

GERAÇÃO DISTRIBUÍDA DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DA FONTE EÓLICA NO BRASIL

Maria Cecília Basile Leite de Barros
mcllb@hotmail.com

Resumo. Este artigo trata do uso de energia eólica de uma forma não convencional do Brasil: a geração de eletricidade em escala comunitária e complementar à rede elétrica convencional. O objetivo é analisar a viabilidade de projetos desse tipo no país, abordando aspectos técnicos, econômicos e políticos. Foi desenvolvido um modelo em planilha eletrônica para estimar as parcelas de eletricidade provenientes da fonte eólica e da rede convencional em uma comunidade que instala turbinas eólicas para aumentar sua independência da rede. O regime de ventos de quatro localidades foi modelado com a distribuição de Weibull, a mais difundida para esse fim, a partir de dados climáticos disponibilizados pela ANEEL. Dados de consumo de energia elétrica foram obtidos através do PROCEN e dados técnicos de turbinas nos sites dos fabricantes. No final do trabalho foi feita uma prospecção dos cenários que tornariam viável a geração distribuída caso seja aprovada a resolução em trâmite no segundo semestre de 2011 da ANEEL referente ao Sistema de Compensação de Energia. Estes cenários levam em conta a localidade, a escala do projeto e o custo de oportunidade dos investidores.

Palavras chave: Energia Eólica, Geração de energia elétrica

1. Introdução

O aquecimento global desponta como elemento de preocupação na sociedade atual e tem mobilizado vários países na busca de soluções efetivas para a redução das emissões CO₂. Neste cenário, o crescimento da energia eólica aparece como uma resposta por uma melhor qualidade ambiental no suprimento energético.

A redução dos custos da geração eólica nos últimos anos tornou essa fonte economicamente acessível, graças aos avanços tecnológicos provenientes do desenvolvimento, da demonstração e da disseminação de unidades instaladas. A importância presente e futura dessa fonte no fornecimento de energia limpa se tornou incontestável e a capacidade instalada de sistemas de geração de energia eólica no mundo cresce em ritmo acelerado.

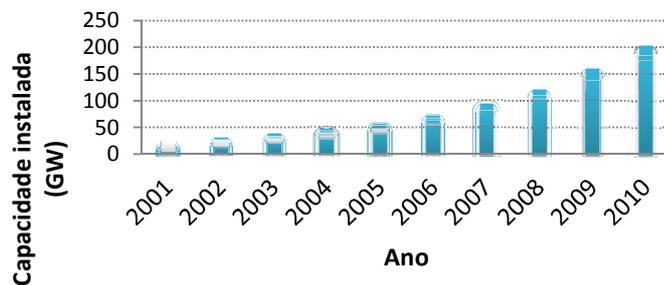


Figura 1. Capacidade eólica instalada no mundo (adaptada de World Wind Energy Association, 2010)

Também são cada vez mais numerosos os empreendimentos de parques eólicos construídos no Brasil, reforçando a vocação do país no setor de energias renováveis. Porém, o objeto de estudo deste projeto de formatura é a utilização da energia eólica de uma forma ainda pouco difundida no Brasil. Trata-se da instalação de turbinas eólicas em residências e comunidades conectadas à rede elétrica. O usuário da fonte eólica não é, nesse caso, totalmente dependente do regime de ventos e utiliza a energia da rede quando a produção eólica for insuficiente.

A geração de energia próxima à própria casa é uma alternativa para o cidadão que quer contribuir para diminuir a pressão sobre a rede e se assegurar de estar utilizando uma forma de energia limpa. Uma grande vantagem da geração eólica em pequena escala é sua acessibilidade aos indivíduos, que lhes confere o potencial de decidir como será produzida uma parte ou a totalidade da energia que consomem. A atuação nesse sentido se enquadra na tendência da geração de energia no mundo no século XXI, cada vez mais descentralizada, em pequena escala e próxima dos consumidores.

2. Escolha de localidades

Três critérios foram utilizados para a escolha de localidades para avaliar a potencialidade da geração eólica distribuída: velocidade média dos ventos, variabilidade do vento e densidade populacional.

A Fig. (2) mostra a distribuição da velocidade média anual do vento em uma altura de 50m no território brasileiro.

