

Potencial eólico para geração de energia elétrica

Análise do potencial eólico no Parque Estadual da Serra do Mar do Estado de São Paulo

ULISSES GALVÃO ROMÃO*

Devido às restrições de natureza socioambiental à instalação de grandes usinas hidrelétricas, à expansão do pensamento ecológico, à constante redução de preço de novas tecnologias e ao grande potencial eólico brasileiro, torna-se cada vez mais viável a utilização no Brasil da geração eólica que é o foco deste artigo.

Projeções da Empresa de Pesquisa Energética (EPE) apontam para um crescimento da capacidade instalada das usinas movidas por ventos de cerca de 320% no Brasil ao longo desta década. Esse potencial foi viabilizado pelos incentivos do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (Proinfa) e pelos financiamentos do BNDES que fomentaram a demanda inicial do segmento e que, aliados à redução de preços dos equipamentos no mercado internacional e modularidade dos projetos, têm atraído os investidores privados e têm permitido a queda nos custos da energia eólica. Calcula-se que haja potencial para instalar até 300 000 MW de usinas eólicas no país.

VANTAGENS COMPETITIVAS DO BRASIL

Segundo o Boletim 01/2012 do Operador Nacional do Sistema elétrico (ONS): as usinas eólicas despachadas pelo mesmo (882,6 MW) em 2011 operaram com um FC (fator de capacidade) de 0,33, ou seja, 293 MW médios/ano.

Este valor de FC foi verificado tanto no Nordeste (572,6 MW) como no Sul (190 MW) – e alguns parques do NE chegaram a um FC de 50%.

Na China (960 GW totais) os 44 730 MW eólicos instalados geraram 50,1 TWh (1,28% do total consumido) e o FC médio em 2010 alcançou apenas 23%.

Outros fatores positivos são:

1) a presença ainda importante dos reservatórios hidrelétricos como melhor forma de estocagem de energia na operação con-

junta com as fontes eólicas; e
2) o robusto sistema de transmissão brasileiro constituído pelas linhas do Sistema Interligado Nacional (SIN) com mais de 100 000 quilômetros de extensão.

PREMISSAS E TENDÊNCIAS TÉCNICAS DA ENERGIA EÓLICA

Necessidade de projeto adequado de engenharia, medições de campo de longa

duração, seleção correta dos equipamentos, tipos de torres, fundações, logística de transporte, montagem e equacionamento financeiro.

Tendência de aumento da potência dos aerogeradores alcançando 10 MW, já em testes, especialmente para instalações offshore.

As conexões de rede demandam atenção especial segundo a experiência internacio-

nal, pelo caráter intermitente da fonte eólica.

Para maior integração da energia eólica e flexibilidade operacional do sistema elétrico os modernos aerogeradores devem permitir: controle e regulação de voltagem, fator de potência, frequência, variações do despacho de carga, fornecer potência reativa capacitiva e indutiva e limitar as correntes de curto circuito do sistema, capacidade de suportar afundamentos temporários de tensão e frequência sem desligamentos (LVRT).

ENERGIA EÓLICA

A energia eólica é a energia cinética contida nas massas de ar em movimento de translação. Seu aproveitamento para a geração de energia elétrica ocorre através da transformação em energia cinética de rotação, empregando turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores.

Para compor a geração da fazenda eólica proposta foram considerados aerogeradores de eixo horizontal, hélice de três pás e gerador síncrono com acoplamento direto, devido a sua maior utilização no mercado nacional. Dentre os principais impactos socioambientais negativos das usinas eólicas se destacam os impactos sonoros devidos ao ruído dos rotores e os impactos visuais decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores. Como a localização escolhida se situa no interior do Parque Estadual da Serra do Mar do Estado de São Paulo, em área não habitada, os impactos poderão ser minimizados se autorizada a sua construção.

AQUISIÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS

Para maior eficiência na geração de energia elétrica da fazenda eólica e menor perda em sua transmissão, focou-se a análise do potencial eólico da região situada no local mais próximo possível da região consumidora, ou seja, nas proximidades das instalações da Hidrelétrica Henry Borden.

Para a avaliação do potencial eólico requer-se coletas precisas e análise dos dados da velocidade, sentido e direção dos ventos. Uma primeira estimativa do potencial eólico pode ser conseguida, analisando dados anemométricos de aeropostos ou estações meteorológicas, dados de satélites ou modelos atmosféricos e simulações computacionais. Para fins de geração de energia elétrica, a energia eólica é considerada tecnicamente aproveitável somente se sua densidade for maior



DIVULGAÇÃO/CPFL

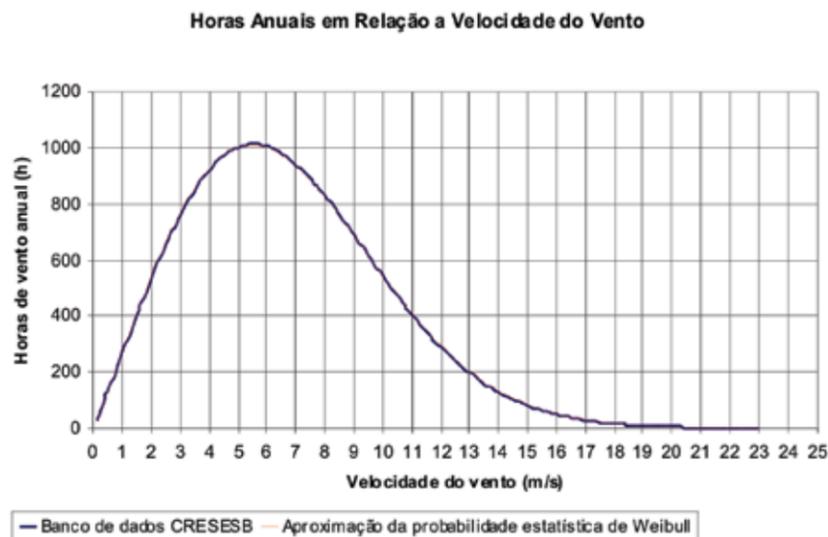


Figura 1 - Horas anuais em relação à velocidade do vento

ou igual a 500 W/m², a 50 metros de altura, o que pressupõe uma velocidade mínima de 7 m/s, segundo a Organização Mundial de Meteorologia. Para a região em estudo, não existem registros de medidas confiáveis dos ventos e assim os dados foram baseados no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro e no banco de dados do Centro de Referência para as Energias Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (Cresesb), pertencente ao Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), obtidos através de modelos atmosféricos e simulações computacionais.

Para avaliação das eventuais interferências elétricas, estáticas e dinâmicas, na interconexão com a rede elétrica existente, foi executada uma avaliação teórica utili-

zando também simulação computacional com o software livre PSAT (Power System Analysis Toolbox). Isto não somente pela sua gratuidade, mas pela velocidade de suas iterações e atualizações, podendo ser modificado e testado por qualquer usuário para obtenção acelerada dos resultados. O PSAT contém aplicações para determinação do fluxo de potência elétrica e também para análise dos transitórios eletromagnéticos, que foram utilizados neste artigo.

LOCALIZAÇÃO DO SÍTIO PARA INSTALAÇÃO DOS GERADORES EÓLICOS

Neste processo foi analisada uma área de aproximadamente 226 km² com 13 560 pontos de pesquisa distribuídos geografi-

camente em incrementos de segundo em segundo para latitude e longitude, focalizando áreas com menor sazonalidade dos ventos, maior extensão contínua e maior planicidade.

A área final selecionada que apresentou o melhor resultando tem uma superfície de 12,2 km² (4,2 km x 2,9 km) e é praticamente plana.

