



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS**



---

**ESTIMATIVA DA POTÊNCIA, PERSPECTIVA E  
SUSTENTABILIDADE DA ENERGIA EÓLICA NO  
ESTADO DO CEARÁ**

**Jose Jakson Amancio Alves**

Tese de Doutorado

**LINHA DE PESQUISA: PROCESSOS AMBIENTAIS**

Campina Grande - Paraíba  
2006

---

**ESTIMATIVA DA POTÊNCIA, PERSPECTIVA E  
SUSTENTABILIDADE DA ENERGIA EÓLICA NO  
ESTADO DO CEARÁ**

**Jose Jakson Amancio Alves**

Tese apresentada ao Programa Institucional de  
Doutorado Temático – Doutorado em Recursos  
Naturais da Universidade Federal de Campina  
Grande para obtenção do grau de Doutor.

Orientador:

**Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva**

Orientador:

**Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva**

Campina Grande - Paraíba  
2006

UFCEBIBLIOTECA

ESTIMATIVA DA POTÊNCIA, PERSPECTIVA E SUSTENTABILIDADE DA ENERGIA EÓLICA NO ESTADO DO CEARÁ

UFCEBIBLIOTECA

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

A474e	Alves, José Jakson Amancio
2006	Estimativa da potência, perspectiva e sustentabilidade da energia eólica no Estado do Ceará/ Jose Jakson Amâncio Alves. — Campina Grande, 2006. 152f. il.
	Referências. Tese (doutorado em Recursos Naturais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Orientadores: Bernardo Barbosa da Silva e Vicente de Paulo Rodrigues da Silva.
	1— Recursos Energéticos - Recursos Naturais 2— Desenvolvimento Sustentável 3— Energia Eólica 4— Máxima Verossimilhança – Weibull I— Título
	CDU 620.91: 504.052

UFCEBIBLIOTECA

UFCEBIBLIOTECA

UFCEBIBLIOTECA - CAMPUS I  
357 24.02.07

JOSE JAKSON AMANCIO ALVES

**ESTIMATIVA DA POTÊNCIA, PERSPECTIVA E SUSTENTABILIDADE DA  
ENERGIA EÓLICA NO ESTADO DO CEARÁ**

APROVADO EM: 18/12/2006

**BANCA EXAMINADORA:**



**BERNARDO BARBOSA DA SILVA**

Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



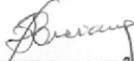
**VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA**

Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas - UACA  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**ÁUREO SILVA DE OLIVEIRA**

Centro de Ciências Agrárias, Ambientais e Biológicas - CCAAB  
Universidade Federal do Recôncavo da Bahia - UFRB



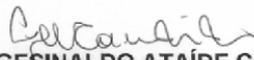
**BENEDITO ANTÔNIO LUCIANO**

Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica - UAEE  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática - C  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**JOSÉ DANTAS NETO**

Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola - UAEE  
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG



**GESINALDO ATAÍDE CÂNDIDO**

Unidade Acadêmica de Administração e Contabilidade - UAAC  
Centro de Humanidades - CH  
Universidade Federal de Campina Grande – UFCG

---

## DEDICATÓRIA

A **DEUS**, que é a fonte dos elementos: terra, água, luz e ar, que permite a vida na Terra.

A minha **MÃE**, pelo exemplo da luta e da dedicação social-religiosa em prol dos mais humildes.

A meus **FILHOS**; Jaylanne Dantas Alves, Yrisllanea Dantas Alves e Jakssuel Sebastion Dantas Alves, para que a história de busca do meu objetivo não seja entendida como sofrimento, mas sim, como exemplo e de motivação para a construção de suas próprias histórias.

A minha **ESPOSA**, Iris Dantas Aguiar Alves, pelo companheirismo de todos os momentos.

A **TODAS** as pessoas com os quais eu encontrei e que transmitiram crédito, esperança, confiança, força e fé para concluir esta fase da minha vida.

---

## AGRADECIMENTOS

A **DEUS**, pelas providências divinas que foram fundamentais para a conclusão dessa fase.

A **Eyres Diana Ventura Silva**, pela contribuição na programação e no apoio que foram essenciais para a conclusão deste trabalho.

Ao Prof. Dr. **Vicente P. R. da Silva**, pelo companheirismo, colaboração e apoio no decorrer deste trabalho.

A **UFCG**, particularmente na pessoa do Professor Dr. **T. V. Ramana Rao**, que, além de professor, é um verdadeiro educador

Ao Prof. Dr. **Bernardo Barbosa da Silva**, pela orientação, colaboração e apoio no decorrer do Curso e deste trabalho e da minha vida acadêmica.

Aos **Colegas** do Curso de Doutorado em Recursos Naturais da UFCG, em especial àqueles que estiveram mais próximos nesta caminhada.

A meus **pais, irmãos, sobrinhos, amigos, filhos, esposa** e demais **familiares**, pelo incentivo, apoio e compreensão.

À **UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA – UEPB - CH**, nas pessoas dos professores do Curso de Geografia e daqueles que fazem o Reitorado dessa renomada Instituição.

A **Todos**, que contribuíram direta ou indiretamente na realização deste trabalho, os meus sinceros agradecimentos.

*Quem não quiser se perder  
no caminho precisa mais do  
que boa vontade, ou  
financiamento externo:  
precisa de ciência.*

*Franz Josef Brüseke*

## RESUMO

---

A pesquisa apresentada nesta tese tem como ponto de partida uma análise da utilização dos recursos naturais, em especial as energias renováveis, sendo a energia eólica o estudo de caso para o estado do Ceará. Outro elemento estudado foi a legislação brasileira para as energias renováveis exposta como um diagnóstico. Verificou-se que as fontes renováveis de energia no Brasil respondem por 73% da produção, da qual a energia eólica participa com apenas 0,03%. Sobre os empreendimentos está no 5º lugar, gerando 4.564.093 kW, o que representa 2,8% apenas da potência outorgado em operação. É importante frisar que se todos os empreendimentos em energia eólica outorgada se encontrassem em operação, o Brasil teria hoje uma participação de 19,2% de energia eólica em sua matriz renovável. Para tal o Brasil, necessariamente, deveria produzir um aumento em média de 0,70% ao ano de potência eólica inserida na sua matriz. Na análise de 48 atos legislativos, ficou observado que a política do setor elétrico brasileiro se volta mais para a Flexibilização (41%) e o Incentivo (40%), enquanto que o P&D (6%) e Responsabilidade Ambiental (13%) são os menos favorecidos. Na determinação da potência média horária da direção predominante do vento, identificou-se a frequência relativa associada à velocidade média horária do vento na direção predominante, estimando-se os parâmetros da distribuição de Weibull de acordo com o método da máxima verossimilhança, através de dados oriundos de PCDs de 40 estações. Na análise para pequenos projetos eólicos de medições a 10 m por direção predominante (VDPred), das sete Mesorregiões Cearenses, apenas a Mesorregião do Sul não apresentou viabilidade. Com relação à potência eólica identificada os resultados não chegaram a ser expressivos, dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica para o período estudado foi Icó (4,32 W/m<sup>2</sup>). Por sua vez, a estação que registrou a maior potência eólica para o período estudado foi Amontada (71,09 W/m<sup>2</sup>). Diante da extrapolação dos dados de 10 para 50 metros de PCDs, a sazonalidade do vento do Atlas Eólico do Estado do Ceará, se repetem nos resultados encontrados, com diferença apenas nas faixas de valores do vento, porém, os centros energéticos são os mesmos. Que no demais, as análises realizadas neste estudo contribua para a sensibilização do uso das energias renováveis, em especial a eólica.

**PALAVRAS-CHAVES:** Desenvolvimento sustentável; Recursos energéticos renováveis; Distribuição de Weibull; Viabilidade da energia eólica no Ceará.

