo que não pagam pelos estragos ambientais que produzem. O preço da energia elétrica não reflete o custo social e ambiental das diferentes formas de geração o que acaba por penalizar promissoras fontes renováveis de energia, como a eólica, que tem que se firmar num mercado onde as outras tecnologias se estabeleceram no passado sem qualquer competição. Finalmente, a percepção mundial de que as mudanças climáticas podem atingir patamares catastróficos com o uso indiscriminado de combustíveis fósseis tem levado muitos governos a apoiarem o emprego de fontes renováveis de energia para tentar minimizar esse problema.

### **Dinamarca**

Para ajudar as empresas interessadas no planejamento de usinas elétricas empregando turbinas eólicas o governo da Dinamarca, há mais de dez anos, vem atualizando um mapa de ventos com estimativas da velocidade e direção dos ventos naquele país. A partir de 1998, esse mapa passou a ser produzido através de um novo e avançado método digital desenvolvido pela "Riso National Laboratory" que permitiu maior detalhamento e uma análise automática em células de um hectare. Esse sistema permite localizar a maior parte das turbinas de vento existentes na Dinamarca e coletar mensalmente dados de milhares delas.

Na Dinamarca as turbinas de vento não são exclusividade das grandes companhias de eletricidade. Outras companhias, cooperativas e até indivíduos possuem e operam turbinas de vento desde que residam na localidade ou nas proximidades das instalações. Esses empreendimentos municipais recebem incentivos fiscais quando vendem a produção excedente ao sistema nacional de eletricidade. Além disso, as turbinas de vento são consideradas, para efeito de taxaço, como investimento em máquinas o que permite uma depreciação de 30% do seu valor no balanço anual das empresas. Esse tratamento especial se deve ao fato de que na

Dinamarca as companhias de eletricidade são empresas sem fins lucrativos.

### **A indústria dinamarquesa de turbinas eólicas**

Todas as turbinas de vento dinamarquesas foram construídas pelas cinco empresas locais que se situam entre as maiores do mundo: NEG-Micon, Vestas Wind System, Bonus Energy, Nordex e Win World. As três primeiras juntas representam 50% da produção mundial de turbinas eólicas e a indústria I.M. Glasfiber é o maior fabricante do mundo de lâminas para a hélice do rotor e controladores eletrônicos de potência. A forte competição no mercado dinamarquês e as severas restrições quanto à segurança afastam os fabricantes estrangeiros das concorrências locais.

Quando em 1980 a Califórnia partiu para utilização de turbinas eólicas em grande escala a Dinamarca já possuía uma indústria com larga experiência no setor e por isso foi a preferida pelos investidores americanos ficando os dinamarqueses com metade daquele mercado.

Hoje a Dinamarca é auto-suficiente no projeto, fabricação, instalação e operação de turbinas eólicas. Possui 60% da capacidade mundial de manufatura no setor e exporta 70% de sua produção. Gera mais de dois mil empregos diretos e outros mil nas fábricas de componentes e serviços, além de criar, no exterior, mais de cinco mil empregos em empresas licenciadas e assessoria técnica.

### **O projeto dinamarquês**

A vantagem competitiva que inicialmente os dinamarqueses mostraram na Califórnia produziu novo avanço tecnológico à medida que os projetos evoluíram nos EUA. O resultado foi que o chamado “projeto dinamarquês”, com suas robustas e confiáveis turbinas de três lâminas e eixo horizontal agora numa nova e mais refinada versão acabou dominando o mercado internacional, apesar das revolucionárias inovações apresentadas por outras empresas, quase sempre sem sucesso. A última companhia de turbinas de eixo vertical (Flowind) faliu em 1998 e os outros fabricantes de turbinas de eixo horizontal com duas lâminas (WEG, Nedwind e Lagerwey) acabaram por se render ao projeto dinamarquês de três lâminas. Hoje cerca de 80% das turbinas em uso no mundo são de eixo horizontal com três lâminas.

Entretanto, o sucesso que o modelo dinamarquês conseguiu nos EUA não é fácil de ser repetido em outras partes do mundo. Hoje em dia, os mercados são mais competitivos e naquela época os dinamarqueses tinham a tecnologia certa no momento em que os americanos precisavam dela. Para o Brasil, começar do zero fica

muito difícil e certamente teremos que nos valer das tecnologias já existentes em outras partes do mundo procurando adaptá-las ao nosso clima e às características próprias de investimentos do setor energético brasileiro. Em outros países, as empresas têm optado por se associarem com as empresas dinamarquesas para transferência de tecnologia e desenvolvimento de uma indústria local por licenciamento de produtos que já se mostraram seguros e economicamente viáveis.

Uma outra razão do sucesso do modelo dinamarquês, além da própria tecnologia, foi o fato de que 80% da potência instalada em turbinas eólicas na Dinamarca pertencerem a cooperativas de produtores ou a indivíduos. Mais de cem mil famílias são donas de cotas em usinas locais e cerca de duas mil turbinas são propriedade de pessoas físicas. Tais empreendimentos se constituem em verdadeiras “fazendas de energia” de onde essas pessoas retiram seu sustento.

Ao contrário dos demais países, a Dinamarca não financiou os primeiros empreendimentos com dinheiro público. As crises de petróleo que abalaram o mundo, a discussão sobre a segurança da energia nuclear e, sobretudo as garantias de um suprimento confiável de energia elétrica fizeram com que os investimentos privados para pequenas turbinas locais representassem um papel muito importante no início do processo. Somente mais tarde, o governo dinamarquês e a União Européia passaram a financiar um significativo número de projetos básicos de pesquisa e apoiar a instalação de grandes empreendimentos.

