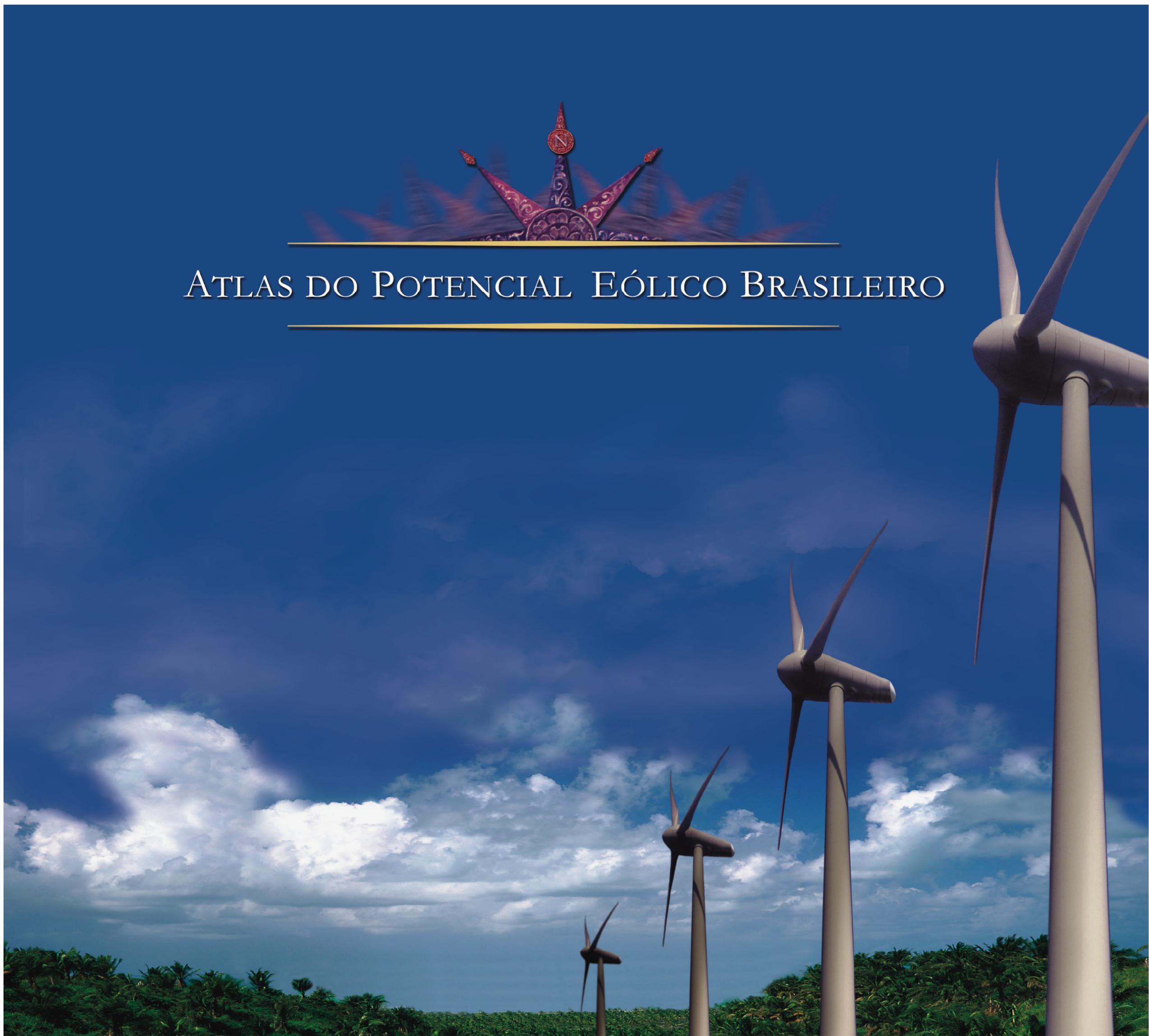




ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO



**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**



Eletrobrás 

CEPEL 
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica



REALIZADO POR





ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

ODILON A. CAMARGO DO AMARANTE
Camargo Schubert Engenharia Eólica

MICHAEL BROWER E JOHN ZACK
TrueWind Solutions

ANTONIO LEITE DE SÁ
Centro de Pesquisas de Energia Elétrica/CEPEL

BRASÍLIA, 2001



**MINISTÉRIO DE
MINAS E ENERGIA**



MENSAGEM

O aproveitamento de energia eólica no mundo cada vez mais consolida-se como uma alternativa viável e limpa. Esse tipo de energia compõe complementarmente matrizes energéticas de muitos países e, uma vez que os ventos oferecem uma opção de suprimento no século XXI, em conjunto com outras fontes renováveis, poderá conciliar as necessidades de uma sociedade industrial moderna com os requisitos de preservação ambiental.