## ABSTRACT

---

The research presented in this thesis has as starting point an analysis of the use of the natural resources, especially the renewable energies, being the wind energy the case study for the state of Ceará. Another studied element went the Brazilian legislation to the renewable energies exposed as diagnosis. It was verified that the renewable sources of energy in Brazil answer for 73% of the production, of the which the wind energy participates with only 0,03%. On the enterprises it is in 5<sup>o</sup> place, generating 4.564.093 kW, what just represents 2,8% of the potency granted in operation. It is important to stress that if all the enterprises in energy granted wind if they found in operation, Brazil would have participation of 19,2% of wind energy today in your renewable head office. For such Brazil, necessarily, it should produce an increase on average from 0,70% to the year of wind potency inserted at your head office. In the analysis of 48 legislative acts, it was observed that the politics of the Brazilian electric section goes back more to Flexible (41%) and the Incentive (40%), while P&D (6%) and Environmental Responsibility (13%) they are the least favored. In the determination of the hourly medium potency, predominant direction of the wind, identified the relative frequency associated to the hourly medium speed of the wind in the predominant direction, being considered the parameters of the distribution of Weibull in agreement with the method of the maxim verisimilitude, through data originating from of PCDs of 40 stations. In the analysis for small wind projects of measurements to 10 m for predominant direction (VDPred), of seven Mesorregiões (areas) from Ceará, the South didn't just present viability. With relationship to the potency identified wind the results didn't get to be expressive, among the studied stations that presented the smallest wind potency for the studied period was Icó (4,32 W/m<sup>2</sup>). For your time, the station that registered the largest potency wind for the studied period it was Amontada (71,09 W/m<sup>2</sup>). Before the to extrapolate of the data of 10 for 50 meters of PCDs, the seasonal wind of the Atlas Wind of the state of Ceará, repeat in the found results, with difference just in the strips of values of the wind, however, the energy centers are the same ones. That in the others, the analyses accomplished in this study it contributes to the understanding of the use renewable energies, especially the wind.

**Keywords: Maintainable development; Renewable energy resources; Wind power method; Weibull distribution; Wind energy viability in the Ceará.**

# SUMÁRIO

## **Capítulo I**

1. Introdução	1
Objetivos	2
Estrutura do trabalho de tese	3

## **Capítulo II**

2. Revisão de Literatura	5
2.1. Panorama geral das energias renováveis	5
2.2. Cenários para a sustentabilidade energética	10
2.3. Opções de conversão de energia e seus impactos	15
2.4. Estudos sobre energia eólica	18

## **Capítulo III**

3. Material e Métodos	
3.1. Legislação dos recursos energéticos renováveis	26
Constituição Federal de 1988	26
Leis específicas do setor elétrico	27
Decretos específicos do setor elétrico	27
Portarias do Ministério de Minas e Energia	29
Resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica	29
3.2. Metodologia para determinação do FIR	31
3.3. Caracterização geográfica da área de estudo	32
3.4. Aspectos gerais da velocidade do vento	35
3.5. Metodologia para a obtenção do potencial eólico	41
3.5.1. Modelo de Weibull	42
3.5.2. Método da máxima verossimilhança	43
3.5.3. Cálculo da potência eólica	43

## **Capítulo IV**

4. O estado da arte da energia eólica no Brasil	45
4.1. Considerações gerais	45
4.2. O pioneirismo eólico no Brasil	52
4.3. Matriz energética brasileira	57
4.4. Cenário atual da capacidade de geração eólica no Brasil	61

## **Capítulo V**

5. Resultados e discussões (1ª parte)	66
5.1. Legislação para a promoção das energias renováveis	66
5.2. Programa emergencial de energia eólica	71
5.3. Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica	73

## **Capítulo VI**

6. Resultados e discussões (2ª parte)	82
6.1. Regionalização do potencial eólico do estado do Ceará a 10 m de altura	82

Mesorregião Sul Cearense	82
Mesorregião Norte Cearense	87
Mesorregião Centro-Sul Cearense	92
Mesorregião Metropolitana de Fortaleza	97
Mesorregião Noroeste Cearense	102
Mesorregião Jaguaribe	113
Mesorregião Sertões Cearenses	120
6.2. Análise da potência eólica	129

### ***Capítulo VII***

7. Resultados e discussões (3ª parte)	131
7.1 Comparação dos resultados	132

### ***Capítulo VIII***

8. Conclusões e recomendações	143
8.1. Recomendações	145
Referências Bibliográficas	146

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

## LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Distribuição dos Estados e as potências a serem instaladas até o ano de 2005	50
Tabela 4.2. Matriz elétrica brasileira e empreendimentos em operação	59
Tabela 4.3. Usinas eólicas autorizadas pela ANEEL	61
Tabela 4.4. Projetos em análise na ANEEL	62
Tabela 4.5. Empreendimentos em operação	63
Tabela 4.6. Empreendimentos em construção	63
Tabela 4.7. Empreendimentos outorgados entre 1998 a 2005, que não iniciaram as suas construções	64
Tabela 6.1. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação Assaré.	83
Tabela 6.2. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Jati.	84
Tabela 6.3. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Santana de Cariri.	85
Tabela 6.4. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Missão Velha.	86
Tabela 6.5. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Amontada.	87
Tabela 6.6. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Aratuba.	88
Tabela 6.7. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Beberibe.	89
Tabela 6.8. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Pentecoste.	90
Tabela 6.9. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de São Gonçalo.	91
Tabela 6.10. Valores médios mensais da velocidade do vento direção	93

predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Cedro.	
Tabela 6.11. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Icó.	94
Tabela 6.12. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Iguatu.	95
Tabela 6.13. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Lavras de Mangabeira.	96
Tabela 6.14. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Aquiraz.	97
Tabela 6.15. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Caucaia.	98
Tabela 6.16. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Fortaleza.	99
Tabela 6.17. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Maranguape.	100
Tabela 6.18. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Pacajus.	101
Tabela 6.19. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Acaraú.	103
Tabela 6.20. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Barroquinha.	104
Tabela 6.21. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Granja.	105
Tabela 6.22. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência	106

relativa do vento (FR) para a estação de Groiaras.	
Tabela 6.23. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Ipu.	107
Tabela 6.24. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Irauçuba.	108
Tabela 6.25. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Santa Quitéria.	109
Tabela 6.26. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de São Benedito.	110
Tabela 6.27. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Sobral.	111
Tabela 6.28. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Ubajara.	112
Tabela 6.29. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Icapuí.	113
Tabela 6.30. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Jaguaribe.	114
Tabela 6.31. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Jaguaratama.	115
Tabela 6.32. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Jaguaruana.	116
Tabela 6.33. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Morada Nova.	117
Tabela 6.34. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Quixere.	118
Tabela 6.35. Valores médios mensais da velocidade do vento direção	119

predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Santana do Tabuleiro.

Tabela 6.36. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Ibaretama. 121

Tabela 6.37. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Crateús. 122

Tabela 6.38. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Quixadá. 123

Tabela 6.39. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Quixeramobim. 124

Tabela 6.40. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Senador Pompeu. 125

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1. Relação das estações do Estado do Ceará analisadas no estudo, com as coordenadas geográficas	34
Quadro 3.2. Sistema de classificação de velocidade de ventos e potência	39
Quadro 3.3. Codificação usada na classificação da direção horária do vento predominante	41
Quadro 4.1. Histórico das aplicações eólicas no Brasil	46
Quadro 4.2. Projetos de cooperação instalados no Brasil, incluindo iluminação pública, centros comunitários, escolas, creches, centros de saúde, cercas eletrificadas e igrejas	53
Quadro 5.1. Resumo dos atos legislativos e os fatores impulsionadores para a promoção das energias renováveis (FIR)	67

## LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1. Mapa do Estado do Ceará e distribuição espacial das estações utilizadas no estudo	33
Figura 4.1. Metas gerais de distribuição de potências por Estado até maio de 2005	50
Figura 4.2. Esquema da matriz elétrica brasileira atualizada em janeiro 2006	58
Figura 4.3. Matriz elétrica brasileira	60
Figura 4.4. Empreendimentos hidroelétricos em operação	60
Figura 5.1. – Variação estatística dos FIR na avaliação da legislação brasileira sobre energias renováveis	68
Figura 6.1. Viabilidade do potencial eólico estado do Ceará a 10 metros de altura nas mesorregiões: (1) Sul Cearense; (2) Centro-Sul Cearense; (3) Sertões Cearenses; (4) Jaguaribe; (5) Noroeste Cearense; (6) Norte Cearense e (7) Metropolitana de Fortaleza.	127
Figura 6.2. Viabilidade do potencial eólico estado do Ceará a 10 m de altura por direção predominante (VDPred) nas mesorregiões: (1) Sul Cearense; (2) Centro-Sul Cearense; (3) Sertões Cearenses; (4) Jaguaribe; (5) Noroeste Cearense; (6) Norte Cearense e (7) Metropolitana de Fortaleza.	128
Figura 6.3 – Densidade de potência eólica média em W/m <sup>2</sup> a partir de dados de vento a 10 m para o estado do Ceará	130
Figura 7.1. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período úmido (janeiro-junho)	134
Figura 7.2. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período seco (julho-dezembro)	136
Figura 7.3. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período anual	137
Figura 7.4. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período úmido (janeiro-junho)	140
Figura 7.5. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período seco (julho-dezembro)	141
Figura 7.6. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período anual	142

## **1. Introdução**

Na sociedade moderna o progresso econômico era direcionado apenas para a produção de riquezas e menos para a sua distribuição. Na sociedade contemporânea o foco da riqueza passou a ser o consumo material acompanhado do aproveitamento das energias, especialmente oriundas dos recursos fósseis. Esse novo foco trouxe para a humanidade uma expansão de comodidades provocadas pelo progresso que torna o modo de vida atual ecologicamente insustentável. Essas comodidades provocaram o aumento da demanda energética fóssil, o que contribui significativamente para a utilização irracional dos recursos naturais não-renováveis e a inevitável degradação ambiental. A insustentabilidade, sendo de dimensões desproporcionais, depara-se com perspectivas catastróficas pela rápida debilitação das condições de vida na biosfera.