Com o investimento público surgiu a necessidade um laboratório central que aprovasse os projetos. Desse modo, a “Riso National Laboratory”, cujo objetivo inicial era o de realizar pesquisas em energia nuclear, recebeu a incumbência de pesquisar, testar e certificar as turbinas eólicas. Tal procedimento se mostrou extremamente útil na medida que obrigou os fabricantes a melhorarem a qualidade de seus produtos e a retirar do mercado turbinas de pouca confiabilidade. As rígidas normas de testes das lâminas do rotor e os severos requisitos de segurança para instalação das turbinas eólicas estabelecidos pelo laboratório Riso salvaram a indústria dinamarquesa dos desastres que aconteceram com equipamentos de fabricantes estrangeiros, no início daquela época. Na verdade, esse foi um dos motivos do grande sucesso do modelo dinamarquês.

O laboratório Riso desde aquela época se desenvolveu até se tornar no mais importante instituto de pesquisas tecnológicas de turbinas e de levantamento dos recursos do potencial eólico em todo o mundo. Paralelamente, o Instituto de Dinâmica dos Fluidos da Universidade Tecnológica da Dinamarca desenvolveu uma importante ferramenta computacional para análise da aeroelasticidade nas turbinas eólicas que serve de modelo para várias empresas em todo mundo.

Apesar disso tudo, a política ambiental da Dinamarca parece ter mudado recentemente. Embora até o ano de 2003 o mercado para turbinas eólicas ainda

estivesse fortemente protegido contra seus competidores, as tarifas para energia eólica estão menos interessantes do que anteriormente o que tem influenciado novos desenvolvimentos.

### **Alemanha**

A Alemanha de uma maneira geral tem uma velocidade modesta de ventos da ordem de 4 m/s a 10 m/s, com exceção na costa setentrional e no interior, em regiões de elevada altitude, além de uma importante região ao longo do Mar do Norte e da costa báltica. Apesar disso, a Alemanha possui mais de 14 MW de potência eólica instalada respondendo por 6% do total de energia elétrica gerada, o que representa 36% de toda energia eólica gerada no mundo. Para se ter uma idéia desse mercado, somente na primeira metade de 2003, mais de quinhentas turbinas foram instaladas na Alemanha, aumentando a potência em mais de 800 MW.

Tanto o governo federal como os estaduais tem oferecido suporte financeiro para investimentos em turbinas eólicas. O maior incentivo até agora tem vindo do governo federal com apoio ao chamado Programa 250 MW que começou em 1990, originalmente com uma meta de 100 MW logo suplantada no primeiro ano de sua existência. Além disso, mais de sessenta projetos foram apoiados pelo Ministério da Economia e outros tantos pelos próprios governos estaduais. Como consequência do Programa 100/250 MW o governo alemão obrigou os fabricantes e usuários a fazerem relatórios periódicos sobre a confiabilidade dos equipamentos instalados, as condições dos ventos e a produção de energia, gerando uma massa de dados estatísticos anuais de grande utilidade para futuros projetos.

Em muitos aspectos essa coleta de dados é muito semelhante àquela da Dinamarca que como a Alemanha possuiu uma longa tradição de livre comércio que não privilegia a indústria local, assim a comparação dos dados entre os dois sistemas permitiu uma maior transparência e melhoria de projeto nos dois países.

O programa alemão se desenvolveu a partir do mercado interno, mas logo em seguida foram feitos investimentos em pesquisa e desenvolvimento para promover o uso da energia eólica nos países em desenvolvimento, o que resultou num incremento da produção alemã de equipamentos.

Ao contrário da política de longo prazo da Dinamarca, a Alemanha não tem uma política oficial para energia renovável. Entretanto, indiretamente faz um grande esforço nessa direção quando apóia fortemente a redução de 25% de emissão de CO<sub>2</sub> até 2005, acenando com incentivos para empresas que passem a adotar fontes de energia que não agridam o meio ambiente. O governo alemão garante um preço mínimo de até 90% do preço médio praticado no

mercado de energia elétrica para os produtores de energia elétrica seja de fonte eólica ou solar.

Como as tarifas de energia elétrica, de uma maneira geral são muito altas na Alemanha, esses preços são mais do que suficientes para tornar rentáveis as usinas de energia eólica, principalmente nas regiões costeiras onde os ventos são mais fortes, entretanto algumas regiões no interior de ventos mais fracos ainda necessitam algum tipo de subsídio para funcionarem. Embora a legislação tributária trate os investimentos em energia como investimento na produção, permitindo altas depreciações dos ativos nos primeiros anos, ao contrário da Dinamarca, na Alemanha os produtores de energia eólica devem pagar pelos custos adicionais necessários à ampliação da rede de transmissão e distribuição.

Os fundos para financiamento da agricultura oferecem juros baixos para investimentos e podem financiar até 90% dos custos de instalação de uma fazenda de energia eólica, pequenas usinas hidroelétricas ou que empreguem gases de aterros sanitários ou biomassa de uma maneira geral. Esse esquema se mostrou muito útil para facilitar o investimento em energia renovável, atraindo capitais da ordem de dois bilhões de dólares em apenas sete anos.

Atualmente, as companhias alemãs estão planejando instalar enormes usinas no mar, a 45 km da costa, com o dobro do tamanho das atuais turbinas para aproveitar as melhores condições de vento, só que esse aproveitamento está dois anos atrasado devido a questões ambientais. Apesar disso tudo, os especialistas crêem que em dez anos a energia eólica estará abastecendo cinquenta milhões de pessoas na Europa, o que representará uma enorme contribuição para a redução de CO<sub>2</sub>, de acordo com os objetivos estabelecidos pelo protocolo de Kyoto.

### **As companhias elétricas alemãs**

As grandes companhias alemãs de eletricidade não gostam da obrigação de comprar a energia gerada pelas fazendas eólicas por um preço que elas consideram excessivo, alegando que os custos da política ambientais não fazem parte do privilegio monopolista concedido há mais de cinquenta anos. Entretanto, apesar de terem tentado em vão mudar essa situação a seu favor, a nova lei de eletricidade alemã colocou um fim ao monopólio dessas empresas e claramente expressa em seu preâmbulo que a proteção ambiental é um dos três pilares que sustentam a política de eletricidade alemã.