Os números que indicam a crescente utilização de energia eólica, em várias partes do mundo, comprovam a maturidade da tecnologia que envolve e dos aspectos sócio-econômicos que lhes são pertinentes. Consideradas a sua configuração geográfica, as suas condições climáticas e a necessidade e oportunidade de ampliar e revigorar a nossa matriz energética, para o Brasil mostra-se absolutamente adequado e estratégico conduzir esforços para acompanhar essa tendência e implementar efetivamente a tecnologia da geração de energia eólica.

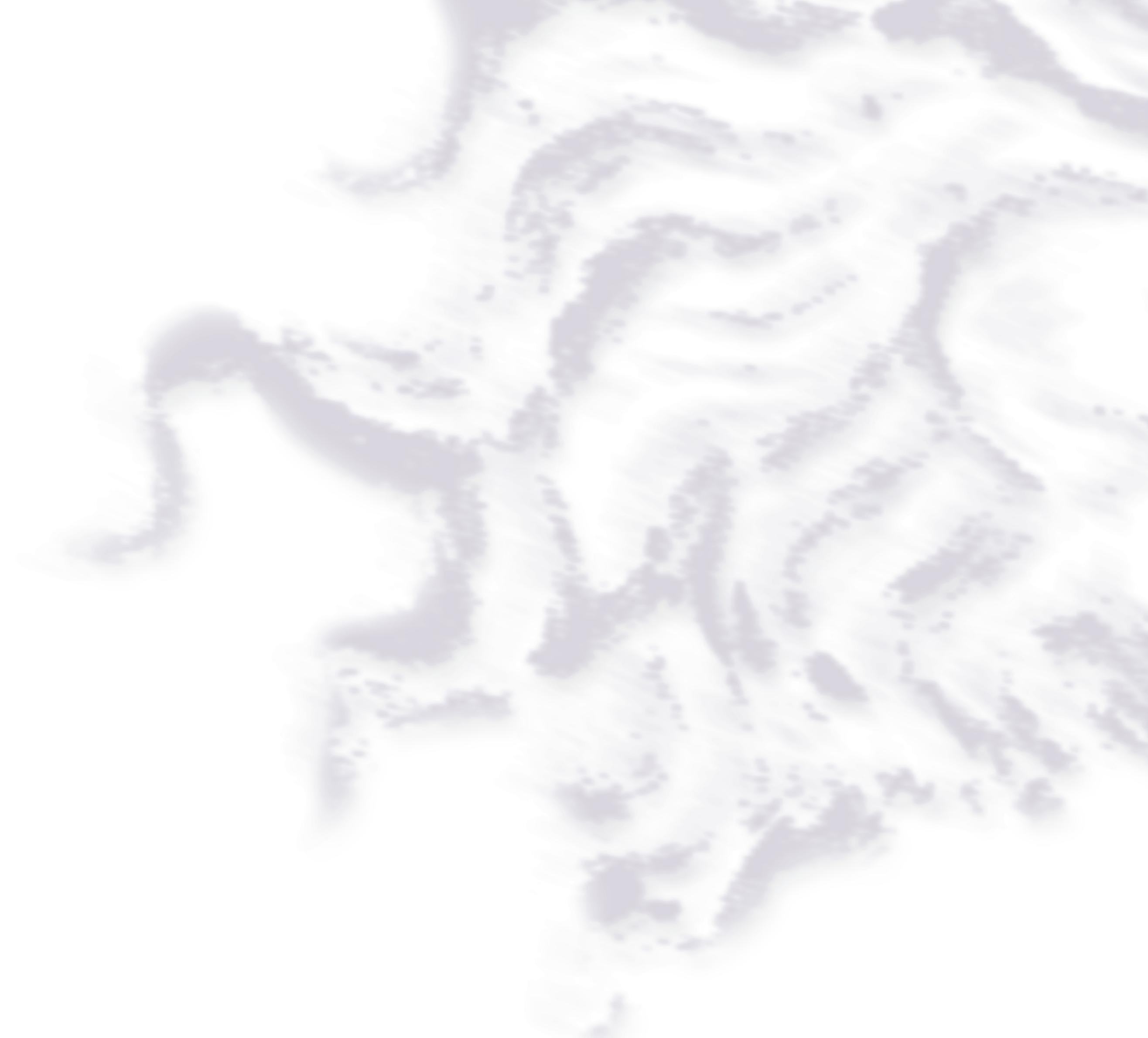
Para esse fim, no entanto, torna-se indispensável o levantamento de seu potencial eólico com a mais moderna tecnologia de aquisição e tratamento de dados, condição essencial para que projetos de fazendas eólicas se multipliquem, o que possibilitará a transformação dos bons ventos brasileiros em eletricidade para o nosso desenvolvimento.

O ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO, que ora lançamos, traduz o propósito de oferecer todos os dados relativos ao levantamento do potencial eólico, no Brasil, com informações sobre vento de qualidade para uso em projetos de geração eólica em maior número e com maior confiabilidade.

O Ministério de Minas e Energia parabeniza as instituições e pessoas envolvidas na elaboração desse marco para o desenvolvimento da energia eólica no Brasil, bem como se orgulha de entregar, aos pioneiros da energia eólica brasileira e aos novos atores que surgirão nessa área, este importante instrumento de trabalho.

JOSÉ JORGE DE VASCONCELOS LIMA

MINISTRO DE ESTADO DE MINAS E ENERGIA





APRESENTAÇÃO

O ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO cobre todo o território nacional. O seu objetivo é fornecer informações para capacitar tomadores de decisão na identificação de áreas adequadas para aproveitamentos eólico-elétricos. Este atlas destina-se a autoridades governamentais, planejadores do setor elétrico, agências nacionais e internacionais de financiamento, instituições de fomento e investidores.

Um dos fatores que limitam investimentos em empreendimentos eólicos é a falta de dados adequados e confiáveis. Este atlas vem preencher parte dessa lacuna, apresentando informações de qualidade sobre as áreas com bom potencial eólico no território nacional e suas principais características, tais como: velocidade média, direção, regime e sazonalidade do vento.

Na elaboração deste atlas foram empregadas ferramentas computacionais de última geração para processamento dos dados utilizados na obtenção das informações de interesse. Tais informações são apresentadas em forma de diversos mapas, abrangendo cada uma das regiões brasileiras, Norte, Sul, Nordeste, Sudeste e Centro-Oeste bem como a representação da superfície total do país.

O ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO constitui-se, assim, em um instrumento indicativo fundamental para que se possa pré-avaliar os recursos eólicos para geração de energia elétrica, sua principal finalidade, podendo também ser fonte de consulta para pesquisas acadêmicas e científicas, além de outras possíveis aplicações que utilizem dados dos ventos.