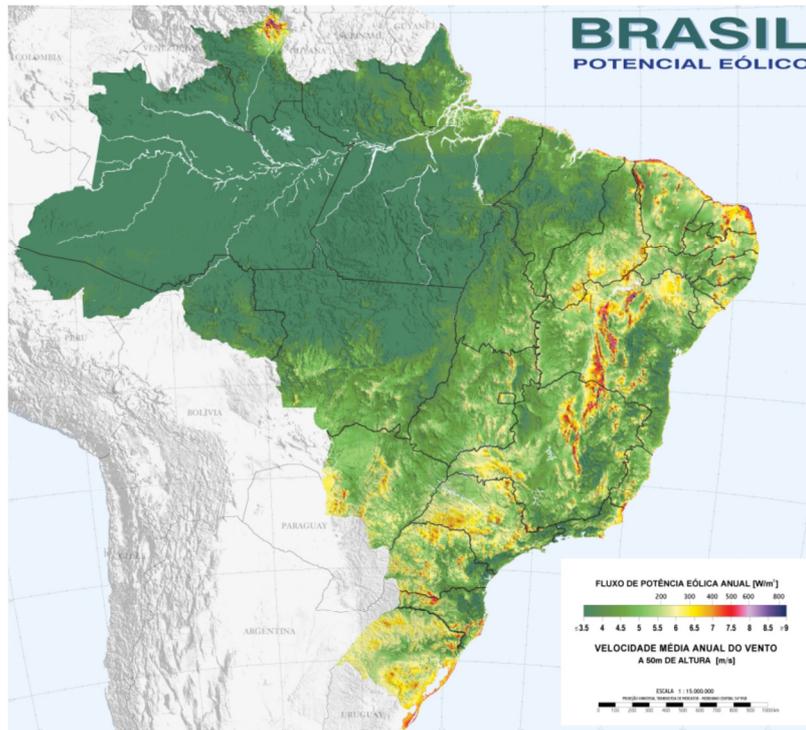


Figura 2. Velocidade média anual do vento no Brasil, (adaptada de Amarante et al.,2001)

O limite inferior para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável é de 7 a 8m/s (ANEEL, 2005). Nota-se que algumas regiões no Brasil possuem potencial eólico elevado:

- Região Nordeste: em uma grande porção da costa do Nordeste as velocidades médias superam 7,5m/s. Destacam-se de forma particular as faixas litorâneas dos estados do Piauí, Ceará e Rio Grande do Norte, onde há localidades com média anual de vento acima de 8,5m/s. Também há pequenas regiões em uma faixa central no estado da Bahia com ventos que superam este último nível.
- Região Norte: há uma predominância de ventos fortes na costa dos estados do Amapá e Pará e no norte de Roraima. Nestas áreas a velocidade média do vento chega a superar 8,5m/s.
- Região Sudeste: médias superiores a 7,5m/s são encontradas em uma faixa litorânea que se estende de Araruama (RJ) ao norte do Espírito Santo. Também há uma faixa entre o centro e o norte de Minas Gerais com ventos desse nível.
- Região Sul: velocidades superiores a 7,5m/s são observadas em uma faixa costeira que se estende do extremo sul do país a Florianópolis.

Um outro dado importante para caracterizar o regime de ventos é sua variabilidade no tempo. Quanto mais regular for o vento num local, mais estável será a produção de energia de uma eólica ali instalada.

A metodologia utilizada para efetuar o cálculo de probabilidade de ocorrência de certa velocidade é baseada na distribuição de Weibull e é a mesma, por exemplo, que é empregada pelo fabricante de turbinas Bergey, um dos mais conceituados no ramo de pequenas e médias eólicas. Segundo esse método, a probabilidade de ocorrência da velocidade de vento "x" é dada por

$$f(x) = \frac{k}{x} \left(\frac{x}{c} \right)^{k-1} \exp \left(- \left(\frac{x}{c} \right)^k \right) \quad (1)$$

Onde

$K = K$ de Weibull do mês

$c =$ Média de ventos do mês

O gráfico a seguir mostra a influência do parâmetro k , também chamado de “fator de forma”, na função de densidade de probabilidade usada como aproximação da velocidade do vento. Nota-se que, para uma mesma média da velocidade, quanto maior for o fator de forma k da distribuição de Weibull, mais agudo é o pico da distribuição:

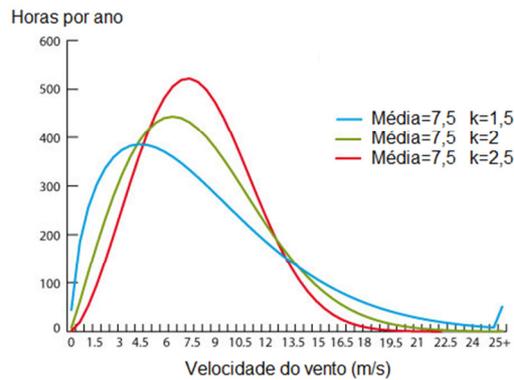


Figura 3. Distribuições de Weibull com a mesma média(adaptada de GIPE, 2004)

O Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (ANEEL, 2005) fornece um mapa do fator de forma k no território do país, conforme mostrado na Fig. (4).

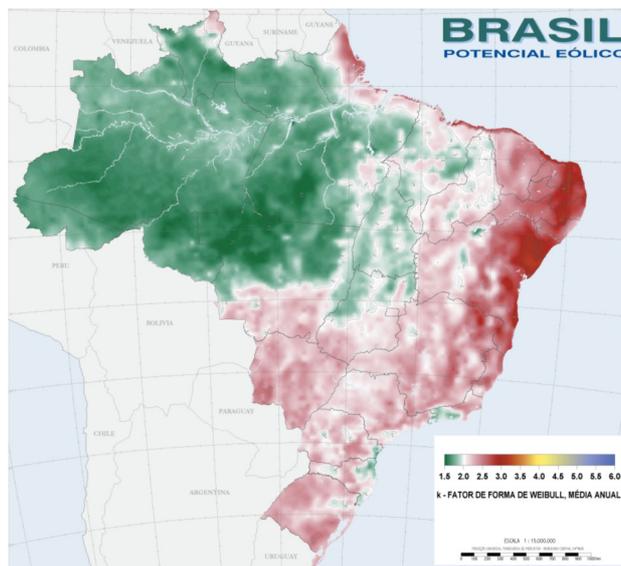


Figura 4. Fator de forma de Weibull para a média anual de vento no Brasil (extraída de Amarante et al.,2001)

Observa-se um fator de forma mais elevado em uma faixa costeira espessa que vai do sul da Bahia ao Rio Grande do Norte e em uma faixa mais fina do litoral do Ceará ao Amapá.