A lei que regulamenta a política energética da Alemanha determina que as companhias de eletricidade adquiram até 5% do total em energia renovável ao mesmo tempo em que permite que elas repassem os custos extras com aquisição dessa parcela às companhias de distribuição. Essa cláusula até hoje nunca foi exercida.

Como consequência direta da política de energia renovável na Alemanha mais de 90% das turbinas eólicas instaladas pertencem e são operadas por cooperativas, fazendas de energia ou investidores privados porque ao contrário da Dinamarca as grandes companhias de eletricidade alemãs nunca foram abrigadas a construir suas próprias usinas eólicas.

### **O mercado alemão de energia eólica**

No início dos anos 80 um projeto de uma enorme turbina de 3 MW com hélices de 100 m de diâmetro se tornou um fracasso de 170 milhões de dólares ao apresentar falhas nas lâminas somente com 280 horas de operação. Por outro lado, a Enercon, uma pequena empresa sem qualquer apoio financeiro público se tornou uma das maiores empresas alemãs em tecnologia eólica. A partir de 1990 o apoio oficial à pesquisa e ao desenvolvimento de empresas privadas se tornou um importante instrumento para a promoção da indústria alemã de turbinas eólicas. Do mesmo modo que na Dinamarca, a Alemanha delegou ao “Germanischer Lloyd” a tarefa de certificar as turbinas e os equipamentos da nova indústria, que funcionou muito bem ao dar confiança e proteção aos investidores.

A Alemanha é hoje o maior mercado de turbinas eólicas, tendo produzido em 2002 metade de todas turbinas construídas no mundo, embora seja difícil distinguir entre o que seja de origem alemã, dinamarquesa ou americana devido a fusões e compras entre as diversas empresas do setor. As duas principais empresas alemãs são a Enercon e a Tacle que detém 85% do mercado, ficando o restante



distribuído entre uma dúzia de outras empresas menores. Outras grandes empresas de componentes como Siemens (geração), AEG (componentes elétricos), Flender (caixas de transmissão), FAG (rolamentos) detém 50% do mercado mundial para seus

produtos, fazendo com que o balanço comercial do setor seja superavitário para a Alemanha. A Associação de Energia Eólica

Alema estimava em 12000 o numero de empregos diretos gerados pelo setor.

A maior parte das empresas alemãs ficou presa ao clássico “projeto dinamarquês” de grande sucesso, entretanto a empresa Enercon desenvolveu seu próprio projeto com um gerador multipolar síncrono que eletronicamente permite sua ligação direta com o sistema de distribuição. Esse projeto conseguiu capturar 30% do mercado alemão, mas sem grande penetração no mercado internacional.

Depois de um início mal direcionado nos anos 80 o programa de energia eólica da Alemanha tem sido um sucesso nos últimos anos, o que deve ser atribuído a uma bem orientada política governamental que garante um preço mínimo para a produção de energia eólica, ao correto processo de financiamento privado, federal e estadual, além de um privilegio dado a energia eólica no código de obras. Tendo decidido não mais produzir usinas nucleares o governo alemão está incentivando a energia eólica como nunca havia feito anteriormente. Por isso a energia eólica tem uma perspectiva de rápido crescimento nos próximos anos.

### **Espanha**

A Espanha possui excelentes regiões para a produção de energia eólica como as encontradas na Andaluzia, na Galicia, em Aragão e em Navarra, ao norte na baía de Biscaia. Todas essas regiões são bastante montanhosas o que favorece a instalação de turbinas eólicas devido ao efeito de aceleração local dos ventos. A geração de energia eólica é feita principalmente em grandes parques situados em áreas com grande concentração de geradores, particularmente em torno de Andaluzia e Tarifa, próximos ao estreito de Gibraltar

O governo central ainda não declarou a produção de energia eólica como um objetivo a ser alcançado, embora haja um sistema de apoio às fontes renováveis de energia espanhol semelhante ao existente na Alemanha. Há garantia de preços e de compra pela rede nacional de toda energia gerada. Porém, ao contrário da Alemanha, a diferença de preço paga aos produtores é dividida entre todos os consumidores, compensando lucros e perdas entre os diferentes distribuidores.

### **O papel dos governos regionais**

Os governos regionais na Espanha são os verdadeiros promotores da energia eólica sendo que muitas províncias já colocaram ambiciosos objetivos para a energia dos ventos em seus programas energéticos. Os governos regionais são responsáveis pelo planejamento e os municipais pelo licenciamento em cada região. No

norte, Navarra pretende cobrir 100% do consumo elétrico obtido por fontes renováveis, em 20 anos, patamar que se situa em torno de 25% atualmente. A previsão é que com ventos dominantes de 5,5 a 6,5 m/s, mesmo não sendo considerados ideais para as atuais turbinas, eles já deverão estar produzindo cerca de 600 MW, por volta do ano 2010. A Galicia propõe produzir 2800 MW, por essa mesma data, o que obrigaria a um reforço substancial na rede de distribuição para atender esse grande aumento na geração. O governo regional tem feito grandes esforços no sentido de atrair capitais de outros países, de dentro e fora da Comunidade Européia, para em associações com empresas locais desenvolver a capacidade eólica de suas comunidades, favorecendo a criação de empregos locais.).

### **Os fabricantes de turbinas e componentes**

A Espanha detém 14% da produção mundial de turbinas eólicas e três empresas espanholas estão entre os dez maiores fabricantes do mundo: Gamesa, Edese-Made e Desarrollos, e atendem 85% do mercado de turbinas eólicas instaladas na Espanha. A tecnologia é basicamente uma variação do conceito originalmente desenvolvido pela Dinamarca. Também a indústria de componentes está crescendo rapidamente na Espanha. O maior fabricante mundial de lâminas para rotores, a LM Glasfiber, possui três fábricas operando em território espanhol, bem como a ABB, fabricante de geradores para turbinas eólicas, possui uma de suas duas fábricas européias instalada na Espanha. O mercado espanhol é quase totalmente abastecido por fábricas locais que crescem a uma taxa espantosa e já vê a América do Sul como um mercado a ser conquistado nos próximos anos.