Essa condição, evidenciada e sinalizada pelos diversos comportamentos da natureza, proporciona o surgimento de diversos parâmetros ambientais que projetam cenários com alternativas para a recuperação do modo de vida ecologicamente insustentável. Nesse particular, BROWN (2003) defende que a chave para a sustentação do progresso econômico é fazer com que os preços dos produtos sejam incorporados no valor dos serviços de recuperação dos ecossistemas.

Vários países têm investido atualmente na ampliação da participação das fontes renováveis de energia na matriz energética, principalmente a partir do Protocolo de Kyoto. O crescimento observado nos últimos anos é notável. Entretanto, a sua contribuição à geração de energia no total é ainda muito reduzida. O desenvolvimento dessas novas fontes renováveis não se limita ao atendimento dos compromissos ou obrigações ambientais, mas também possibilita o desenvolvimento de tecnologias no país, reduzindo, assim, uma possível dependência de tecnologias de ponta para a produção de energia. Além disso, as novas fontes renováveis têm sido utilizadas como forma de reduzir as diferenças regionais no que diz respeito ao acesso à energia.

A realização de um trabalho dessa natureza tem como premissa básica, discutir os recursos renováveis no Brasil, com ênfase na energia eólica e a sua participação na matriz energética brasileira, bem como os aspectos de contribuição da expansão para as

fontes renováveis com a inclusão da análise dos atos legislativos relacionados ao setor energético nacional.

Diversos pesquisadores nos mais distintos estudos têm feito uso da distribuição de Weibull. Grande parte dos estudos de caracterização do vento, no entanto, tem utilizado o método gráfico na estimativa dos parâmetros do modelo de Weibull. Essa técnica proporciona resultados satisfatórios, mas há alternativas mais precisas e que proporcionam resultados mais confiáveis, sendo o *Método da Máxima Verossimilhança* uma dessas alternativas, utilizada neste trabalho para a estimativa da potência eólica através de um programa desenvolvido em Fortran 90.

Outro aspecto importante é o conhecimento do uso de modelagens com base em circulação atmosférica em escala regional, que está sendo amplamente utilizado no Brasil para a elaboração dos Atlas eólicos de diversos estados, inclusive do Ceará, escolhido como estudo de caso no presente estudo, em que se os resultados, com os resultados estatísticos apontados por essa tese. Esse Estado apresenta larga expansão da energia eólica inserida dentro de sua matriz energética, dispondo na atualidade de 40 estações automáticas (PCDs) distribuídas geograficamente por todas as suas mesorregiões, admitindo uma base confiável de dados para o estudo do potencial.

Nesse contexto, considerando a necessidade de reunir informações necessárias para o pleno conhecimento das fontes renováveis de energia, em especial a eólica, a problemática da presente pesquisa dividi-se basicamente em dois eixos interdisciplinar, sendo eles: (i) explanação dos dados e dos aspectos legais das fontes renováveis na matriz energética brasileira, em especial a energia eólica; (ii) noção da potencia eólica nas mesorregiões do estado do Ceará, aludindo a viabilidade ou não para pequenos projetos, com a utilização de aerogeradores de pequeno porte, utilizando dados de vento a 10 m de altura.

## **Objetivos**

No contexto da importância da energia eólica para o desenvolvimento sustentável, o presente trabalho tem os seguintes objetivos:

**Geral:** reunir informações em caráter interdisciplinar e acessível para os diversos segmentos da sociedade sobre a legislação de energias renováveis, focalizando a energia

eólica dentro da matriz energética brasileira e regionalizar o potencial eólico do estado do Ceará por mesorregiões com dados a 10 m de altura de velocidade do vento.

**Específicos:** (i) contextualizar a evolução dos sistemas de energia, justificando a importância das energias renováveis e dentre delas a eólica, como também, os aspectos impulsionadores na promoção do uso de energias renováveis e sua penetração na matriz energética do Brasil, através da interpretação da legislação brasileira para o setor elétrico; (ii) apresentar o estado da arte das energias renováveis e a participação da energia eólica dentro da matriz energética nacional, realizando algumas considerações específicas ao estado do Ceará; (iii) regionalizar a potência eólica e a direção predominante para as mesorregiões do estado do Ceará, com base nos dados das 40 estações automáticas que operam com sensores instalados a 10 m de altura; (iv) avaliar a sazonalidade dos ventos no período úmido (janeiro-junho) e do período seco (julho-agosto) a 50 m de altura resultados da extrapolação dos dados de 10 m e comparar os resultados com o da modelagem do Atlas Eólico do estado do Ceará.

### **Estrutura do trabalho de tese**

Este trabalho foi estruturado em oito capítulos com os seguintes conteúdos:

**Capítulo 1** – nesse capítulo é apresentada a motivação para o estudo, realçando sua importância para a temática sustentabilidade energética e energias renováveis, com ênfase na energia eólica e num estudo de caso – estado do Ceará – bem como são apresentados os objetivos do trabalho;

**Capítulo 2** - contém uma revisão bibliográfica dos principais trabalhos sobre a temática abordada: sustentabilidade energética e energia renovável;

**Capítulo 3** - apresenta a metodologia desenvolvida para atingir os objetivos propostos e exibe a caracterização geográfica da área de estudo de caso;

**Capítulo 4** – é exibido o estado da arte da energia eólica no Brasil e do Atlas Eólico do estado do Ceará.

**Capítulo 5** - trata da apresentação do primeiro resultado deste trabalho, contendo a avaliação, a análise e a interpretação da legislação para a promoção das energias renováveis em especial;

**Capítulo 6** - trata da apresentação do segundo resultado relacionado ao estudo de caso: potência eólica no estado do Ceará e análises de dados oriundos de PCDs a 10 m;

**Capítulo 7** - trata da apresentação do terceiro resultado, onde foi feita uma leitura interpretativa do Atlas Eólico do estado do Ceará e a comparação da modelagem/resultados com dados oriundos de PCDs a 10 m extrapolados para 50 m;

**Capítulo 8** - São apresentadas as conclusões do presente trabalho e sugestões para estudos futuros.

## **2. Revisão de Literatura**

### **2.1. Panorama geral das energias renováveis**

O mundo ocidental de base industrial globalizou todas as relações produtivas e exhibe, nas últimas décadas, indicadores ascendentes tais como, crescimento exponencial da população, duração média de vida, consumo de energia, demanda de alimentos e um amplo avanço tecnológico. Porém, todo esse progresso não considerou que a terra possui recursos naturais finitos, e limitada capacidade de suportar os subprodutos e rejeitos da transformação industrial desses recursos. Nesse contexto, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos partindo do pressuposto que os recursos energéticos são considerados finitos e prioritários para a sobrevivência da humanidade.

No século XXI, a possibilidade do declínio das reservas petrolíferas, queda no consumo e inflexões radicais do sistema econômico, social e político tendem encontrar substitutos para base energética contemporânea. A promoção da conservação dos recursos estratégicos é fundamental para dar sobrevida à civilização pós-industrial (RIBEIRO, 2003). NAKICENOVIC (2002) define energia sustentável como aquela que é obtida e utilizada de uma forma que simultaneamente atenda ao desenvolvimento humano em longo prazo nas dimensões social, econômica e ambiental. Entretanto, os enfrentamentos e desafios da sustentabilidade na promoção de energias renováveis atualmente são múltiplos e complexos. Para responder decisivamente à crescente demanda da sociedade, como também, dos mercados externos, é primordial encontrar o equilíbrio ambiental como resposta ao uso dos recursos naturais, em especial a energia, para o desenvolvimento sustentável.

O tratamento conceitual normalmente presente define a energia como a capacidade de realizar trabalho. Nesta concepção ela jamais pode assumir uma condição de sustentabilidade, pois seu conceito é restrito apenas ao campo da mecânica, na qual uma série de outros conceitos, como força, trabalho e movimento desconsideram seus limites e a sua relação com a tecnologia e com a sociedade. A maior parte das reflexões sobre a importância da energia em nossas sociedades restringe-se a pontos de vistas parciais, onde útil é a abordagem sistêmica, que inclui de um lado as características ecológicas e tecnológicas das linhas energéticas (evolução das fontes, dos conversores,

do rendimento) e, de outro, as estruturas sociais de apropriação e gestão dessas fontes e conversores (VON BERTALANFFY, 1973).