DADOS DO VENTO DO LOCAL

1) Direção e Sentido Predominante

A direção dos ventos no local é de sudeste (SE) para noroeste (NW) e sentido predominante mar/planalto, obtida através do Mapa de Direções Predominantes contido no Atlas do Potencial Eólico Brasileiro.

2) Fatores de Weibull da Velocidade Média

A distribuição de Weibull é usada em situações onde se estudam grandezas com grandes variações. No estudo da energia eólica, a distribuição de Weibull é bastante aceita para representar a distribuição de velocidades do vento e suas características, assim como é uma ferramenta para a análise da potência e geração de energia.

A Função de Distribuição de Weibull depende de três parâmetros: k chamado de fator de forma, c chamado de fator de escala, V é a grandeza em estudo (velocidade do vento) e V₀ representa o menor valor da grandeza em estudo, que em nosso caso foi admitido com valor zero.

Para este caso os valores da Densidade de Probabilidade de Weibull da velocidade média anual dos ventos, também foram obtidos através do banco de dados do Cresesb (figura 1).

A aproximação por tentativa e erro da probabilidade estatística de Weibull em relação à velocidade média anual dos ventos obtida através do banco de dados do Cresesb, resultam nos coeficientes:

$k = 2,06$ e $c = 7,58$

INSTALAÇÃO

Para maior rendimento do potencial eólico, foi admitida a instalação de 96 aerogeradores, que é a maior quantidade possível para o local.

Para evitar os efeitos da turbulência e perdas de velocidade após a passagem pelos aerogeradores e sua recomposição natural ao longo de seu percurso, foi admitida uma distância entre os geradores eólicos de 5 vezes Φ (diâmetro da área varrida pela hélice do