### **Brasil**

A matriz energética brasileira é basicamente formada por fontes renováveis de energia, onde a hidroeletricidade representa 82% da capacidade total instalada. Por esse motivo, as pressões dos grupos de preservação ambiental pela substituição das fontes de energia causadoras do efeito estufa não tiveram, aqui no Brasil, a importância que tiveram em outros países. Todavia, devido à predominância da hidroeletricidade na matriz energética brasileira, a estabilização da oferta de energia elétrica se transforma num grande desafio ao planejamento operacional de interconexão dos sistemas elétricos, por causa das grandes distâncias e, principalmente, devido as grandes flutuações sazonais no regime pluviométrico das diferentes bacias hidrográficas. O risco de apagões durante os períodos de seca tem aumentado ao longo dos últimos anos devido à falta de investimentos,

não apenas na geração, mas sobretudo na transmissão e interconexão dos sistemas, com suas distâncias continentais.

A partir dos anos 90 o Brasil experimentou uma série de crises econômicas que culminou com a impossibilidade do governo central de promover investimentos em setores estratégicos como telecomunicações, energia, siderurgia, mineração, transportes etc., nos quais o governo tinha sido o principal agente. Incapaz de atender essas demandas o governo decidiu atrair investimentos privados para o setor de infra-estrutura do País. O estabelecimento das agências reguladoras para os diferentes setores, onde antes o Estado agia como único empreendedor, foi um importante passo na reestruturação do modelo adotado até aquela data que havia aumentado sua fragilidade. Essas mudanças que não podiam ser feitas sem alterações constitucionais envolviam um enorme esforço político. Sem tais alterações seria impossível expandir o sistema instalado para atender os anseios por maiores taxas de crescimento econômico, uma vez que as empresas estatais de geração, transmissão e distribuição haviam atingido o limite de sua capacidade de investimento. O uso de tecnologias mais eficientes e o declínio na taxa de crescimento econômico haviam compensado, até certo ponto, essa falta de investimentos no setor elétrico, embora essa situação certamente se tornaria insustentável quando o País retomasse o ritmo de crescimento da década anterior.

A fim de atender a reestruturação do segmento governamental de energia, o BNDES e a Eletrobrás tiveram a determinação legal no papel de complementar o financiamento dos agentes privados com participações em projetos de geração e transmissão. Considerando a dificuldade em implementar os projetos de hidroeletricidade no curto prazo para atender o aumento na demanda por energia elétrica e a nova regulamentação do setor, um novo espaço foi criado para o aparecimento de novos agentes, os Produtores Independentes de Energia e os Geradores Próprios de Energia. Ambos desenvolveriam um novo papel para atingir as necessidades de expansão da geração de energia elétrica que estava estimada em 4,5 GW por ano, de acordo com os dados de consumo de eletricidade no Brasil nos últimos vinte anos. Tudo isso havia mostrado o quanto o sistema baseado em fontes hidráulicas estava dependente dos fenômenos naturais, abrindo espaço para o desenvolvimento de novas fontes de geração como as renováveis. Ao mesmo tempo, durante a última década o uso de energia eólica no mundo havia atingido a escala de gigawatts, demonstrando a efetiva contribuição dessa fonte renovável à matriz energética dos países que a haviam adotado.

## **Energia eólica para geração de eletricidade no Brasil**

A existência de grandes recursos naturais hídricos disponíveis para geração de eletricidade fez com que o Brasil deixasse em segundo plano tanto a utilização de energia nuclear como o emprego de fontes alternativas para gerar eletricidade. O preço para implantação de projetos inovadores que utilizassem fontes limpas de energia era muito alto em relação aos projetos tradicionais, quer de hidroeletricidade quer daqueles obtidos a partir de combustíveis fósseis, sobretudo porque não havia uma política de incentivos que tornasse os investimentos atraentes à iniciativa privada.

A exceção aconteceu apenas com Proalcool durante as crises de petróleo nos anos 70 quando já havia uma capacidade instalada de usinas de cana de açúcar que produziam tanto açúcar como álcool. Na forma de álcool anidro, desde há muito tempo, esse combustível já vinha sendo misturado, eventualmente, à gasolina. A novidade veio com o uso de álcool hidratado em carros especialmente desenvolvidos para esse combustível renovável. O Proalcool foi um sucesso até que o preço do petróleo caiu e o do açúcar aumentou no mercado externo, causando falta de álcool no mercado interno. Ao contrário do Proalcool, que acabou órfão por falta de uma regulamentação consistente para sua implementação, foi mostrado que os mecanismos fiscais e as políticas de apoio governamentais se tornaram fundamentais para o sucesso da energia eólica nos países que a adotaram como fonte alternativa de energia.

Neste início do século XXI, onde a certeza da escassez de petróleo se torna cada vez mais evidente e o clamor por fontes limpas de energia é quase unanimidade, a energia eólica tem seu papel realçado e pode ser uma fonte de energia com custos atraentes para países como o Brasil que deve lançar mão de todos os recursos disponíveis para atender a crescente demanda por energia que suporte um novo ciclo de desenvolvimento.

De modo pioneiro, o Centro Tecnológico Aeroespacial (CTA) em São José dos Campos desenvolveu juntamente com a “German Aerospace Centre” (DFVLR) o projeto DEBRA para uso de turbinas de 100 kw e rotores de 25 m de diâmetro a serem instaladas inicialmente na região nordeste do País. Mais tarde, no final dos anos 90 várias outras universidades e organismos governamentais se interessaram pelo problema mas, foi somente com o processo de privatizações e a desregulamentação do mercado de eletricidade que foram criadas as condições propícias para o surgimento de uma indústria de aeroeletricidade.