Quando se transforma a energia, tendo em vista uma utilização precisa, usa-se um conversor. Por exemplo, uma central termelétrica transforma em eletricidade a energia química contida no carvão, no óleo combustível ou no gás natural; um motor transforma esta eletricidade em energia mecânica. A quantidade de energia útil final é sempre inferior à quantidade de energia bruta inicial, resultando num fator de rendimento que é sempre um número menor que 1. Esse resultado foi formulado por Carnot em 1824, como resultado da observação do rendimento muito baixo das máquinas a vapor construído à época. Esse princípio, definido como a Segunda Lei da Termodinâmica, introduz o conceito de qualidade de energia, como uma medida da capacidade de um sistema de transformar o calor, considerado como uma forma desintegrada de energia em energia mecânica (DEBEIR *et al.*, 1993).

Geralmente, energia é o que se deve fornecer a um sistema material, ou retirar dele, para transformá-lo ou deslocá-lo. Esse conceito supõe a possibilidade de comparar entre si todas as transformações possíveis e de todos os sistemas, tomando uma delas como padrão da unidade de medida. O movimento mecânico, a radiação, o calor, aparecem como formas diferentes de um mesmo fenômeno: a energia, que é expressa por uma unidade comum (caloria, joule, tep, etc.). Essa equivalência foi expressa, em meados do século XIX, pelo primeiro princípio da termodinâmica, segundo o qual a energia não pode ser nem criada nem destruída (LORA, 2002).

Segundo FERREIRA e FERREIRA (1992), a insustentabilidade da civilização contemporânea, a médio e longo prazo, ocorre devido a quatro fatores principais: crescimento populacional e concentração espacial da população, depleção do suporte de recursos naturais, sistemas produtivos que utilizam tecnologias poluentes e de baixa eficiência energética e, finalmente, um sistema de valores que propicia a expansão ilimitada do consumo material.

SACHS (1993) sugeriu caminhos para o século XXI, como marco conceitual para se escapar do ciclo vicioso da pobreza e da destruição ambiental, a superação dos obstáculos políticos e sociais que realmente impedem a transição para o desenvolvimento sustentável. A partir de constatações que a teoria econômica clássica do livre mercado é insuficiente como diretriz política e econômica, torna-se necessária uma nova contabilidade que inclua parâmetros sociais e ambientais.

A economia ecológica deve ser necessariamente politizada porque os limites ecológicos à economia estão sujeitos a debates científico-político e democrático (ALIER, 1994). O desafio que se apresenta, em relação às fontes de energia renováveis, consiste em utilizá-las de modo que não cause danos ao meio ambiente natural e que seja economicamente competitivo em relação às fontes de energia. Para isso é preciso melhorar a eficiência no seu uso, para que a quantidade de energia consumida possa ser reduzida (CORSON, 1996).

Hoje em dia, os países industrializados, que também são os maiores consumidores, contam fundamentalmente com fontes não-renováveis de energia. O esgotamento desses recursos ao longo do tempo implica em custos crescentes de produção. Desse modo, alternativas às fontes tradicionais ou novos métodos de produção são necessários para o atendimento da demanda crescente por energia. Essa estimativa dos recursos não-renováveis pode não ser exata, pois não é possível precisar quando ou se os recursos não-descobertos se tornarão disponíveis. Ela ratifica os dados referentes às reservas mundiais de gás natural e de carvão, mas alerta que o uso do carvão é a causa principal da chuva ácida, do aquecimento global e de outros problemas ambientais. Também aponta como principais fontes renováveis de energia a hidroforça, a energia geotérmica, a térmica solar, a célula fotovoltaica, a eólica, a dos oceanos e a biomassa (CORSON, 1996).

MCRAE (1998) defende que não há uma crise global de energia e entende que se há crise, é apenas em pontos específicos, configurando problemas regionais. À exceção do petróleo, existem carvão e gás em quantidade, porque a maior parte da energia do mundo virá de combustíveis fósseis, pelo menos a maior parte dela. Esse autor admite que o século XXI poderá sofrer com a escassez e o aumento do preço do petróleo, com as escassezes de energia regionais e com os efeitos poluidores do uso de combustíveis fósseis. Acrescenta, ainda, que a madeira pode aliviar um pouco a pressão sobre as reservas de combustíveis fósseis. Ao contrário, PENNA (1999) assegura que caso o crescimento demográfico e o econômico global permaneçam nos níveis atuais, o fornecimento continuará a ser predominantemente de combustíveis fósseis. A expansão econômica importa, portanto, o desenvolvimento desses setores da economia, que por sua vez urgem de um sistema de abastecimento energético de fácil acesso e de elevado nível de segurança em seu provisionamento. Recai então sobre o funcionamento desse sistema os recursos energéticos primários não-renováveis, e, como tal, passível de um progressivo esgotamento (IDAE, 2000).

FITZGERALD (2000) alega que os custos incluem os impactos ambientais sobre a saúde coletiva e individual e as interferências nos arranjos sociais são atribuídos à cadeia energética dos combustíveis fósseis bem como às outras tecnologias denominadas convencionais. As grandes hidroelétricas, parques eólicos e nucleares também não internalizam seus custos sócio-ambientais. Concordando com esse autor, MIHALAKAKOU *et al.* (2001) recomenda que seja importante uma política de energia de forma responsável e racional tanto da energia convencional, como do uso de fontes de energia renováveis. Com essa preocupação, a Comissão Européia, em seu livro verde, orienta que é preciso evitar que a procura de rentabilidade imediata do investimento em um mercado aberto se faça em detrimento do investimento em setores de utilização intensiva em capital ou cuja rentabilidade não é necessariamente assegurada em curto prazo, como é o caso das energias renováveis (CE, 2001).

Segundo LOMBORG (2002), se a tecnologia permanecesse constante e se fosse usado apenas combustível fóssil, um dia a humanidade ficaria sem energia. Mas o fato é que a tecnologia não permanece constante e os combustíveis fósseis não é a única ou principal fonte de energia em longo prazo. Historicamente, o homem moderno tem se tornado cada vez mais exímio em encontrar, extrair e utilizar combustíveis fósseis, ultrapassando mesmo o aumento do consumo.

Para GUERRA (2002), a viabilização do fomento da expansão do aproveitamento do potencial nacional de recursos renováveis é imperativo para a flexibilização da lógica do termo “mercado”, devendo as questões dos custos ser discutidas de forma mais ampla e detalhada para permitir que se aprofunde o estudo visando a avaliar quais reflexos - a montante e a jusante - da expansão das fontes renováveis. Nesse sentido, a palavra mercado tomou um caráter revolucionário ao se transformar em algo corpóreo, vivo, ao fazer parte do cotidiano da sociedade, deixando de ser meramente explicativo e conceituador.

A recente experiência de liberalização do mercado de energia elétrica, conduzida sob a égide da promoção de ganhos para o consumidor final, deu forma a um cenário no quais os empreendimentos já amortizados não computam seus custos ambientais passados e futuros, competem de forma desequilibrada com novas tecnologias que usam recursos renováveis de energia e tem no apelo ambiental a justificativa de sua ascensão (WELKE, 2002).

Apesar de dados desencontrados e dos posicionamentos diversos, muitos autores ainda concordam com a necessidade de substituição da utilização dos combustíveis

fósseis, especialmente do petróleo, por fontes renováveis de energia. A Europa trabalha para atingir patamares da ordem de 22% de sua eletricidade e 12% de sua energia total de fontes renováveis em 2010 (LOVINS, 2005). Para que se possa avançar mais rapidamente e com efetividade, respondendo decisivamente à crescente demanda da sociedade, e também dos mercados externos, é importante contar com a melhor informação possível referente ao meio ambiente e da sustentabilidade do desenvolvimento no desenvolvimento local.

A Comissão Europeia (CE, 2001) reconhece que a principal barreira à expansão da energia eólica é de caráter financeiro e também afirma que certas energias renováveis exigem grandes investimentos iniciais, à semelhança do que ocorreram no passado, com investimentos em outros tipos de energias, como o carvão, o petróleo e a energia nuclear. Uma das possibilidades de financiamento das energias renováveis a ser explorada pode ser a sujeição das fontes de energia mais rentáveis — energia nuclear, petróleo e gás. As proposições da Comissão Europeia conformam-se com as demais práticas e intenções correntes em outras regiões do mundo no que se refere à promoção das energias renováveis. Ao afirmar que as barreiras à penetração das tecnologias renováveis são um problema a ser resolvido no âmbito do estabelecimento de subsídios e da regulamentação de caráter nacional, regional e local (CE, 2001). Essa comissão soma força aos reclames dos centros de pesquisas, organizações não governamentais, órgãos ambientais, setor produtivo e demais setores envolvidos com o desenvolvimento e promoção das fontes renováveis e do desenvolvimento sustentável. A busca pelo alcance desses objetivos requer um empenho ainda mais importante uma vez que no momento são praticamente nulas as possibilidades de expansão da energia hidroelétrica, que representa um terço das energias renováveis. Essas condicionantes restringem as possibilidades do aproveitamento dos recursos hidroelétricos a Pequenas Centrais Hidroelétricas – PCHs. Dessa forma, concentra-se nas outras tecnologias renováveis, especialmente sobre a tecnologia eólio-elétrica, devido a seu estágio de desenvolvimento tecnológico e condições de atratividade financeira, o fornecimento da quase totalidade do aumento necessário planejado para a participação dessa alternativa energética.