AFONSO HENRIQUES MOREIRA SANTOS

SECRETÁRIO DE ENERGIA



SUMÁRIO

MENSAGEM

APRESENTAÇÃO

SUMÁRIO EXECUTIVO

1. INTRODUÇÃO

- 1.1 ESTUDOS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO 9
- 1.2 O BRASIL: GEOGRAFIA 9
- 1.3 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO 10
- 1.4 CLIMA E SAZONALIDADE 12

2. FUNDAMENTOS DA ENERGIA EÓLICA

- 2.1 ORIGEM 13
- 2.2 HISTÓRICO 13
- 2.3 PRINCÍPIOS E TECNOLOGIA 14

3. METODOLOGIA

- 3.1 O SISTEMA MESOMAP 15
- 3.2 RESULTADOS DO MESOMAP 20
- 3.3 LIMITAÇÕES DO MÉTODO 20
- 3.4 VALIDAÇÃO DO MESOMAP 21

4. POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO

- 4.1 REGIMES DE VENTO SOBRE O BRASIL 23
- 4.2 MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO ANUAL 25
- 4.3 MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO SAZONAL 31
- 4.4 MAPAS DOS POTENCIAIS EÓLICOS REGIONAIS 37

5. ANÁLISE

- 5.1 POTENCIAL EÓLIO-ELÉTRICO ESTIMADO 43

REFÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 45

RELAÇÃO DE FIGURAS

- 1.1 POSIÇÃO GEOGRÁFICA DO BRASIL 10
- 1.2 RELEVO E PRINCIPAIS BACIAS HIDROGRÁFICAS 10
- 1.3 MOSAICO DE IMAGENS DE SATÉLITE 10
- 1.4 SÍNTESE DO SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO 11
- 1.5 MÉDIAS CLIMATOLÓGICAS SAZONAIS 12
- 2.1 EVOLUÇÃO MUNDIAL DA CAPACIDADE EÓLIO-ELÉTRICA 13
- 2.2 ESTEIRA AERODINÂMICA E AFASTAMENTO ENTRE TURBINAS EÓLICAS 14
- 2.3 USINA EÓLIO-ELÉTRICA DE PRAINHA, CEARÁ 14
- 2.4 CURVA TÍPICA DE POTÊNCIA DE TURBINAS EÓLICAS 14
- 2.5 VISTA GERAL DA FABRICAÇÃO DAS PÁS E MONTAGEM DA NACELE 14
- 3.1 REGIÕES UTILIZADAS NO CÁLCULO DA MESOESCALA 16
- 3.2 MODELO DE RELEVO 17
- 3.3 MOSAICO DE IMAGENS DE SATÉLITE (SPOT) 18
- 3.4 MODELO DE RUGOSIDADE 19
- 3.5 FREQUÊNCIA DE OCORRÊNCIA DE VENTO BASEADO NA CURVA DE WEIBULL 20
- 3.6 EXEMPLO DE DETALHES NA SUBESCALA: RIO DE CONTAS, BAHIA 21
- 3.7 REGRESSÃO LINEAR PARA AJUSTE DE VELOCIDADE 22
- 4.1 DISTRIBUIÇÃO GERAL DOS VENTOS 23
- 4.2 MOSAICO SPOT SOBRE RELEVO 3D 24
- 5.1 POTENCIAL EÓLICO ESTIMADO 44

RELAÇÃO DE MAPAS

POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO ANUAL

- VELOCIDADES MÉDIAS ANUAIS E FLUXOS DE POTÊNCIA EÓLICA 26
- DIREÇÕES PREDOMINANTES ANUAIS 27
- REGIMES DIURNOS – MÉDIA ANUAL 28
- K – FATOR DE FORMA DE WEIBULL – MÉDIA ANUAL 29

POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO SAZONAL

- VELOCIDADES MÉDIAS TRIMESTRAIS 32
- RAZÃO ENTRE A VELOCIDADE MÉDIA TRIMESTRAL E A ANUAL 33
- DIREÇÕES PREDOMINANTES 34
- K – FATOR DE FORMA DE WEIBULL – MÉDIAS SAZONAIS 35

POTENCIAL EÓLICO REGIONAL

- NORTE 38
- NORDESTE 39
- CENTRO-OESTE 40
- SUDESTE 41
- SUL 42



SUMÁRIO EXECUTIVO

ESCOPO: O presente ATLAS eólico abrange todo o território brasileiro. Seu objetivo é fornecer informações relativas aos ventos, na resolução adequada, para capacitar tomadores de decisão na identificação de áreas para aproveitamentos eólico-elétricos.