Além de várias turbinas eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados para diversas aplicações como bombeamento de água,

carregamento de baterias e telecomunicações, o Brasil já possui algumas usinas eólicas interligadas ao sistema elétrico, despontando como um mercado promissor para novos investimentos na geração de eletricidade a partir dos ventos

### **Potencial de Geração de Energia Eólica no Brasil**

“A avaliação precisa do potencial de vento em uma região é o primeiro passo para o aproveitamento do recurso eólico como fonte de energia. Para isso faz-se necessária a coleta de dados de vento com precisão e qualidade. No Brasil, assim como em várias partes do mundo, quase não existem dados de vento com qualidade para uma avaliação do potencial eólico com vistas ao seu aproveitamento na geração de eletricidade. Os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha/Pernambuco apenas no início dos anos 90. Os bons resultados obtidos com aquelas medições favoreceram a determinação precisa do potencial eólico daqueles locais e a instalação de turbinas eólicas. “[7]

*Em 1998 o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) publicou os primeiros dados sobre velocidade e direção dos ventos na região nordeste do Brasil e no ano seguinte a Companhia Paranaense de Energia Elétrica (COPEL) realizou estudos sobre o potencial eólico do estado do Paraná. Logo vários estados brasileiros seguiram os mesmos passos e iniciaram programas de levantamento de dados de vento. Hoje existem mais de cem anemógrafos computadorizados espalhados pelo território nacional. Em 2002 foi publicado o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, cobrindo todo território nacional. A disponibilidade desses dados é importante para o início dos projetos de aproveitamento do potencial eólico brasileiro e seu aproveitamento na geração de energia elétrica de fontes renováveis. É importante ter em mente que o objetivo desse atlas de ventos é o de identificar potenciais áreas, agindo como indicativo para possível aproveitamento em futuros projetos. Aquelas regiões com velocidade de ventos igual ou superior a 7 m/s são consideradas mais apropriadas para instalação de projetos eólicos embora sejam necessários estudos locais mais detalhados antes da implantação de turbinas comerciais. De uma maneira geral o Atlas mostra que as regiões brasileiras com maior potencial se situam na região Nordeste e Norte do Brasil, onde a região costeira situada entre*

*os estados do Rio Grande do Norte e Ceará tem um potencial estimado de 12 GW e por isso mesmo é a região pioneira na instalação de projetos eólicos para geração de eletricidade.*

“Considerando o grande potencial eólico existente no Brasil, confirmado através de medidas de vento precisas realizadas recentemente, é possível produzir eletricidade a custos competitivos com centrais termoelétricas, nucleares e novas hidroelétricas. De acordo com estudos da Eetrobrás, o custo da energia elétrica gerada através de novas usinas hidroelétricas construídas na região amazônica será bem mais alto que os custos das usinas implantadas até hoje. Quase 70% dos projetos possíveis deverão ter custos de geração maiores do que a energia gerada por turbinas eólicas. Outra vantagem das centrais eólicas em relação às usinas hidroelétricas é que quase toda a área ocupada pela central eólica pode ser utilizada (para agricultura, pecuária, etc.) ou preservada como habitat natural.”[7]

### **Projetos de energia eólica no Brasil**

No Brasil a Wobben, instalada com fábricas em São Paulo e no Ceará é a única fabricante de aero-geradores de grande porte (600 kW) na América do Sul que produz pás com 22 metros de comprimento, já tendo exportado alguns conjuntos para a Argentina.



O Centro Brasileiro de Energia Eólica - CBEE, em julho de 1992, na época ainda conhecido como Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco, instalou, de modo pioneiro, a primeira usina eólica de 75

kW na Ilha de Fernando de Noronha. Na figura ao lado podemos ver algumas das principais turbinas já instaladas em território nacional, cuja potência somada chega apenas a 26,8 MW.[7]

De acordo com o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, o Brasil possui um potencial estimado até hoje em 143.000 MW dos quais

aproximadamente 7.700 MW já foram autorizados a se instalar pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), tendo sido aprovados mais de 80 projetos nas regiões NE, N, S, SE.[15]

### **Sistemas híbridos de energia**

“Sistemas híbridos de energia (Hybrid Power Systems) são sistemas autônomos de geração elétrica que combinam fontes de energia renovável e geradores convencionais. O objetivo deles é produzir o máximo de energia possível das fontes renováveis (sol e vento), enquanto mantidas a qualidade da energia e a confiabilidade especificadas para cada projeto.

Estes sistemas são adequados para atender as necessidades energéticas de locais isolados devido ao alto custo da eletrificação de lugares com baixa demanda e de difícil acesso. Geralmente, os sistemas isolados eletrificados utilizam geração termelétrica com grupos geradores diesel.

No Brasil existem mais de 400 sistemas isolados de grande porte (com mais de 1400 MW de potência instalada) e inúmeros sistemas pequenos que utilizam óleo diesel como fonte geradora de energia. Já foi demonstrado que sistemas híbridos de energia podem representar uma solução mais econômica para muitas aplicações e também proporcionar uma fonte mais segura de eletricidade devido à combinação de diversas fontes de energia. Além do mais, o uso de energia renovável reduz a poluição ambiental causada pela queima de óleo diesel, transporte e armazenamento.

O único sistema híbrido eólico/diesel de grande porte instalado no Brasil é o sistema da Ilha de Fernando de Noronha. A geração a diesel da Ilha tem uma capacidade instalada de aproximadamente 2MW com 2 grupos geradores de 350kVA e 3 de 450kVA. Existem ainda vários grupos geradores de pequeno porte. Duas turbinas eólicas, 75kW e 225kW de potência nominal, estão conectadas diretamente à rede elétrica formando um sistema integrado. Um sistema de supervisão central deverá ser instalado em breve para garantir o perfeito funcionamento do sistema de forma automatizada. A energia gerada pelas turbinas eólicas atualmente contribui com cerca de 25% da demanda da Ilha. Vários projetos de sistemas híbridos eólico/solar/diesel de pequeno porte foram desenvolvidos para comunidades isoladas e outras aplicações.”[7]