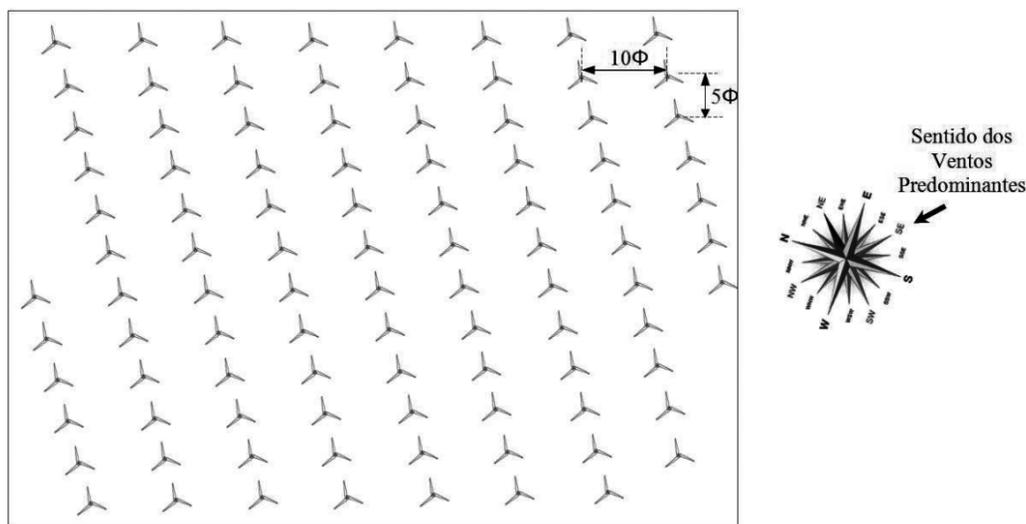


Figura 2 - Instalação dos 96 geradores eólicos no local escolhido

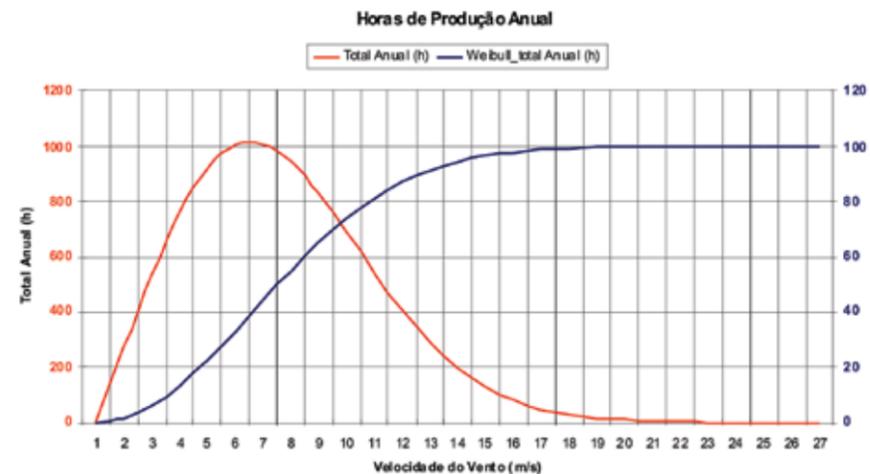


Figura 3 - Distribuição cumulativa de Weibull da velocidade média anual do vento para o local escolhido

aerogerador) na direção NE/SW e 10 vezes Φ na direção SE/NW e posicionados sem alinhamento frontal (figura 2).

POTÊNCIA E ENERGIA MÉDIAS ANUAIS FORNECIDAS

As características de um aerogerador são fornecidas por sua curva de potência em função do valor da velocidade de vento, rendimentos aerodinâmicos e componentes do aerogerador.

Em nosso caso os dados do aerogerador são: Potência nominal de 0,8 MW, diâmetro do rotor de 48 m, altura da torre de 50 m, velocidade de partida do aerogerador 2 m/s (há um aumento da potência de geração, à medida que a velocidade do vento aumenta até atingir a velocidade nominal quando a potência se estabiliza), velocidade nominal de 14 m/s e início da velocidade de corte de 28 m/s até o corte total aos 34 m/s.

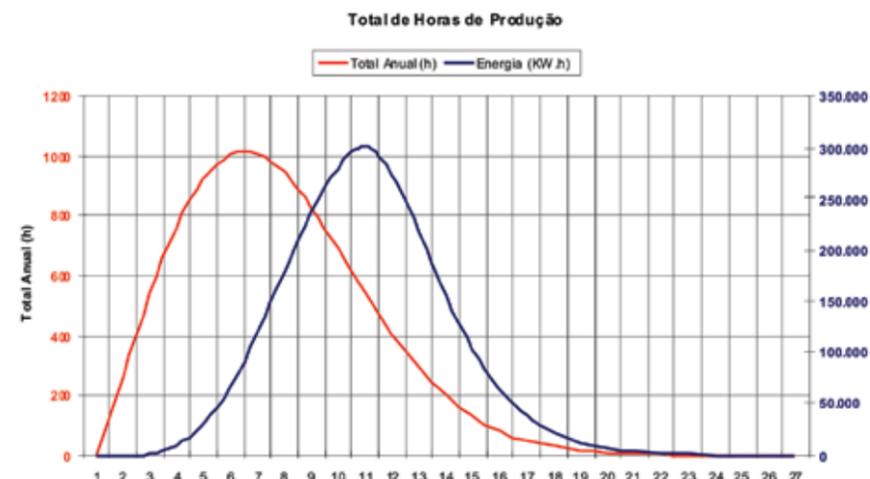


Figura 4 - Curva da energia anual extraída do local para o aerogerador escolhido

quantidade de energia que se espera ser gerada pelo aerogerador.

Para avaliar o aproveitamento da potência instalada no local pode-se calcular o Fator de Capacidade (FC), que é a energia total produzida num período T dividida pela energia que seria produzida caso o aerogerador trabalhasse em 100% do tempo com sua potência nominal. E as Horas Equivalentes, h_e , que representam a quantidade de horas necessárias para se produzir uma determinada quantidade de energia, com o aerogerador operando à potência nominal.