O alcance dos objetivos assumidos pela Comissão Europeia de duplicar a participação das energias renováveis no seu consumo global, saltando de 6% em 1997 para 12% em 2010, como uma estratégia de segurança no aprovisionamento energético e promoção do desenvolvimento sustentável, exige “um grande esforço: os

investimentos necessários para atingir estes objetivos foram calculados pela Comissão em 165 Bilhões de euros entre 1997 e 2010” (CE, 2001). Pode-se concluir é que as diversas restrições ambientais postas ao modelo convencional de expansão do setor elétrico estão adquirindo peso crescente, e em diversas situações configuram-se em um parâmetro determinante ao se avaliar e comparar as opções entre distintas fontes e tecnologias que devem conformar o modelo de expansão do setor elétrico em diversas regiões econômicas do mundo.

## **2.2. Cenários para a sustentabilidade energética**

A IHA (*International Hydropower Association*) em seu relatório “the Role of Hydropower in Sustainable Development” apresentou as metas internacionais de desenvolvimento definidas em conjunto por vários organismos internacionais que atuam em programas de desenvolvimento. As principais instituições de desenvolvimento internacional, incluindo as Nações Unidas (ONU), a organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OCED), o fundo Monetário Internacional (FMI) e o Banco Mundial, afirmam que estão trabalhando para desenvolver um conjunto de metas comuns de desenvolvimento internacional. A energia é como um bloco básico do edifício para o desenvolvimento. O acesso à energia disponível e confiável dá suporte a todos os objetivos do desenvolvimento sustentável, porém a pobreza é um desafio multifacetado e para que o problema seja enfrentado de forma adequada são necessárias políticas específicas que contemplem todos os aspectos do problema. A eletrificação por si só não pode garantir promessas de desenvolvimento (IHA, 2003).

Segundo a IHA (2003), a eletricidade representa um importante papel no desenvolvimento sustentável, contribuindo com os objetivos da Declaração do Milênio. A discussão sobre sustentabilidade apresentada pela IHA, no relatório aqui discutido, mostra como a energia pode contribuir para que as metas do desenvolvimento sustentável sejam atingidas. Analisando o papel da eletricidade nessas metas é possíveis identificar algumas diretrizes e indicadores que podem ser utilizados para compor uma lista de indicadores globais e regionais que permitam a quantificação dessa contribuição.

As análises efetuadas na elaboração do relatório “*World Energy Assessment – Energy and the Challenge of Sustainability*” pela ONU, utilizando cenários de energia, indicaram que é possível reforçar os objetivos do desenvolvimento sustentável

utilizando novos recursos de energia e opções tecnológicas. Essas análises recomendam o seguinte (UNDP, 2000): (i) continuar ao longo do caminho atual de desenvolvimento do sistema de energia não é compatível com os objetivos do desenvolvimento sustentável; (ii) a concretização de um futuro sustentável requererá maior confiança na combinação de eficiência mais alta de energia, recursos renováveis, e tecnologias de energia avançadas; (iii) uma condição prévia para alcançar um futuro de energia compatível com objetivos de desenvolvimento sustentável está em encontrar formas de acelerar o progresso de novas tecnologias ao longo da cadeia de inovação de energia, de pesquisa e desenvolvimento, incentivo, e difusão destas tecnologias; (iv) prover serviços de energia para áreas rurais é um desafio particular. Mas também oferecer oportunidade de melhoria considerável na qualidade de vidas de 1 bilhão de pessoas dentro de um período relativamente pequeno é também parte do desafio. Propostas promissoras incluem soluções descentralizadas, tecnologias apropriadas, arranjos de crédito inovadores e envolvimento local na tomada de decisão.

As principais políticas que buscam evitar que se persevere ao longo de um padrão de energia que não é sustentável, sugeridas pelo grupo que desenvolveu o estudo, são as seguintes (UNDP, 2000): (i) promover maior eficiência nos mercados de energia; (ii) complementar a reestruturação do setor energético com instrumentos regulatórios que encorajem a energia sustentável; (iii) mobilizar investimentos adicionais em energia sustentável; (iv) incentivar a inovação tecnológica; (v) liderança tecnológica apoiando a capacitação em países em desenvolvimento; e (vi) encorajar maior cooperação no nível internacional.

O estudo *“Proyecto Cono Sur Sustentable: Propuestas de Políticas: Energéticas Sustentables para el Cono Sur”* foi elaborado por um grupo de trabalho coordenado por BERMANN (2002), a partir dos estudos desenvolvidos em cada país sobre o tema sustentabilidade energética. Os países participantes foram o Chile, Uruguai, Paraguai, Argentina e Brasil. Como resultados parciais do trabalho, foram apresentados os pilares para a sustentabilidade energética no Cone Sul relacionados com a segurança energética e a qualidade; equidade (índices de eletrificação, carências energéticas e gastos energéticos); energia e meio ambiente; energia e democracia e potencial de sustentabilidade da região.

Para descrever um meio, e como nele se processará a implantação de um Parque Eólico são usados dois enfoques: um é o qualitativo, em que se examina o ambiente e revisam-se as características do empreendimento, procurando identificar as áreas

sensíveis e críticas à ação prevista, e a outra é o quantitativo, em que medindo encontram-se valores e índices dos elementos que compõem o ambiente. Essas mensurações destinam-se a conhecer a escala dos impactos sobre os fatores antes qualificados. Para se conhecer esses fatores, no entanto, existem algumas dificuldades.

A mensuração direta dos elementos não é uma empreitada viável, tanto pela complexidade dos fatores, como pelo tempo e custo que isso dependeria. Como esses conhecimentos são imprescindíveis, recorre-se a métodos indiretos (de mensuração) que identifiquem o ambiente e permitam previsões e interpretações das reações que ali ocorrem (MULLER, 1995). Utilizam-se, então, indicadores socioeconômicos e ambientais sensíveis às intervenções, os quais são expressões quantitativas que revelam o estado de um ambiente ou descreve seu funcionamento (QUIROGA, 2002).

Ao mesmo tempo, os indicadores permitem estimar as mudanças que ali ocorrem provocadas pela intervenção conhecida. Considerando a amplitude dos elementos socio-ambientais, os indicadores serão igualmente medidos tanto nos meios biofísicos como nos socio-econômicos, com procedimentos padronizados de registros, documentos e depoimentos orais (MULLER, 1995). Os indicadores sociais informam sobre as pressões exercidas pelo homem sobre o meio, assim como a sua eficiência para transformar os recursos naturais em seu benefício, operar seus sistemas econômicos e de relações sociais, promover os ajustes comportamentais para suprir suas necessidades de nutrição, saúde e habitação e satisfazer as aspirações emocionais (MULLER, 1995).

Os indicadores podem evidenciar impactos ambientais, sociais e econômicos, negativos (custo) e positivos (benefício) e a avaliação e solução dos efeitos socio-ambientais de um empreendimento de geração de energia. O processo de estabelecimento de indicadores e metas de desenvolvimento sustentável é parcialmente científico e parcialmente político. A ciência explica o impacto de um determinado poluente atmosférico no ambiente, no entanto, o processo político, mais abrangente, determina se esses impactos são prioritários para o momento político em questão (AMARAL, 2002; ICONS, 2003).

Um variado número de instrumentos legais que objetivam a expansão da participação das tecnologias de energias renováveis no mercado mundial de produção de eletricidade vem sendo fomentado. Muitos países, a partir de suas particularidades, apresentam instrumentos alternativos dentro do debate político que conduz as reformas implementadas em seu setor elétrico. Dentro das intervenções não legislativas, podem ser incluídas as ações de comercialização da chamada ‘energia verde’ gerida pelos

agentes de mercado (geradores e distribuidores), por exemplo, através do incentivo à conversão de plantas convencionais de geração por unidades ambientalmente amigáveis. Nesses arranjos as empresas oferecem energia elétrica a partir de fontes renováveis e em troca recebe uma bonificação embutida na denominada ‘tarifa verde’, paga voluntariamente pelo consumidor que fez opção por este tipo de fornecimento (ESPEY, 2001). Os agentes de mercado também podem definir metas que incentivaram as tecnologias renováveis e adotá-las como sendo obrigatória a sua implementação.