### **Programa de Incentivo às fontes alternativas de energia elétrica (PROINFA)**

O Governo Federal criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica -PROINFA através da Lei nº 10.438

de 26 de abril de 2002, revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003 sendo lançado oficialmente em 30 de março de 2004, com o objetivo de buscar a diversificação da matriz energética brasileira e procurar soluções de cunho regional com a utilização de fontes renováveis de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis, aumentando a participação da energia elétrica produzida com base naquelas fontes. [14]

“O PROINFA prevê a instalação de 3.300 MW de capacidade, que serão incorporados ao Sistema Elétrico Integrado Nacional (SIN). Desse montante, 1.100 MW serão de fontes eólicas, 1.100 MW de pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e 1.100 MW de projetos de biomassa. A energia produzida pelas unidades geradoras selecionadas que devem entrar em operação até dezembro de 2006, será adquirida pela Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (Eletrobrás). Os contratos dos geradores com a Eletrobrás terão duração de 20 anos, contados a partir da entrada em operação. Geração de 150 mil postos de trabalho diretos e indiretos, investimentos de R\$ 4 bilhões na indústria nacional, redução de 2,5 milhões de t CO<sub>2</sub>/ano, atraindo um investimento do setor privado da ordem de R\$ 8,6 bilhões.

Em relação ao abastecimento de energia elétrica do país, o PROINFA será um instrumento de complementaridade energética sazonal à energia hidráulica, responsável por mais de 90% da geração do país. Na região Nordeste, a energia eólica servirá como complemento ao abastecimento hidráulico, já que o período de chuvas é inverso ao de ventos. O mesmo ocorrerá com a biomassa nas regiões Sul e Sudeste, onde a colheita de safras propícias à geração de energia elétrica (cana-de-açúcar e arroz, por exemplo) ocorre em período diferente do chuvoso.

A produção de 3,3 mil MW a partir de fontes alternativas renováveis dobrará a participação na matriz de energia elétrica brasileira das fontes eólica, biomassa e pequenas centrais hidroelétricas, que atualmente respondem por 3,1% do total produzido e, em 2006, podem chegar a 5,9%.

No Brasil, 41% da matriz energética é renovável, enquanto a média mundial é de 14% e nos países desenvolvidos, de apenas 6%, segundo dados do Balanço Energético Nacional - edição 2003. A entrada de novas fontes renováveis evitará a emissão de 2,5 milhões de toneladas de gás carbônico/ano, ampliando as possibilidades de negócios de Certificação de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do Protocolo de Kyoto.”[15]

### **Utilização de créditos de carbono**

O Protocolo de Kyoto promete melhorar o clima do planeta na próxima década. Para tanto determina que países desenvolvidos reduzam a emissão de gases causadores do efeito estufa (GHG). O tratado estabelece uma redução de GHGs da ordem de 5% em relação ao emitido em 1990. Os países teriam até 2008 para implementar estes projetos, e até 2012 para comprovar a redução. Para tanto foram criados mecanismos de flexibilização através dos quais os países ricos podem promover a redução fora de seu território. Esta alternativa ficou conhecida como Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), sendo a negociação de créditos de carbono sua forma transacional.

A negociação de créditos de carbono já beneficia uma série de empresas no Brasil. São empresas de diversos setores, como siderurgia, papel e celulose, saneamento e recursos renováveis, entre outras. Estas empresas estão acessando um mercado que, segundo alguns especialistas, deve movimentar US\$10 bilhões em crédito de carbono ao ano, e o Brasil deve ser responsável por 10% desta quantia. O crédito de carbono consiste em certificar reduções de emissões de gases de efeito estufa (GHG), que através de um custo marginal de redução no Brasil possam compensar um possível custo de oportunidade nos países desenvolvidos.

Este novo mecanismo abre novas oportunidades para a utilização da energia eólica, que por ser energia limpa, não geradora de GHGs pode ser elegível para este novo mercado. Aplicando-se os créditos de carbono a projetos de energia eólica obtém-se uma redução em seu custo operacional, com um tempo mais curto de retorno do capital investido, o que torna mais atrativo para os investidores. Apenas como ilustrativo deste potencial, a tonelada de carbono esta sendo negociada a €19/t (valores de Junho/05). No Brasil, este conceito já foi utilizado para o projeto de um aterro sanitário em São Paulo. Com a aplicação dos créditos de carbono em projetos de geração de energia eólica obtém-se um aumento na rentabilidade do projeto que pode variar de 2% a 10%.

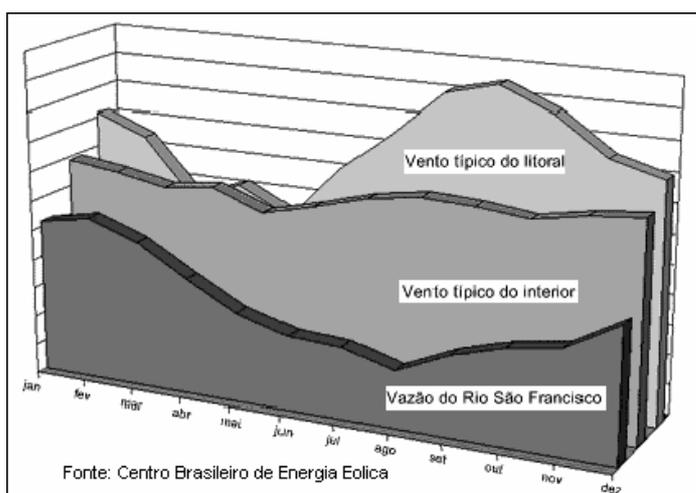
## Custos de Geração

O custo de geração de energia elétrica a partir de centrais eólicas ainda é considerado alto quando comparado aos custos da geração hidroelétrica, principalmente no Brasil, onde nosso parque gerador já está gradamente amortizado. No entanto, ao compararmos os custos de geração de uma nova instalação hidroelétrica, seus problemas sociais e ambientais com os custos e vantagens de uma usina eólica, esta começa a se tornar competitiva. Acrescenta-se ainda que o custo da energia eólica está constantemente em declínio, com o aumento da escala mundial e o aparecimento de novas e modernas tecnologias. O custo estimado para a geração eólica está em torno de US\$65/MWh, e através da regulamentação do Proinfa, o Ministério de Minas e Energia estabeleceu o valor R\$162,78/MWh, nos contratos a ser firmados entre as empresas de geração (Produtores Independentes de Eletricidade) e a Eletrobrás. Esses contratos terão duração de 20 anos, sendo reajustados pelo IGPM a partir do segundo ano.