GERAÇÃO DE ENERGIA DO PARQUE PROPOSTO

Geração de energia elétrica do Parque Eólico Proposto (ver tabela 1).

Para analisarmos a viabilidade da instalação deste Parque Eólico no local escolhido, comparamos com o maior parque eólico do Brasil, o Parque Eólico do Rio do Fogo, no Rio Grande do Norte (ver tabela 2).

Para comparação, equiparamos a quantidade de 62 aerogeradores do Parque Eólico do Rio do Fogo no Parque Eólico Proposto, obtendo a produção anual de 131,688 GWh de energia elétrica. Comparando também os demais valores, concluímos que seus valores são bastante semelhantes, sendo o Parque Eólico Proposto apenas 6,2% maior na quantidade da produção anual de energia.

Este valor é superior devido ao maior Fator Horas Equivalentes (h_e) no Parque Eólico Proposto, ou seja, 6,16% maior. Podemos concluir que as condições encontradas no Parque Eólico Proposto são suficientes e compatíveis com o maior parque eólico já instalado, confirmando a viabilidade econômica de sua instalação dado o seu volume anual previsto de produção de energia elétrica.

SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL

Para a simulação computacional, foi construído um diagrama elétrico contendo 106 barras com tensões variando entre 6,6 kV a 765 kV, representando as principais barras de geração, transmissão e distribuição da região da Grande São Paulo e Baixada Santista do Estado de São Paulo.

Com o objetivo de simular as condições de sazonalidade dos ventos através da partição da geração, a fazenda Eólica Proposta foi dividida em conjuntos de oito aerogeradores interligados através de 12 barras geradoras de 88 kV, barras estas conectadas a uma única barra de transmissão (WindFarm).

1) Simulação Estática

Os resultados obtidos confirmaram

Tabela 1

Parque Eólico Proposto		
Descrição	Valor	Observações
Potência nominal (MW)	0,8	1 Aerogerador
Potência estimada média anual (MW)	0,243	
Energia estimada por ano (GWh/ano)	2,124	
Potência nominal (MW)	76,8	96 Aerogeradores
Potência estimada média anual (MW)	23,3	
Energia estimada por ano (GWh/ano)	203,9	
Fatores estimados de produção (h/ano)	he = 2654	FC = 0,3038 ou 30,38%

que as tensões nas diferentes barras se mantiveram inalteradas com a injeção da energia produzida pelos aerogeradores, independentemente da quantidade interligada, indicando que o sistema elétrico, na situação estática, encontra-se estável.

Houve redução das potências consumidas pelos transformadores de interligação com a barra da transmissão de 345 kV de Itaipu, causando menor aquecimento destes transformadores e resultando na elevação de sua vida útil. Também se verificou menor consumo da geração de Itaipu, proporcionando maiores folgas para sua transmissão.

Houve redução do total de perdas ativas e em maior proporção das perdas reativas do sistema elétrico, indicando aumento de sua eficiência.

2) Simulação Dinâmica nas principais barras de 88 kV, 230 kV e 345 kV

As contingências simuladas no diagrama elétrico aplicadas nas barras próximas à WindFarm seguem abaixo.

Curto-circuito (falta) - Em todos os casos não houve mudanças significativas nos picos de correntes durante a falta, a exceção de algumas barras próximas a WindFarm,

conforme esperado, nem houve mudanças significativas no tempo de retorno da estabilização após sua retirada, indicando que o dimensionamento do sistema, sem a fazenda eólica, estava coerente e a estabilização não é influenciada por sua implementação.

Perdas - A perda de certas gerações causa a desestabilização de todo do sistema, conforme esperado, pois é responsável pela maioria do fornecimento de energia para toda a rede, não sendo influenciada pelos aerogeradores. Mas os aerogeradores podem impedir a desestabilização das cargas quando da perda não simultânea de geradores das barras de 88 kV, pois sua geração foi dimensionada exatamente para suprir esta demanda quando necessário, podendo inclusive reduzir a geração da Usina Termoelétrica de Piratininga ou minimizar a geração da Usina Hidrelétrica de Henry Borden.