Existem ainda inúmeras medidas de apoio não-financeiro promovidas por agentes representantes do estado, setor produtivo, organizações não-governamentais, dentre outras, que podem contribuir para o alcance dos objetivos traçados nas políticas de incentivo às fontes renováveis. Tais medidas têm caráter predominantemente informativo e administrativo, incluindo ações de assessoramento aos investidores, mapeamento dos recursos existentes, promoção de campanhas publicitárias para divulgação das tecnologias e seus benefícios, bem como o aprimoramento dos processos administrativos de avaliação e aprovação de projeto (ENZENBERGER, 2002). O pressuposto básico para a determinação das diferenças entre esses mecanismos reside na forma que tais instrumentos influenciam, modificando ou até mesmo eliminando, certos comportamentos de mercado.

Os instrumentos de regulação de preços atuam no mercado estabelecendo tarifas de compra de energia ‘verde’ às concessionárias ou pela absorção dos custos de produção. Exemplos típicos de intervenção por regulação de preço são os mecanismos de remuneração por alimentação da rede, investimentos subsidiados e adoção de determinadas vantagens tributárias. A característica básica dos mecanismos de remuneração por alimentação da rede é o fato de que o incremento de novas unidades de produção, bem como o volume de ‘energia verde’ gerada, resulta do livre funcionamento do mercado e não pode ser previamente definido (ENZENSBERGER, 2002).

O Sistema de Oferta (*Tender system*) apresenta-se com uma versão modificada do modelo de Remuneração por Alimentação da Rede. Nesse sistema é feita uma licitação para projetos de fornecimento de energia, a partir de fontes renováveis, para contratos de longo prazo, na qual são determinadas cotas de participação de cada tecnologia. Os vencedores são selecionados a partir do planejamento apresentado para seus custos e recebem a garantia de um preço fixo por kWh ofertado durante toda extensão do contrato. O preço de comercialização da energia, proveniente de cada

tecnologia, é fixado tomando como referência os custos do último licitante selecionado (MEYER, 2003). Já no sistema de cotas (*Renewable Portfolio Standards*) uma determinada contribuição percentual de participação das tecnologias renováveis na produção de eletricidade é estabelecida pelos agentes do Governo, através de mecanismos legais. Essas condicionantes obrigam que as empresas distribuidoras de eletricidade ou outro ator reconhecido na cadeia elétrica se responsabilizem pelo alcance das metas estabelecidas (MEYER, 2003).

Os produtores recebem um certificado denominado “verde” (*Green certificates*) correspondente à quantidade de eletricidade gerada a partir de recursos renováveis. Para garantir uma determinada flexibilidade ao sistema de cotas, de maneira a favorecer que os objetivos traçados sejam de fato atingidos esse arranjo pode vir combinado com um sistema de comercialização de certificados de ‘eletricidade verde’ (*Certificates trading model*). Os créditos gerados por esses certificados devem refletir os benefícios ambientais promovidos pela “eletricidade verde” e uma vez negociados, geram uma renda adicional e também comprovam o cumprimento da cota estabelecida (MEYER, 2003).

Os agentes de mercado, como são forçados a cumprir uma cota determinada de energia renovável, podem optar pela construção de suas próprias plantas de geração e daí receberem seus certificados por energia produzida, bem como comprar energia verde das plantas dos produtores independentes e adicionar essa energia aos seus certificados. Além disso, também podem comprar certificados sem que adquira fisicamente à energia gerada, financiando, assim, a implementação de novas unidades de produção de energia renovável em outro lugar (ESPEY, 2001; ENZENSBERGER, 2002).

Como forma de não penalizar as empresas distribuidoras com elevados custos é estabelecido um fundo que possibilite cobrir as diferenças entre o preço médio de produção e o preço estabelecido no contrato para cada tecnologia renovável. A formação desse fundo pode ter diversas origens: recursos da união, impostos sobre a energia, realinhamento de tarifas, dentre outros (WELKE, 2002). Já a remuneração da energia comercializada toma como referência o preço ofertado ou um preço obtido pela média de todos os preços ofertados pelos investidores selecionados.

Segundo MEYER (2003), um dos problemas enfrentados quanto ao estabelecimento de um mercado de certificados verdes refere-se ao nível desigual de competição entre tecnologias renováveis que se encontram em diferentes fases de

desenvolvimento. Se um mercado de livre competição entre diferentes tecnologias renováveis fosse criado hoje, a energia eólica provavelmente varreria as outras tecnologias do mercado. A energia solar não teria chance, enquanto a biomassa e os pequenos aproveitamentos hidroelétricos poderiam ser competitivos em casos específicos. Tal situação de mercado, no longo prazo, não pôde ser considerada ótima para a promoção do potencial de energia renovável. A possível solução é reservar o “mercado verde” para as tecnologias renováveis maduras e promover as outras tecnologias por uma cota dentro de um sistema de oferta (MEYER, 2003).

A comercialização de certificados de energia verde dentro de um sistema de cotas, faz com que os preços sofram significativas flutuações. Em momentos de falta de oferta de energia renovável os preços dos certificados alcançam níveis bem elevados. Por outro lado, esses preços caem em situação de excesso. O que se estabelece é uma grande incerteza quanto aos preços dos certificados tornando os riscos presentes ainda maiores, o que, por consequência, afasta os investimentos nas tecnologias renováveis (MEYER, 2003).

Em matéria de políticas públicas sobre instrumentos para o desenvolvimento das energias renováveis, o exemplo vem da Suécia, o primeiro país no mundo a lançar um programa que deverá livrá-lo, em 2020, da dependência dos combustíveis fósseis, sem renunciar, no entanto o objetivo em longo prazo de fechar os 10 reatores nucleares que respondem, hoje, pela metade da produção sueca de energia elétrica. A ênfase do programa sueco é sobre a eficiência no uso final da energia e a eficiência da reforma fiscal verde (SACHS, 2006).

### **2.3. Opções de conversão de energia e seus impactos**

Os métodos mais usados para a avaliação dos impactos causados por uma opção de conversão de energia consistem em três estágios: a identificação dos fatores intervenientes, predição dos efeitos e o de interpretação dos resultados. Na fase da identificação, são levantados os sistemas existentes (físico, biológico e social) e determinados os componentes relevantes do projeto, do ponto de vista de sua influência no meio. Um dos métodos de identificação desses impactos é o de elaboração de indicadores de impacto (MÜLLER, 1995).

Na fase de predição, avaliam-se as alterações do meio, possíveis de serem causadas pelo projeto, segundo seu significado quanto aos aspectos qualitativos

(importância) e quantitativos (magnitude, quantidade ou volume). A predição baseia-se, em geral, em equações e modelos matemáticos relacionados com os indicadores ambientais, amparados por testes e experimentações comprobatórias (calibração). Sendo o modelo testado, sua aplicação gera índices que definem o estado atual e o estado do meio depois de impactado pela opção de geração de energia. Tendo os padrões referenciais, em forma de indicadores ou conjunto de parâmetros, eles seriam a meta a ser perseguida e os limites da intensidade de alterações que poderiam ser introduzidas pelo projeto de desenvolvimento proposto (MÜLLER, 1995).

Na fase de interpretação ou de avaliação final, destacam-se as áreas que receberão impactos e sua origem, possibilitando determinar a incidência dos custos e benefícios em termos físicos, biológicos e sociais. Essa avaliação pressupõe julgamento que será mais precisa quanto mais efetiva tiverem sido as fases precedentes (MÜLLER, 1995).

Através de uma perspectiva ambiental, a comparação de opções de fontes geradoras deve estar baseada em uma análise que considere todos os impactos gerados durante o ciclo de vida do processo de produção para cada alternativa disponível. A avaliação do ciclo de vida (*Life-Cycle Assessment*) se dá numa perspectiva de âmbito mais amplo, porque segue cada opção do começo ao fim, avaliando os impactos ambientais de todos os passos do processo, incluindo a extração de recursos, processamento e transporte de combustíveis, construção de Parque Eólica, produção da eletricidade e disposição do resíduo (IHA, 2003). Todo uso de fontes de energia modifica o meio ambiente e traz conseqüências muitas vezes irreparáveis.