## Complementaridade dos Sistemas Hídrico e Eólico no Brasil

“A energia eólica poderá ajudar a resolver o grande dilema do uso da água do Rio São Francisco no Nordeste (água para gerar eletricidade versus água para irrigação). Grandes projetos de irrigação às margens do rio e/ou envolvendo a transposição das águas do rio para outras áreas podem causar um grande impacto no volume de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas e, conseqüentemente, prejudicar o fornecimento de energia para a região. Entretanto, observando o gráfico abaixo, percebe-se que as maiores velocidades de vento no nordeste do Brasil ocorrem justamente quando o fluxo de água do Rio São Francisco é mínimo. Logo, as centrais eólicas instaladas no nordeste poderão produzir grandes quantidades de energia elétrica evitando que se tenha que utilizar a água do rio São Francisco.”[7]

Devido à predominância da hidroeletricidade no sistema elétrico



Comparação entre o fluxo de água do Rio São Francisco e o regime de vento no nordeste do Brasil

brasileiro, a estabilidade de geração de eletricidade fica dependente da sazonalidade no enchimento das diversas bacias hídricas. Por isso o Governo brasileiro tem estimulado a instalação de usinas termoelétricas, principalmente a gás natural, para obter uma complementaridade de geração. Entretanto, na

última década foi demonstrado que a energia eólica atingiu escalas de GigaWatts podendo dar uma efetiva contribuição a essa

complementaridade com vantagem de não empregar combustíveis fósseis mais agressivos ao meio ambiente.

Dados levantados permitem mostrar a possibilidade de atingir essa complementaridade principalmente nas bacias hidrográficas no Nordeste do País.

O CBEE preparou o estudo mostrado no gráfico acima onde fica demonstrada a complementaridade entre o potencial eólico tanto existente no litoral como no interior e a energia hidráulica disponível no Rio São Francisco, ao longo de um ano. Segundo dados do Ministério de Minas e Energia a cada 100 MW médios produzidos por parques eólicos, economizam-se 40m<sup>3</sup>/s de água na cascata do rio São Francisco. Estudos realizados pela COPEL também mostram que essa mesma complementaridade existe nas bacias da região Sul do Brasil.

Essa integração hidro-eólica para geração de eletricidade permite superar uma das maiores críticas feitas da energia eólica que é a de não fornecer uma produção firme de eletricidade dada a instabilidade dos ventos, enquanto as barragens permitem estocar energia em períodos de muitas chuvas e pouco consumo.

Pelo lado das vantagens temos a possibilidade de instalação de projetos modulares que podem ser ampliados à medida que houver necessidade e financiamento disponível, a perenidade da fonte de energia, a rapidez da instalação e sua imediata entrada em operação, custos bem mais baixos de operação, não agressividade ao meio ambiente, e sobretudo permite a ocupação das terras por outros empreendimentos comerciais como a agricultura e a pecuária sem maiores problemas.

## **Conclusão**

A energia eólica é uma fonte renovável de energia que apresenta inúmeras vantagens para a geração de grandes blocos de energia elétrica. Em muitos países a energia eólica tem sido vastamente utilizada para a geração de energia elétrica complementar e um aumento significativo no seu emprego está sendo esperado para os próximos anos.

Entre os muitos atrativos que a energia eólica apresenta pode se destacar a possibilidade de uma diversificação na matriz energética nacional, a existência de uma indústria em franco desenvolvimento com tecnologia testada e aprovada nas últimas décadas, nas mais diversas condições de utilização. Pode-se citar também como característica importante o fato de que a instalação de uma fazenda

eólica exige muito pouco tempo entre os estudos preliminares e sua operação comercial. Apesar disso tudo e mesmo sabendo-se que “combustível” é grátis, vasto e ilimitado, a energia eólica não é uma tecnologia que tem sido levada a sério como fonte geradora de eletricidade devido principalmente às barreiras ainda existentes.

Ante a perspectiva de grandes preocupações ambientais e climáticas um novo consenso está surgindo de que a análise de um projeto energético não deve considerar apenas os aspectos econômicos da questão, entretanto até agora esse enfoque não tem surtido grandes efeitos.

Ainda que num estágio inicial, recentemente começam a aparecer grupos privados que estimulados pelo governo estão fazendo grandes investimentos no setor, pode-se já prever que por todas as razões apresentadas a tecnologia de geração de eletricidade por fontes eólicas é uma das mais promissoras e limpas tecnologias que dispomos para aumentar nossa capacidade de produção de eletricidade nos anos vindouros. O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro mostra que o desenvolvimento dessa nova tecnologia no Brasil é viável e que dispomos de uma fonte perene para suprir nossas necessidades futuras em complementaridade ao sistema hidráulico e térmico instalado no País. O que precisamos é de mais fabricantes de equipamentos se instalando no Brasil o que possibilitaria a diminuição dos custos iniciais de instalação dos grandes projetos de fazendas de energia.

O corrente cenário brasileiro é favorável ao desenvolvimento de projetos eólicos porque grandes avanços foram feitos, em outros países para diminuir os custos de geração de eletricidade em larga escala com projetos de turbinas eólicas que mostraram a viabilidade técnica e econômica dessa nova tecnologia. Por outro lado, a nova legislação sobre energia elétrica no Brasil permitiu que a eletricidade gerada pelo uso da energia dos ventos tivesse acesso aos sistemas de transmissão e distribuição existentes.