O terceiro critério, densidade populacional, foi adotado porque o foco deste trabalho é o usuário conectado à rede elétrica. Em regiões onde a densidade demográfica é mais elevada, a geração de eletricidade distribuída possui, a princípio, uma grande quantidade de usuários potenciais e o alcance dessa solução é maior.

Cabe a ressalva de que em centros urbanos com densidade demográfica muito elevada há muitas construções. Isto se traduz em uma maior rugosidade do terreno, atenuação da velocidade média do vento e comportamento mais turbulento e irregular, o que é indesejável para a produção de energia a partir da fonte eólica. Porém, na área de frente para o mar o vento sofre menos influência das perturbações das construções urbanas e, portanto, em grandes cidades costeiras também deve haver muitos usuários potenciais em residências de frente para o mar.

Levando-se em conta esse três critérios e a disponibilidade de dados mensais de vento no site Wind Finder, foram escolhidas 4 localidades para serem incluídas no modelo desenvolvido: Jericoacoara (Ceará), Macau (Rio Grande do Norte), São Mateus (Espírito Santo) e Mostardas (Rio Grande do Sul).

3. Modelagem da produção eólica comunitária

3.1. Fontes dos dados

3.1.1. Dados das turbinas

Para a elaboração do modelo foram consideradas três turbinas, escolhidas com base na disponibilidade de informação técnica a seu respeito e por terem uso bastante difundido: Bergey 10kW Excel S, Northern Power 100kW e WES 80kW.

A Figura (5), produzida com base nos dados técnicos fornecidos nos sítios dos fabricantes, mostra a dependência de potência de saída de cada modelo de turbina com a velocidade do vento incidente.

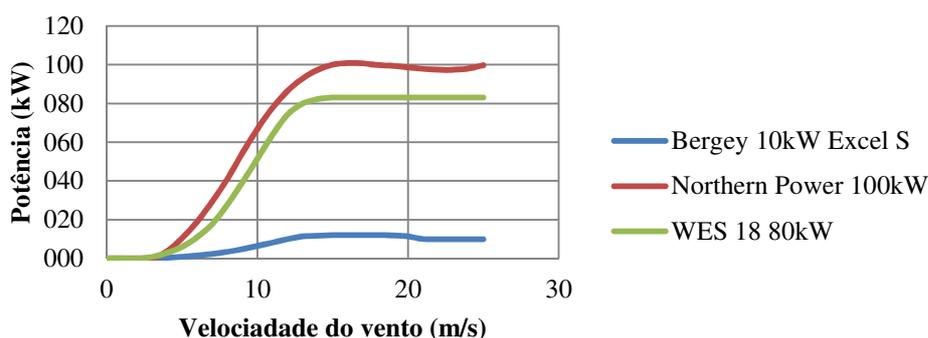


Figura 5. Curvas de potência (Bergey Wind Power, 2011, Northern Power, 2011 e WES 18, 2011)

3.1.2. Dados de consumo

O relatório Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso (PROCEM, 2007) foi consultado para determinar o perfil de consumo de eletricidade nas residências brasileiras e, mais especificamente, nas regiões de maior interesse para a energia eólica: Sul, Sudeste e Nordeste. Com base na leitura das curvas fornecidas no relatório, foram determinadas as cargas médias de hora em hora por residência em cada região,

A fim de personalizar o consumo das residências consideradas, foi adotada a hipótese de que o formato da curva se mantém quando o consumo mensal varia. Assim, pode-se obter o consumo horário de uma residência sabendo-se seu consumo mensal.

3.1.3. Dados climáticos

No Brasil não estão disponíveis para consulta pública dados de vento medido em pequenos intervalos de tempo. Os dados mais fragmentados que foram encontrados foram os do sítio Wind Finder, que são médias mensais baseadas em períodos de observação de cerca de 5-10 anos. Para serem usados no modelo, esses dados foram corrigidos porque o sítio Wind Finder tem como público alvo surfistas e amantes da vela e não faz suas medições baseando-se em normas específicas para o projeto de eólicas. Foi calculado um fator de correção baseado na relação entre a média anual de ventos a 50m fornecida no Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANELL, 2005) e a média anual dos relatórios de vento do Wind Finder. As velocidades médias mensais corrigidas foram calculadas multiplicando-se as médias do sítio WindFinder por este fator de correção e são apresentadas na Tab. (1).

Tabela 1. Velocidade média mensal do vento corrigida

	Velocidade média mensal do vento (m/s)			
	Macau (RN)	Mostardas (RS)	São Mateus (ES)	Jipoca de Jericoacoara(CE)
jan	7,7	8,1	10,3	9,8
fev	6,9	4,4	5,7	9,0
mar	6,9	4,4	5,9	7,4
abr	6,2	6,3	4,2	6,5
mai	7,7	7,5	10,3	5,7
jun	7,7	11,9	7,7	6,5
jul	8,5	11,3	11,6	9,0
ago	10,0	8,8	7,3	11,5
set	9,2	9,4	11,6	11,5
out	10,0	7,5	4,6	11,5
nov	9,2	8,8	8,4	11,5
dez	9,2	8,1	6,8	9,8
ano	7,5	7,7	7,5	9,0

Para calcular a probabilidade de ocorrência de cada velocidade de vento em cada mês, conforme será explicado mais adiante, foram utilizados os fatores K de Weibull trimestrais do Atlas de Energia Elétrica do Brasil (ANEEL, 2005). Os dados trimestrais são os mais refinados disponíveis para consulta pública. Para as 4 localidades escolhidas, os fatores K trimestrais são apresentados na Tab. (2).