No manual de inventário hidrelétrico da ELETROBRAS (1997), o impacto ambiental é definido como uma alteração causada por um aproveitamento ou conjunto de aproveitamentos sobre o sistema ambiental. Nesse contexto, entende-se por sistema ambiental o conjunto dos elementos existentes (físico-bióticos, socioeconômicos) na área de estudo, incluindo seus atributos ou qualidades, as funções que exercem nos processos e suas interações. Impacto ou efeito ambiental pode ser também definido como o resultado de uma ação sobre um ser, uma comunidade ou uma região. Refere-se às modificações observadas entre o processo dinâmico anterior, e o novo estado criado pela ação introduzida. Os impactos ambientais são considerados frente a um objetivo pretendido, relativamente ao estado final produzido, positivos ou negativos. O princípio de custo-benefício, que deve incluir tanto os valores quantitativos como os qualitativos, é um dos adotados para avaliar o balanço entre os efeitos positivos e os negativos de

uma ação proposta e serve para orientar a decisão quanto a efetuar ou não (MULLER, 1995).

A avaliação dos impactos ambientais deve contemplar a identificação das alterações desfavoráveis e a identificação das ações que evitem a ocorrência total ou parcial dos impactos (controle), das ações que reduzam as consequências dos impactos (mitigação) e das ações que compensem os impactos quando a reparação é impossível (ELETROBRÁS, 1997). Dada a grande variedade de fontes de energia primárias e tecnologias de conversão, ao se comparar às vantagens ambientais relativas a cada uma delas, algumas questões difíceis de responder são também levantadas. Através de uma perspectiva ambiental, a comparação de opções de fontes geradoras deve estar baseada em uma análise que considere todos os impactos gerados durante o ciclo de vida do processo de produção para cada alternativa disponível.

A identificação e caracterização dos elementos dos patrimônios existentes na área de implantação de um parque eólico permitirão determinar quais as medidas necessárias para sua proteção e preservação durante a fase de construção e exploração. A desvantagem mais usualmente atribuída à energia eólica seria a falta de energia firme. No caso de operação integrada, a energia firme de um parque eólico corresponde à geração observada ao longo do período crítico dos dados históricos utilizados para simulações (ELETROBRÁS, 1996).

Outro conceito utilizado em otimização de sistemas interligados é o de energia garantida de um Parque Eólico, que pode ser definido como sendo um valor de referência tal que o fluxo de receita de compra e venda de energia, respectivamente, nos períodos deficitário e superavitário, valorizado pelo custo marginal de operação, resulte nulo para um período suficientemente longo (ELETROBRÁS, 1996).

A inserção de um Parque Eólico em um sistema Interligado não deve afetar o desempenho nem a otimização; portanto, com base nesses pressupostos se podem calcular seus benefícios energéticos, os quais são avaliados com base nos conceitos de energia firme e energia garantida (COPEL, 1997).

Em 1998 foram realizados, na Universidade de Roskilde, na Dinamarca, estudos com simulações em resolução horária para dois cenários de inserção de energia eólica no Sistema Elétrico Dinamarquês interligado ao Sistema Elétrico Europeu. No primeiro cenário, que considerou uma inserção de energia eólica correspondente a 37% do consumo na Dinamarca, demonstraram que essa situação poderia ocorrer sem prejuízo da segurança e estabilidade do sistema, pois haveria uma complementaridade entre o

sistema eólico Dinamarquês e o sistema hidrelétrico da Suécia e Noruega (MEIBOM, SVENDSEN & SORENSEN, 1999).

O segundo cenário considerou uma inserção de energia eólica no sistema elétrico Nórdico (incluindo Alemanha, Bélgica e Holanda) de aproximadamente 100% do consumo da Dinamarca. Os resultados obtidos demonstraram que o segundo cenário seria também viável tecnicamente no que se refere à segurança e estabilidade do sistema regional, desde que houvesse investimentos em linhas de transmissão da Dinamarca para a Suécia, porém essa alteração acresceria o custo médio da energia em 37%. Sabendo-se, porém, que a inserção de energia eólica da Dinamarca substituiria térmicas na Suécia, reduzindo as emissões de CO<sub>2</sub>, e o preço da energia poderia diminuir se ganhos ambientais decorrentes fossem computados (HOLTTINEN, 2004).

#### **2.4. Estudos sobre energia eólica segundo o modelo de Weibull**

Dentre os estudos pioneiros com a distribuição de Weibull, merecem destaque especial os trabalhos de HENNESSEY (1977) e JUSTUS *et al.* (1978). Eles aplicaram o modelo de Weibull à velocidade do vento medida em mais de cem localidades dos Estados Unidos, ocasião em que concluíram que esse modelo foi o que proporcionou o melhor ajuste aos dados de distribuição de frequências da velocidade do vento. HENNESSEY (1978) realizou outro estudo em que comparava o desempenho dos modelos de Weibull e Rayleigh e concluiu que o erro máximo esperado, obtido com o uso do modelo uniparamétrico de Rayleigh em comparação com o da Weibull, é aceitável.

No estudo de STEVENS e SMULDERS (1979) foram utilizados diversos métodos para obter os valores dos parâmetros de Weibull: método dos momentos, método do fator padrão de energia, método da máxima verossimilhança e uso de estimativas percentuais. A comparação dos resultados dos diversos métodos não oferece discordância, o que só comprova a flexibilidade no rearranjo do modelo de Weibull.

CEBALLOS *et al.* (1987) conduziram um inventário energético do Nordeste do Brasil. O trabalho teve como objetivo fornecer uma estimativa da distribuição espacial de potência eólica disponível no Nordeste do Brasil, assim, como do aproveitamento esperado através de três tipos de aerogeradores. Esse trabalho descreve ainda os aspectos das variações temporais do vento e da potência eólica. Nesse estudo foram processados dados horários de velocidades e direção do vento oriundo de anemógrafos

universais Fuess (sensores a 10 m de altura) para o quinquênio 1977 – 1981, correspondentes a 77 estações da ex-Rede Climatológica do Nordeste (INEMET). O trabalho se limitou aos aspectos de avaliação da energia eólica disponível, e que as estações utilizadas no trabalho se encontram distribuídas com propósitos sinóticos, correspondendo apenas a uma avaliação de áreas favoráveis.

MACEDO (1989) estudando um Sistema de Conversão de Energia Eólica (SCEE), aplicado à geração de energia elétrica para turbinas de pequeno porte para carregamento de baterias. Ele observou que o comportamento da característica da potência indicou que grande parte da energia disponível não seria aproveitada, caso não existisse um elemento controlador. Também foi utilizada a influência dos parâmetros ajustável da distribuição de Weibull sobre o SCEE, a partir das expressões de densidade da energia, procurando determinar a faixa de operação da turbina para um casamento otimizado com a velocidade do vento, medidas na central de testes. O SCEE estudado baseou-se no acionamento realizado para uma turbina vertical, tipo Savonius.

BANDEIRA (1990) analisou o regime diário e mensal do vento no Nordeste do Brasil, até a latitude de 12 graus Sul. Os dados trabalhados foram às velocidades horárias a 10 m de altura, no período de 1977 a 1981, para 66 estações do antigo Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), atual INEMET. Os dados foram agrupados em quatro períodos diários, cada um tendo seis horas de duração. O modelo de Weibull bi-paramétrico (numa versão híbrida) foi ajustado à distribuição empírica de frequência do vento. Para a estimativa dos parâmetros de Weibull foram testados três métodos: momentos, máxima verossimilhança e mínimos quadrados. Os testes de ajuste indicaram que a máxima verossimilhança como geradora dos melhores ajustes; o método dos momentos forneceu ajustes com desvios semelhantes com relação à distribuição empírica, e foi adotado por ser de aplicação mais simples. O método dos mínimos quadrados evidenciou-se desvios apreciáveis, porém, não recomendado, mesmo apesar da simplicidade na obtenção dos parâmetros, apontou o trabalho.

Para MARTINS (1993) o conhecimento da direção predominante dos ventos, velocidades médias e possíveis fenômenos eólicos cíclicos que ocorrem localmente fornecem informações importantes para o posicionamento de quebra-ventos, construções de estábulo, distribuição das diferentes culturas no campo e, principalmente, no posicionamento e dimensionamento das torres para utilização dessa fonte natural de energia. Assim, o conhecimento das características do vento é fundamental para se estimar o possível aproveitamento do vento como energia

alternativa. É importante lembrar que sendo a velocidade do vento uma variável aleatória, deve-se salientar a ocorrência de variabilidade mensal nos valores médios estimados dentro de uma série de anos. Essa inevitável variação que ocorre nos eventos meteorológicos justifica a utilização de análises mais criteriosas para estimativa dos valores a serem assumidos como constantes para uma determinada região, relacionadas à distribuição de frequência dos valores estimados (SILVA *et al.*, 2001).

SOPIAN *et al.* (1995) identificaram o potencial eólico da Malásia, com base em estudo do comportamento do vento de 10 estações. No cálculo da densidade da potência eólica mensal usaram os parâmetros da distribuição de Weibull, que foram obtidos segundo o método gráfico. O potencial máximo obtido foi verificado em Mersing, com 85,61 W/m<sup>2</sup> a 10 m. Nessa pesquisa os autores não levaram em consideração a direção predominante do vento para fins do potencial eólico.