A interligação do Parque Eólico Proposto também melhora, quando de sua geração maximizada, o valor das tensões para os casos de perdas de linhas e transformadores da transmissão e algumas perdas de cargas das barras de 88 kV.

Tabela 2

Parque Eólico Rio do Fogo (Instalação 2006/2007 - Aerogeradores Tipo Enercon - E48/800)		
Descrição	Valor	Observações
Potência nominal (MW)	0,8	1 Aerogerador
Potência estimada média anual (MW)	0,229	
Energia estimada por ano (GWh/ano)	2	
Potência nominal (MW)	49,6	62 Aerogeradores
Potência estimada média anual (MW)	14,2	
Energia estimada por ano (GWh/ano)	124	
Fatores estimados de produção (h/ano)	he = 2.500	FC = 0,285 ou 28,5%

CONCLUSÕES

A condição eólica interna à área do Parque Estadual da Serra do Mar do Estado de São Paulo é propícia a instalação da Fazenda Eólica Proposta, gerando energia elétrica através de recursos sustentáveis e com um potencial de produção igual aos maiores já instalados no país.

Melhora as condições para a estabilização da energia elétrica na região da Grande São Paulo e Baixada Santista em caso de algumas contingências.

Pode diminuir a necessidade de geração da Usina Termoelétrica de Piratininga, diminuindo a geração de gases poluentes na região.

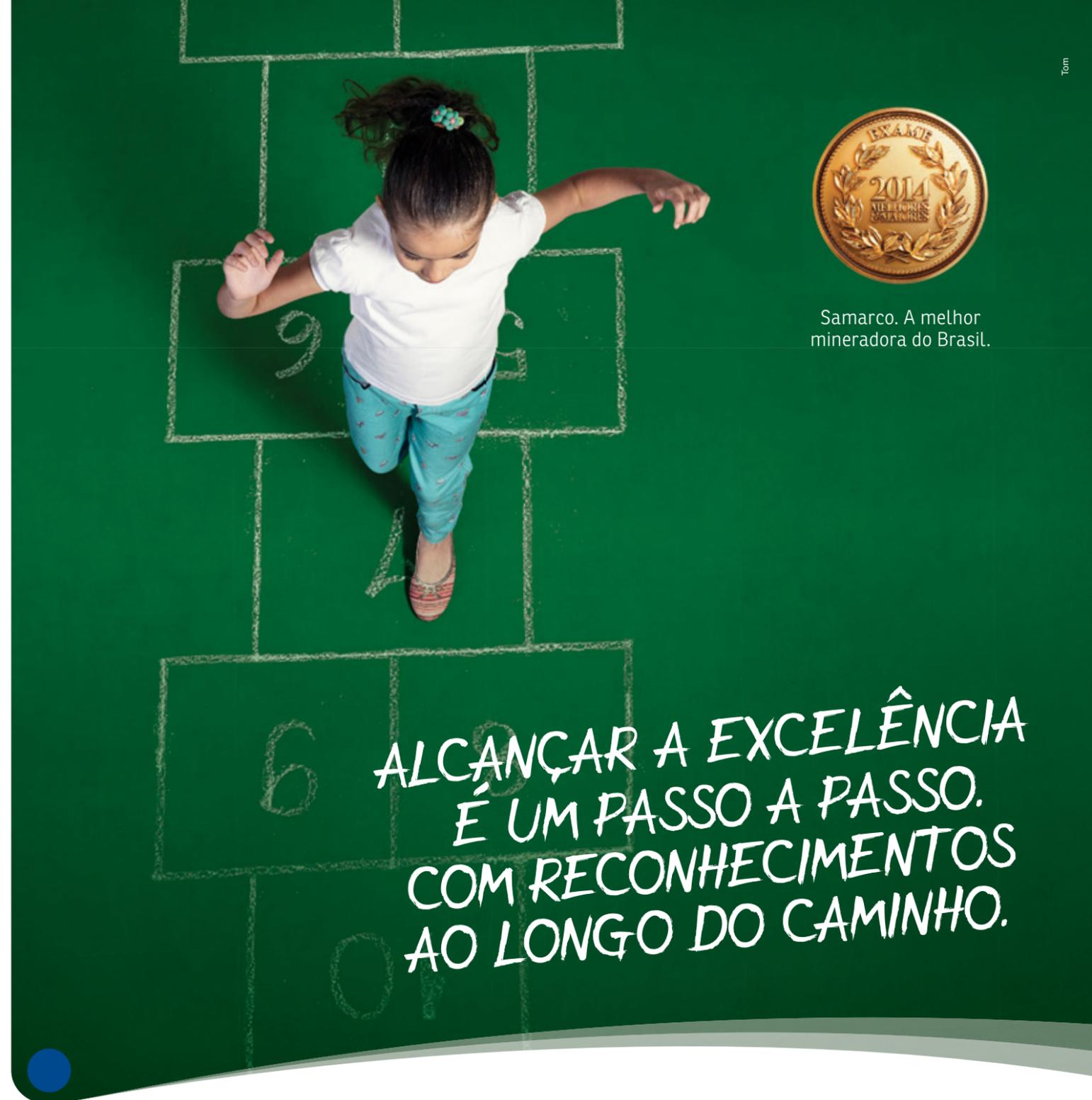
Pode reduzir as perdas gerais do sistema elétrico nacional, aumentando sua expectativa de vida e diminuir a dependência da geração remota e transmissão de longa distância.