Tabela 2. Fatores K de Weibull trimestrais

	Weibull K			
	Macau (RN)	Mostardas (RS)	São Mateus (ES)	Jipoca de Jericoacoara(CE)
dez-fev	3,0	2,4	2,5	2,5
mar-maio	2,5	2,2	2,4	2,0
jun-ago	3,5	2,7	2,9	3,2
set-nov	3,0	2,4	2,7	3,7

3.2 Método

3.2.1. Probabilidade de ocorrência do vento

A distribuição dos ventos em cada uma das 4 localidades foi determinada com base na equação (1) para cada mês do ano utilizando-se o K de Weibull trimestral correspondente da Tab. (2) e a média mensal de ventos da Tab. (1).

3.2.2. Potência fornecida pela(s) turbina(s) mês a mês

Determinada a distribuição de vento mês a mês, é possível prever a potência média de uma turbina instalada em uma determinada localidade em cada mês do ano. Isto é feito somando-se os produtos da probabilidade de ocorrência de cada velocidade de vento pela potência de saída da turbina para essa velocidade.

O uso da potência média mensal assim calculada é limitado no sentido de não contemplar variações da potência da turbina em períodos mais curtos, como dia, hora ou minuto. No entanto, esse projeto adota uma única potência para o mês todo por falta de dados mais fragmentados. Infelizmente, no Brasil as séries temporais de vento medidas com intervalos mais curtos (15 min, por exemplo) não estão disponíveis para consulta pública.

3.2.3. Balanço de energia: rede convencional e fonte eólica

Com base nos dados de consumo mensal das residências e da potência média eólica mensal calculada segundo a metodologia explicada no item anterior, é possível calcular a energia que será demandada da rede elétrica a cada hora e a energia eólica excedente quando os ventos sopram mais forte do que a demanda requer.

O modelo fornece o balanço de energia para cada hora em cada mês e também sintetiza os resultados mensais para um balanço anual. O consumo de energia varia ao longo do dia, segundo o perfil de consumo adotado que geralmente tem seu pico no início da noite. Já a potência eólica é considerada constante em cada mês, mas varia de mês para mês, conforme explicado anteriormente. Em momentos do dia em que o consumo doméstico supera a potência fornecida pela fonte eólica, é demandada energia da rede elétrica. Já quando a produção eólica supera o consumo, há exportação de energia para a rede.

A título ilustrativo, considera-se um projeto com os seguintes parâmetros:

- Localidade: Macaú
- Consumo: 10 casas com consumo de 500kWh/mês com formato típico da curva de consumo do Nordeste
- Turbinas: 1 turbina Bergey

O balanço energético anual desse cenário ilustrativo e para o mês de agosto, que é quando os ventos são mais fortes em Macaú, são mostrados nos gráficos a seguir.