As reformas do mercado de energia contribuíram para atrair investidores interessados em desenvolver grandes projetos de fazendas de energia para geração de eletricidade que fazem sentido econômico naquelas áreas com maior potencialidade como o Nordeste e o Norte do Brasil, demonstrado pela lista de projetos autorizados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Porém, entraves regulatórios e, principalmente, o risco Brasil ainda são considerados entraves por muitos empreendedores.

A necessidade de expandir a capacidade geradora no curto prazo, sem aumentar nossa dependência de combustíveis fósseis (óleo combustível e gás natural), com suas conseqüências para o meio ambiente, beneficia projetos que sejam capazes de gerar eletricidade rapidamente em grande escala, como a produzida pelas turbinas eólicas.

A ANEEL tem trabalhado no sentido de criar incentivos para o uso de energia eólica no território nacional através de leis como foi mostrado anteriormente. A Lei 10438 de 26 de Abril de 2002 que criou o PROINFA foi essencial para promover essa nova tecnologia, principalmente por estabelecer preços de referência para as tarifas e os resultados devem aparecer nos próximos anos. Porém, no mundo todo muitas políticas tem sido adotadas no sentido de estimular o uso de fontes alternativas de energia como uma importante estratégia para superar a falta de energia que poderá ocorrer nas próximas décadas. Uma das principais barreiras para a implantação de energias alternativas, além de seus custos e viabilidade tecno-econômica, que vem sendo mitigados ao longo dos anos, passa a ser os entraves existentes na legislação atual do sistema de eletricidade e que aos poucos vem sendo derrubados para permitir o acesso ao sistema de distribuição da energia gerada pelos produtores independentes. Além da produção é preciso também investir em pesquisa e desenvolvimento nas muitas instituições que já vem trabalhando como centros de excelência nos diferentes segmentos da energia eólica, não apenas nos equipamentos mas também na gestão de todos processo.

O Brasil possui características próprias e é importante que sejam desenvolvidos estudos para a validação dos projetos existentes em outros países e que sejam realizados ajustes nos modelos já aprovados e conhecidos em todo mundo. Podemos e temos capacidade para desenvolver modelos computacionais específicos para nosso clima e topografia, procurando uma padronização dos dados. Paralelamente, devemos desenvolver turbinas adaptadas às condições tropicais brasileiras, sobretudo de sistemas híbridos como os já apresentados anteriormente, bem como estudos de aeroelasticidade, sistemas estruturais e materiais. Devemos começar a estudar os problemas inerentes às estruturas marítimas tão logo tenhamos que instalar geradores mar a dentro e nas lagoas do sul do País, como as fazendas marinhas recentemente instaladas na Europa.

Para minimizar os impactos ambientais é preciso adotar uma série de medidas tais como o uso combinado da terra com outras atividades econômicas, a integração visual, a redução do nível de ruídos das máquinas e um maior estudo da influência sobre a flora e a fauna da região. Ainda para um emprego em larga escala é necessário melhorar a previsão da potência disponível, melhorar a disponibilidade de energia empregando sistemas híbridos com gás natural. Todos esses melhoramentos advindos de novas tecnologias esperadas para os próximos anos contribuirão para um uso mais

eficiente da energia eólica tornando-a uma opção viável de suprimento consistente de energia renovável.

#### Referências bibliográficas:

- [1] The Use of Wind Energy for Electricity Generation in Brazil , MSc.These, Stratclyde University, Glasgow, Scotland, 2002, Vanessa Reich de Oliveira.
- [2] European Wind Energy Association, for the Commission of the European Communities, 1998, Market & Industry Reports (under publication).
- [3] Danish Wind Turbine Manufacturers Association, 1998, Danish Wind Energy, 4<sup>th</sup> Quarter 1997, WindPower Note no. 17.
- [4] Danish Wind Turbine Manufacturers Association, 1996, 1996, Wind Power Note no. 7.
- [5] BEURSKENS, J. Going to sea – Wind goes offshore. Renewable Energy World, v. 3, p. 19-29, 2000.
- [6] CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA . Wind Atlas for the Northeast Region for Brazil,. Brasília, 1998. CD-Rom Série Estudos e Informações Hidrológicas e Energéticas.
- [7] Objetivos, projetos e outros, disponível na internet em [www.eolica.com.br](http://www.eolica.com.br), arquivo consultado em 2004.
- [8] COMPANHIA HIDROELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO. CHESF – 50 Anos Gerando o Futuro. Recife: 1998. CD-Rom.
- [9] CHIGANER, L. Electricity Offer In: TOLMASQUIM, M.T., SZKLO, A.S. The Energy Matrix in the New Millenium. Rio de Janeiro: COPPE-UFRJ, ENERGE, 2000. p.501-518.
- [10] UFRJ/COPPE, 1999. 164 p. Mestrado em Planejamento Energético COPEL. Wind Project of Palmas, disponível na internet em <http://www.copel.com/copel/port/negocios-ger-energiaeolica.html>.
- [11] Wind Energy Use in Germany, disponível na internet em <http://www.dewi.de/statistics.html>.
- [12] DIVONE, L.V. Evolution of Modern Wind Turbines. In: SPERA, S.A. WindTurbine Technology – Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, New York,,: ASME Press, 1994. P. 73-138.
- [13] Atlas do Potencial Eólico Brasileiro – CDRom.
- [14] Proinfa, disponível na Internet em <http://www.eletrabras.gov.br>, consultado em 2004.
- [15] Proinfa, disponível na Internet em <http://www.mme.gov.br/Proinfa>, consultado em 2004.
- [16] Energia Eólica e outros, disponível na Internet em <http://www.cresesb.cepel.br>, consultado em 2004.

(\*) Doctor of Philosophy pela University of Florida, Professor visitante na Michigan State University e Conferencista da Escola Superior de Guerra.

(\*\*) Master of Sciences pela Stratclyde University, Glasgow, Scotland e gerente de planejamento estratégico do setor de energia da Companhia Suzano de Papel e Celulose.