Deve-se levar em consideração que todos os cálculos e proposições deste trabalho foram baseados em dados e estimativas de simulações computacionais, podendo não refletir totalmente as condições reais existentes. Para obter-se os dados reais, deverão ser executadas medições das condições eólicas do local através de instrumentos confiáveis a 50 metros de altura durante pelo menos 1 ano. Em recente evento sobre energia eólica, a Petrobras, que tem participado de alguns empreendimentos nesse segmento, manifestou preocupação sobre o equilíbrio financeiro de algumas propostas e da necessidade de modificações dos leilões respectivos, com introdução de exigência de medições acuradas de longo prazo do FC (10 anos), como a mesma vem fazendo e cujos dados ela põe à disposição dos eventuais investidores.

Também são necessários estudos de impacto ambiental do projeto antes da sua implantação para, por exemplo, comprovar a não influência da instalação sobre a rota migratória de pássaros passando pela área escolhida.

Por outro lado a Secretaria de Energia do Estado de São Paulo acaba de publicar o Atlas Eólico do Estado de São Paulo cujos dados podem ser acessados pelos interessados diretamente ou no site da secretaria.

**Ulisses Galvão Romão é engenheiro eletricista, formado pela Faculdade de Engenharia Industrial (FEI), pós-graduado em Sistemas de Energia pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), atualmente cursando Mestrado em Engenharia Elétrica, Energias Alternativas (UFU), professor efetivo da Escola Técnica Lauro Gomes (SBC/SP) e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo (IFSP - Campus Cubatão) E-mail: uromao@gmail.com*



Samarco. A melhor mineradora do Brasil.

Ser eleita a melhor mineradora do Brasil, pelo segundo ano consecutivo, de acordo com a revista *Exame*, não é só um motivo para toda a Samarco se orgulhar. É um reconhecimento de que o crescimento das empresas só faz sentido se for pautado na excelência e em direção a uma sociedade mais sustentável. A começar por uma mineração que valoriza o diálogo e a construção de relações de confiança com as pessoas. Porque avançar com responsabilidade, gerando valor para todos, faz parte da trajetória da Samarco.

Samarco. A melhor mineradora e a segunda maior do Brasil.