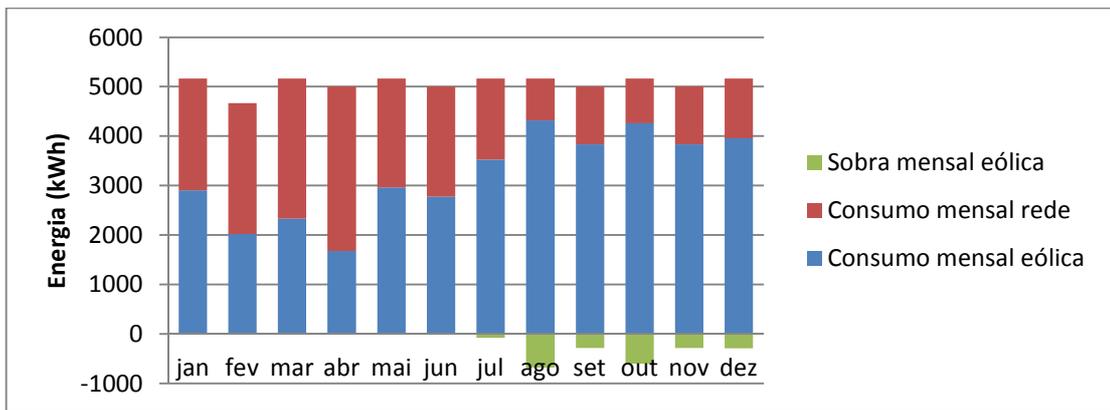


Figura 6. Balanço energético anual

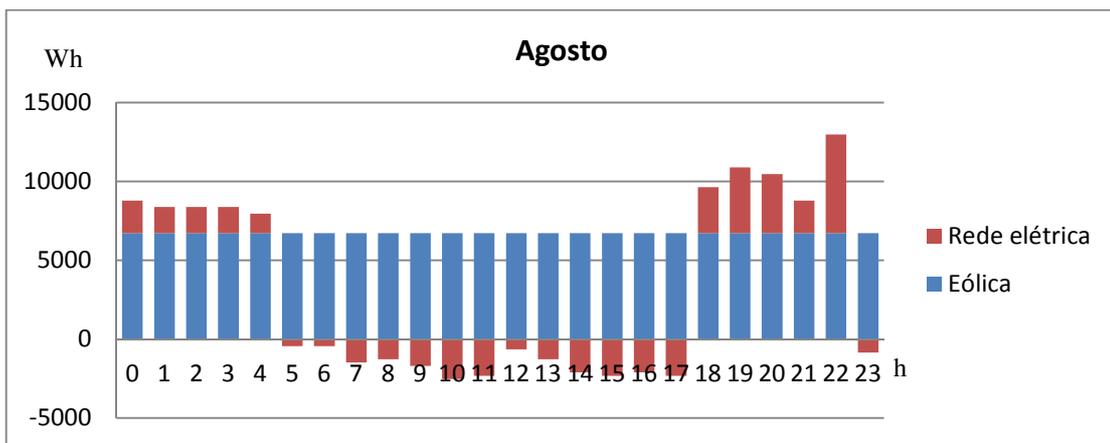


Figura 7. Balanço energético de agosto

Os valores negativos registrados no gráfico do mês de agosto representam a produção eólica que supera a demanda das residências. O excedente pode em alguns países ser vendido para a concessionária que opera a rede elétrica. No Brasil isto ainda não é possível, mas provavelmente o será em um futuro próximo, pois a geração distribuída de eletricidade é considerada uma tendência na produção de eletricidade no mundo todo.

4. Prospecção com Sistema de Compensação de Energia

4.1. Proposta em trâmite para permitir a conexão de turbinas eólicas à rede elétrica

Durante a realização desse projeto, estava em trâmite uma resolução da ANEEL para permitir a conexão de microgeradores na rede através da criação do chamado Sistema de Compensação de Energia. Por esse sistema, o consumidor e a distribuidora poderiam trocar energia, o que ainda não é permitido no Brasil. Caso a produção do microgerador exceda o consumo, o montante extra poderia ser acumulado e abatido nos meses seguintes. O crédito teria validade de doze meses.

Quanto maior a potência instalada, maiores são os ganhos de escala e mais barato o kWh eólico. Tendo em vista essa proposta da ANEEL, é interessante investigar a capacidade a ser instalada em uma casa ou conjunto de casas para atender o requisito de produzir o máximo de energia eólica que pode entrar no sistema de compensação, ou seja, investigar qual deve ser a potência instalada para que o excedente anual de energia eólica seja igual à energia demandada da rede.

Outro aspecto interessante é analisar os cenários mais favoráveis ao desenvolvimento da energia eólica distribuída verificando se é vantajoso para o consumidor do ponto de vista financeiro entrar no sistema de compensação. Ambas as análises são mostradas a seguir.

4.2. Método utilizado

4.2.1. Estimativa da potência

Ao normalizar as curvas de potência das turbinas da Fig. (5), dividindo cada uma pela potência no seu pico, obtém-se curvas muito semelhantes na região 0-20m/s, que é a mais relevante porque não há ocorrência significativa de ventos acima desse nível em nenhuma das 4 localidades tratadas. Assumiu-se que esse formato deve ser muito próximo da curva normalizada para a maior parte das turbinas do mercado. Partindo desta hipótese, basta calcular no modelo em

planilha eletrônica qual deve ser o múltiplo de uma turbina, por exemplo, a WES 80kW, a ser instalado para atingir a condição exigida de equiparar o excedente eólico com o consumo da rede no ano. Multiplica-se o fator obtido pela potência máxima atingida pela turbina de referência para se obter a potência nominal da(s) turbina(s) a serem instaladas.

4.2.2. Estimativa dos custos da turbina

Conforme Carbon Trust, 2008, a turbina em si representa entre 37% e 52% dos custos de instalação para pequenas eólicas. Será adotado como parâmetro um valor intermediário entre esses dois, 45%.

Foi feito um levantamento do preço de diversas turbinas, procurando-se considerar turbinas de potências nominais variadas (Maine Rural, 2011). A partir desses dados, foi feita uma regressão linear obtendo-se a seguinte fórmula para o cálculo do preço de uma turbina por kW em função da potência:

$$PkW (Pot) = 8017,4 - 26,25 * Pot \quad (2)$$

Com PkW em US\$ e Pot em kW.

O preço da turbina é obtido multiplicando-se o preço por kW pela potência nominal da turbina:

$$\text{Preço} = PkW * Pot \quad (3)$$

Observa-se que, como esperado, o preço do kW decresce com o aumento da potência.

As turbinas eólicas são projetadas para operar por pelo menos 20 anos (GIPE, 2004). Este período será utilizado como referência no cálculo do custo. O custo de operação e manutenção considerando todo o ciclo de vida de uma turbina corresponde a aproximadamente 20 a 25% do custo total por kWh produzido (European Wind Energy Association, 2004). Para os cálculos desse trabalho foi considerado então 22,5%.

4.2.3. Estimativa do preço do kWh e relação de preços

Como existem ganhos de escala ao instalar potências maiores, o custo do kWh produzido pela turbina eólica diminui com o aumento da potência instalada. Este custo também é menor em sites com ventos mais fortes.

O método usado para estimar o preço do kWh consiste em:

- Multiplicar por 20 a produção anual da turbina para ter o número de kWh produzidos no seu ciclo de vida
- Dividir o investimento inicial (calculado pela fórmula do Preço) pelo número de kWh produzidos na vida da turbina. Esse valor corresponde a 77,5% do preço do kWh (os outros 22,5% são de O&M).

Nessa primeira análise não é levado em conta o custo de oportunidade, que depende do investidor. Uma análise da influência do custo de oportunidade é feita na próxima seção.