CONTEXTO: A geração eólio-elétrica expandiu-se no mundo de forma acelerada ao longo da última década, atingindo a escala de gigawatts. Um dos fatores que limitam investimentos em empreendimentos eólicos tem sido a falta de dados consistentes e confiáveis. A maioria dos registros anemométricos disponíveis é mascarada por influências aerodinâmicas de obstáculos, rugosidade e relevo. A disponibilidade de dados representativos é importante no caso brasileiro, que ainda não explorou esse recurso abundante e renovável de forma expressiva.

ESTE ATLAS DO POTENCIAL EÓLICO BRASILEIRO tornou-se possível mediante o desenvolvimento, nos últimos três anos, de um abrangente sistema de software de modelamento numérico dos ventos de superfície chamado MesoMap. Esse sistema simula a dinâmica atmosférica dos regimes de vento e variáveis meteorológicas correlatas a partir de amostragens representativas de um banco de dados validado. O sistema inclui condicionantes geográficas como relevo, rugosidade induzida por classes de vegetação e uso do solo, interações térmicas entre a superfície terrestre e a atmosfera, incluídos os efeitos de vapor d'água. No caso presente, as simulações empregaram uma base de dados do período compreendido entre 1983 e 1999. Essas simulações foram balizadas por referências existentes, tais como grades de dados meteorológicos resultantes de reanálises, rádiosondagens, vento e temperatura medidos sobre o oceano e medições de vento de superfície já realizadas regionalmente no Brasil. Entre essas últimas, foram selecionadas apenas as medições com qualidade necessária para referenciar o modelo ou, na falta destas, foram utilizadas referências pré-existentes representativas de grandes áreas, conforme se indica no quadro a seguir.

OS RESULTADOS dessas simulações são apresentados em mapas temáticos por escalas de cores, representando os regimes de vento e fluxos de potência eólica na altura de 50 metros, na resolução horizontal de 1km x 1km, para todo o país. Os mapas revelam que existem extensas áreas com potencial promissor para o aproveitamento eólio-elétrico em todas as regiões do Brasil. Sugere-se a consulta direta aos mapas dos potenciais eólicos deste ATLAS, para uma síntese e identificação detalhada das melhores áreas.

OS MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO ANUAL revela uma importante complementaridade geográfica entre os potenciais eólico e hidráulico no Brasil: de modo geral, as melhores áreas para aproveitamento eólico situam-se nas extremidades do sistema elétrico, distantes da geração hidrelétrica. Nessa situação, a inserção de energia eólica no sistema elétrico melhora seu desempenho.

OS MAPAS DO POTENCIAL EÓLICO SAZONAL também confirmam a existência de complementaridade sazonal entre os regimes naturais de vento e as vazões naturais hídricas na parcela hidrelétrica predominante do sistema elétrico brasileiro atual. Nesse sistema, a inserção de energia eólica potencializa uma maior estabilidade sazonal na oferta de energia.

As oportunidades para o uso de geração eólica isolada são geograficamente mais abrangentes, pois turbinas eólicas pequenas são muitas vezes capazes de atender às demandas isoladas com velocidades menores de vento. Para esse tipo de aproveitamento existem amplas áreas em todo o Brasil, com exceção da Floresta Amazônica. Este ATLAS também deve constituir ferramenta útil para a avaliação das áreas vantajosas para a utilização de sistemas eólicos isolados, considerando-se as alternativas existentes.

COMPLEMENTO: o presente ATLAS pode ser utilizado na pré-identificação das melhores áreas para projetos de aproveitamentos eólico-elétricos.

Entretanto, devido à grande sensibilidade da energia eólica às condições de microescala, a localização exata das turbinas eólicas e a avaliação econômica do empreendimento deve seguir programas específicos de medições, compatíveis com os padrões da indústria eólica, para se obter em dados com a precisão exigida pelo projeto.

QUADRO 1

Instituição	Abrangência	Nº de estações
CEPEL	Região Norte	7
CELESP	Santa Catarina	6
COPEL	Paraná	17
COELBA	Bahia	13
SUDENE	Ceará	2
Marinha - DHN	Litoral	2
Total		47