Foram considerados 12 cenários levando em conta 3 portes de sistema (para 1, 10 e 50 casas) nas 4 localidades. Para a comparação com o preço da energia elétrica da rede, foi utilizada a tarifa residencial vigente em 27/09/2011 disponibilizada no site da ANEEL (ANEEL, 2011).

Tabela 3. Tarifas das distribuidoras

Cidade	Concessionária	Tarifa residencial vigente em 27/09/2011 (R\$)
Macau (RN)	COSERN	0,34472
Mostardas (RS)	AES SUL	0,31497
São Mateus (ES)	EDP ESCELSA	0,33882
Jipoca de Jericoacoara (CE)	COELCE	0,40199

Calculou-se para cada cenário a potência eólica a ser instalada para maximizar a energia trocada pelo Sistema de Compensação de Energia, igualando-se a sobra anual eólica com o consumo da rede.

Depois foram calculados o preço do kWh do sistema eólico e a razão entre este preço e a tarifa vigente da distribuidora de energia elétrica daquela localidade. A cotação do dólar utilizada para essa simulação foi de 1US\$=R\$1,77 (conforme em 25/09/2011).

4.2.4. Viabilidade econômica considerando custo de oportunidade

Como a maior parte dos custos da energia eólica (cerca de 77,5%) se refere ao capital empatado no início da vida útil da turbina com a instalação, o custo de oportunidade do consumidor possui uma influência importante na decisão de “vale a pena” investir em energia eólica ou não. Este custo corresponde à rentabilidade que poderia ser obtida o capital empatado na eólica fosse investido de outra forma.

O objetivo aqui é determinar para quais consumidores vale a pena investir ou não no projeto eólico se ele tiver como critério apenas o aspecto econômico, ou seja, se os benefícios ambientais e sociais da solução não pesarem na sua decisão. Essa decisão vai depender do seu custo de oportunidade.

Para construir o fluxo de caixa, foi considerado que a manutenção ocorrerá quatro vezes na vida útil da turbina (no fim dos anos 4, 8, 12 e 16) e que a tarifa de energia elétrica permanecerá constante. O benefício gerado pela eólica é a economia na tarifa de energia, ou seja, a produção eólica anual total (soma do que foi consumido e enviado para a rede) multiplicada pela tarifa vigente da distribuidora.

É possível descobrir para quais consumidores o investimento vale ou não a pena calculando-se a taxa interna de retorno (TIR) do fluxo de caixa. Se o custo de oportunidade do investidor for superior à TIR, o investimento não vale a

pena, se ele for inferior vale a pena. Como no item anterior, a TIR foi calculada para 12 cenários levando em conta 3 portes de sistema (para 1, 10 e 50 casas) nas 4 localidades.

4.3. Resultados e análises

4.3.1. Relação de preços

A título de ilustração, foi feita uma simulação considerando casas que consomem 500kWh por mês e cujo perfil diário de consumo segue o formato específico correspondente a cada região (PROCEM, 2007). Os principais resultados da simulação para os 12 cenários são apresentados na tabela a seguir.

Tabela 4. Cenários Sistema de Compensação de Energia

		Número de casas		
		1	10	50
Macau (RN)	Potência instalada (kW)	1,65	16,46	82,32
	Preço instalação (R\$)	23239	221050	853347
	Preço kWh eólico/rede	0,71	0,68	0,53
Mostardas (RS)	Potência instalada (kW)	1,78	17,80	89,02
	Preço instalação (R\$)	25117	237918	895054
	Preço kWh eólico/rede	0,85	0,80	0,60
São Mateus (ES)	Potência instalada (kW)	1,88	18,80	94,01
	Preço instalação (R\$)	26517	250391	923448
	Preço kWh eólico/rede	0,83	0,78	0,58
Jipoca de Jericoacoara(CE)	Potência instalada (kW)	1,39	13,94	69,72
	Preço instalação (R\$)	19696	188835	763512
	Preço kWh eólico/rede	0,52	0,50	0,40

O gráfico a seguir mostra a influência da localidade e dos ganhos de escala na relação entre o preço do kWh eólico e a tarifa da distribuidora.

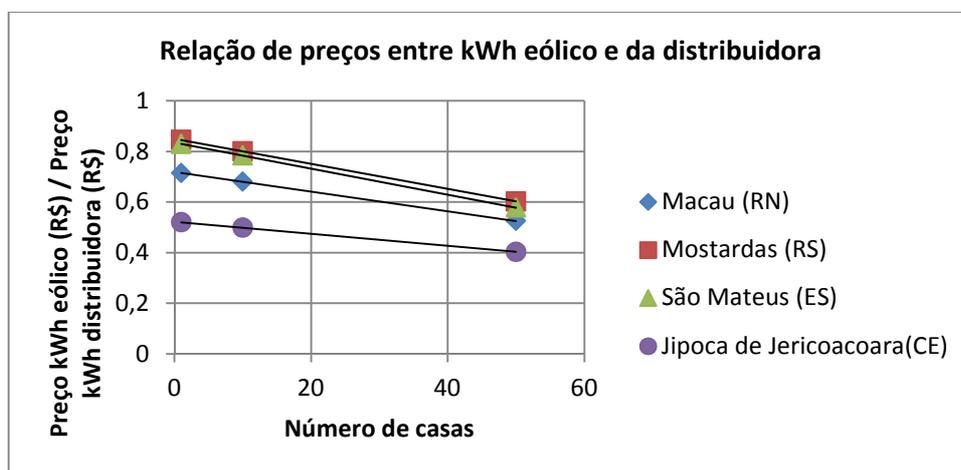


Figura 8. Relação de preços.

Observa-se que nessa primeira análise, sem levar em conta o custo de oportunidade do investidor, todos os cenários são favoráveis à instalação de sistemas de geração distribuída, o que não é uma surpresa porque foram escolhidas localidades com ventos fortes.

O cenário mais favorável é em Jipoca de Jericoacoara (CE). O perfil de consumo considerado para Jipoca de Jericoacoara e Macau é o mesmo, pois ambas as localidades ficam no Nordeste. No entanto, dois fatores contribuem para que o investimento eólico em Jericoacoara seja relativamente melhor: ventos mais fortes e tarifa da distribuidora mais elevada.

Ao comparar os resultados de Macau e São Mateus, observa-se o efeito da regularidade do vento sobre os resultados. As duas localidades possuem a mesma média anual de ventos (7,7m/s) e tarifas da distribuidora semelhantes.

No entanto, Macau apresenta um cenário mais propício ao desenvolvimento eólico porque apresenta ventos mais regulares.

Mostardas é o pior dos casos por uma série de fatores:

- Possui a menor tarifa vigente da distribuidora
- Tem a média anual de ventos mais baixa (7,5m/s)
- Apresenta ventos irregulares

Observa-se que como foi feita a hipótese de que os ganhos de escala são lineares na construção da fórmula do preço do kW (2), a relação entre o preço do kWh eólico e da distribuidora também decresce linearmente com o porte do projeto.

4.3.2. Influência do custo de oportunidade

Para cada um dos 12 cenários citados no item anterior, foi construído o fluxo de caixa e calculada a taxa interna de retorno. A Fig. (9) mostra qual é o custo de oportunidade “de corte” em cada cenário para a decisão de investir ou não no projeto eólico. Para os consumidores com custos de oportunidade abaixo dos “de corte” vale a pena investir no projeto eólico correspondente. Por outro lado, para aqueles que podem aplicar o capital a uma taxa superior à taxa “de corte”, o investimento não é interessante se for levado em conta exclusivamente o critério econômico. Foi feita uma aproximação de polinômio de ordem 2 para traçar as linhas e possibilitar a estimativa do custo de oportunidade “de corte” para outros cenários.

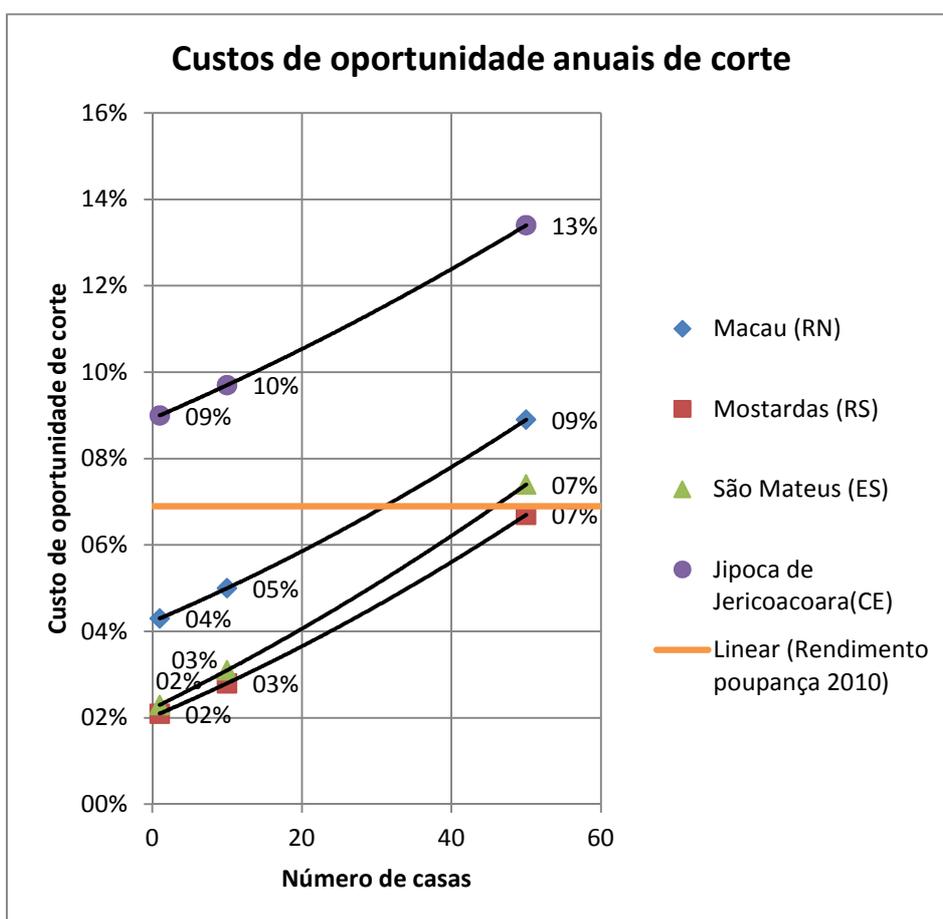


Figura 9. Custos de oportunidade “de corte”

Este gráfico permite determinar, para um investidor com um determinado custo de oportunidade, quais projetos valem a pena ou não. Para um consumidor de Macaú, por exemplo, cujo custo de oportunidade é igual ao rendimento da poupança em 2010, o investimento só vale a pena se o projeto envolver mais do que cerca de 30 casas com consumo de 500kWh mensais. Para outro consumidor com o mesmo custo de oportunidade localizado em Jericoacoara, vale a pena instalar a eólica e entrar no sistema de compensação mesmo que sozinho, pois o retorno sobre o investimento nesse caso será de 9,0% ao ano, enquanto que a poupança lhe daria apenas 6,9% ao ano.

6. Conclusões

Esse trabalho mostrou que a geração distribuída de energia eólica em escala comunitária é viável técnica e economicamente em localidades com ventos fortes no Brasil. Foram analisadas quatro localidades, sendo Jericoacoara a

mais favorável pela análise de custo de oportunidade devido à combinação de fatores econômicos e climáticos: a tarifa da distribuidora de energia elétrica local é a mais alta dentre as quatro tratadas e a média anual de vento a 50m é a maior, 9m/s

Além da localidade, o custo de oportunidade dos investidores e a escala do projeto também influenciam sua viabilidade, sendo fatores fundamentais para verificar se a rentabilidade do projeto é satisfatória. É importante observar que muitos usuários não visam somente lucros com a instalação de eólicas comunitárias. Para eles, as contrapartidas ambientais e sociais podem compensar uma taxa interna de retorno relativamente baixa se comparada aos outros investimentos aos quais têm acesso.

Porém, hoje o grande desafio no Brasil para viabilizar a geração distribuída em pequena escala e junto ao consumidor não reside na tecnologia nem na viabilidade econômica, mas sim na articulação política para estabelecer uma regulamentação que permita a conexão de microgeradores à rede elétrica. O Sistema de Compensação de Energia da ANEEL que estava em trâmite quando esse trabalho foi finalizado não leva em conta a diferença qualitativa das fontes de energia, precificando igualmente o kWh eólico produzido junto ao usuário e o da rede. Porém, ele seria um primeiro passo importante para incentivar a microgeração eólica no Brasil. Os próximos passos seriam remunerar de forma justa suas contrapartidas ambientais e sociais, incentivar a participação da população e implementar políticas públicas que de fato possibilitem que a geração eólica distribuída atinja seu máximo potencial. Um exemplo de política fundamental para que este objetivo seja atingido seria disponibilizar à população dados de vento com precisão e qualidade. Ao longo do trabalho constatou-se que os dados públicos de vento no território brasileiro são muito limitados. A sistematização desses dados e o acesso público certamente possibilitariam a realização de projetos de melhor qualidade.

5. Referências

- AMARANTE O; ZACK M.; SÁ A.; Atlas do Potencial Eólico Brasileiro, 2001. 45p. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm - acessado dia 04/10/2010.
- ANEEL, Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2ª edição, 2005. 243p. Disponível em: <http://www.ANEEL.gov.br/aplicacoes/Atlas/download.htm> - acessado dia 08/09/2010.
- ANEEL, Tarifas residenciais, 2011. Disponível em <http://www.ANEEL.gov.br/area.cfm?idArea=493>- acessado dia 27/9/2011.
- Bergey Wind Power, Owner's Manual Bergey EXCEL 10, 2011. 9p. Disponível em <http://production-images.webapeel.com/bergey/assets/2011/9/7/96578/Excel.S.OM.2011.R1.pdf> - acessado em 05/04/2011.
- Carbon Trust, Small-scale wind energy - Policy insights and practical guidance, 2008. 38p.
- European Wind Energy Association, Wind Energy – The Facts, 2004. 330p. Disponível em <http://www.ewea.org/index.php?id=91> – acessado em 23/09/2011.
- GIPE, P., Renewable Energy for Home, Farm and Business, 2004. 495p.
- Maine Rural, Wind Turbine Buyers Guide 2011, 2011. 2p. Disponível em <http://www.mainerural.org/2011/02/24/Wind%20Turbine%20Buyers%20Guide.pdf> – acessado dia 22/09/2011
- Northern Power, Northern Power 100 Specification Sheet, 2011. 2p. Disponível em <http://www.northernpower.com/pdf/Northern-Power-100-Spec-Sheet-US.pdf> - acessado em 05/04/2011
- PROCEN. Pesquisa de Posse de Equipamentos e Hábitos de Uso – Ano Base 2005 – Relatório Brasil Classe Residencial, 2007, 51p.
- WES 18, WES 18 Complete Description, 2011. 11p. Disponível em <http://www.wes18.com/files/pdf/Complete%20Description%20WES18.pdf> – acessado em 05/04/2011
- World Wind Energy Association, World Wind Energy Report 2009. 20p. Disponível em: www.wwindea.org/home/images/stories/worldwindenergyreport2009_s.pdf - acessado dia 15/9/2010.

DISTRIBUTED GENERATION OF ELECTRICITY USING WIND POWER IN BRAZIL

Maria Cecília Basile Leite de Barros

mclb@hotmail.com

Abstract. This project analyses an unconventional way of developing wind energy in Brazil: community-scale energy systems. A model was developed to estimate the shares of electricity produced by the wind turbines and consumed from the grid in a community that installs wind turbines to increase its independence from the conventional grid. Annual average speed data from ANEEL and the Weibull distribution were used to model the wind regime in 4 different localities. Energy consumption data were obtained from PROCEN and technical data from the turbines were taken from the manufactures websites. Finally, this project analyses which scenarios would make distributed wind generation feasible if the ANEEL resolution on the energy compensation system is approved. These scenarios take into account the location, the scale of the project and the opportunity cost of investors.

Keywords. *Wind Power, Electricity Generation*