TOLUN *et al.* (1995) avaliaram o potencial eólico de quatro localidades do Noroeste da Turquia, com base em três anos de registro dos dados horários da velocidade do vento. Foram usados vários modelos estatísticos, inclusive o de Weibull, e um algoritmo que eliminava efeitos da orografia, rugosidade e obstáculos da superfície. O potencial foi avaliado em três alturas: 10 30 e 50 m. Na estação NWS a potência variou de 34 a 146 W/m<sup>2</sup>, para altura de 10 m e de 80 a 326 W/m<sup>2</sup>, a 50 m.

COELINGH *et al.* (1996) empreenderam uma análise pormenorizada do vento em 3 plataformas marítimas no Mar do Norte. Obtiveram estatísticas das velocidades, ciclos diários e anuais, determinação dos parâmetros de Weibull segundo o método gráfico e analisaram, também, o comportamento do vento com a direção (30 graus). Para comparar as velocidades entre as plataformas, foram realizadas medições em diferentes alturas e aplicaram a teoria da similaridade de Monin-Obukhov.

SCERRI e FARRUGIA (1996) compararam o ajustamento das distribuições de Weibull e logística a dados horários de vento da Ilha de Malta. A estimativa dos parâmetros de ambos os modelos se deu segundo o método dos mínimos quadrados. Observaram que as médias mensais de vento se aproximaram melhor daquelas obtidas com a logística. Eles atribuíram o fraco desempenho da Weibull ao método usado para o cálculo de seus parâmetros.

SOUSA e GRANJA (1997), a partir do registro de seis anos de dados do INMET, obtiveram os parâmetros de Weibull para períodos semanais e mensais, com base na observação da velocidade e direção do vento medido a 10 m no período de 1986 a 1991. Eles utilizaram o método gráfico e mais outros propostos por Justus *et al.*

(1978), como também trabalharam com a definição de probabilidade de ocorrência da velocidade máxima proposto por Widger (1977). Eles concluíram que a densidade de potência média anual em Campo Grande e Dourado foi respectivamente de 40,2 e 49,8 W/m<sup>2</sup> e que o método gráfico apresentou o melhor ajuste para os parâmetros “C” e “K” de Weibull, pois apresenta os menores erros dentre os métodos apresentados por JUSTUS *et al.* (1976).

MAYHOUB e AZZAM (1997) estimaram o potencial eólico do Egito, com base em 20 anos de dados coletados em 15 estações distribuídas naquele país. Embora as medições tenham sido tomadas a 10 m, foi determinada a energia eólica a 25 m. Para tanto, usaram os parâmetros de Weibull, que foram obtidos através do método gráfico. Observaram que na costa do Mar Vermelho a potência eólica foi superior 450 W/m<sup>2</sup>. Já algumas estações do Mediterrâneo apresentaram energia disponível da ordem de 150 a 200 kWh/m<sup>2</sup>/ano, enquanto que no interior os valores caíram para menos de 50 kWh/m<sup>2</sup>/ano. Para algumas estações foram comparadas as densidades de potência eólica e energia disponível segundo as observações e de acordo com os parâmetros de Weibull. Em geral, os valores da densidade da potência eólica e a energia eólica obtida com os parâmetros de Weibull foram ligeiramente menores que aqueles baseados nas observações.

SAHIN e AKSAKAL (1998) realizaram estudo acerca do potencial eólico da Arábia Saudita, ajustando os dados de vento às distribuições de Weibull e Rayleigh. Eles avaliaram o desempenho de um sistema de conversão com dois eixos horizontais com dados experimentais da velocidade do vento e da distribuição obtida com dois modelos analíticos. Foi concluído desse estudo que os resultados alcançados com os dados experimentais se aproximaram melhor àqueles gerados com o modelo de Weibull, apresentando erro relativo de apenas 3,46%. Nesse estudo o método gráfico foi usado na estimativa dos parâmetros de Weibull.

BORHAN (1998) investigou os mecanismos atmosféricos responsáveis pelo alto potencial eólico na Turquia e ilhas vizinhas. Ao mesmo tempo, quantificou a potência eólica em três localidades usando, para tanto, a distribuição de Weibull e o método dos momentos. Em Bozcoada a potência situou-se entre 120,5 e 1.410,9 W/m<sup>2</sup> (a 30 m).

NFAQUI *et al.* (1998) estudaram as características do vento e o potencial eólico da região mais ventilada de Marrocos, utilizando dados horários de 11 estações. Concluíram que a distribuição híbrida de Weibull representou melhor o dado observado,

em comparação com a forma clássica de Weibull. Com base nas características estatísticas do vento da região estudada e num aerogerador padrão, eles concluíram que a potência eólica da região era de 1.817 MW, o que corresponderia a um total explorável de 15.196 GWh por ano.

GARCIA *et al.* (1998) caracterizaram a velocidade e a direção do vento através da função contínua de densidade de probabilidade a partir do modelo de Weibull. Foram obtidos os parâmetros “*K*” e “*C*” para as regiões de vale e regiões montanhosas, onde identificaram que o parâmetro “*C*” variou bastante de acordo com a direção considerada e que ambos os parâmetros mostraram uma tendência crescente à medida que domina certa direção do vento. Trabalharam também com os coeficientes de assimetria e curtose, e que as diferentes direções mostraram flutuações importantes.

TORRES *et al.* (1999) apresentaram estudo pioneiro ao caracterizar o vento de acordo com sua direção, dividida em oito classes. Para cada uma delas foi determinada a sua frequência relativa e obtidos os parâmetros da distribuição de Weibull. As análises se deram sobre um intervalo de tempo de 10 minutos. Foram usados dados de 11 estações automáticas localizadas na região de Navarra, Espanha, no período de 1992 a 1996. Inclusive, para cada direção, foram determinados a sua frequência relativa de ocorrência, os coeficientes de assimetria e de curtose, e os parâmetros de forma e escala de Weibull. Não houve caracterização da variação mensal das variáveis mencionadas.

SILVA e LARROZA (1999) construíram tabelas de probabilidades quinqüenais da velocidade média e da velocidade máxima do vento em Pelotas, RS. Eles usaram uma transformação (raiz quarta) como forma de homogeneizar a variância e normalizar os dados de vento. As probabilidades foram estimadas pela distribuição de Student para níveis de 1 a 99% de probabilidade.

SEGURO e LAMBERT (2000) usaram três métodos de estimativa dos parâmetros de Weibull: duas variações do método de máxima verossimilhança e o método gráfico. Eles observaram que o método gráfico é o mais usual em virtude de sua simplicidade. O trabalho tinha como objetivo demonstrar que o método de máxima probabilidade é o método mais apropriado para estimar os parâmetros de Weibull. Observaram que os parâmetros de Weibull fornecem uma representação conveniente dos dados de velocidade para propósitos de cálculo de energia eólica.

LUN e LAM (2000) destacaram o grande esforço empreendido nas últimas décadas no sentido do desenvolvimento de um modelo estatístico adequado para descrever a distribuição de frequências da velocidade do vento. Concluíram que muitas

considerações foram dadas ao modelo biparamétrico de Weibull em face dele ter sido constituído com base no método que melhor se ajusta aos dados de velocidade do vento. Na sua pesquisa, aplicaram a distribuição de Weibull a trinta anos de registros de velocidade do vento de três localidades em Hong Kong e analisaram a variação mensal, estacional e anual dos parâmetros de Weibull. Usaram o método gráfico na estimativa dos parâmetros de Weibull e avaliaram as tendências dos parâmetros no período analisado. Eles concluíram que a partir da primeira metade do período estudado houve uma tendência de crescimento dos parâmetros do modelo.

MERZOUK (2000) obteve o mapa do potencial eólico da Argélia a partir dos dados de vento de 64 estações. Caracterizou as variações diárias e anuais com base no uso da distribuição de Weibull, sendo que as velocidades médias usadas correspondem a um período com 3 horas de duração, e de pelo menos 10 anos de registros. Segundo o autor o modelo de Weibull é o mais usado para descrever a variação das velocidades do vento. Porém, nas regiões onde os registros das frequências do vento são fracos, deve-se adotar a distribuição híbrida de Weibull. Usou essa distribuição híbrida e o da máxima verossimilhança para as localidades com tais características.

ALVES (2001) também trabalhou com os dados horários de velocidade e direção dos ventos provenientes dos registros de anemógrafos universais Fuees, a 10 m de altura, das 77 estações pertencentes ao antigo Departamento Nacional de Meteorologia, no período compreendido entre janeiro de 1977 a dezembro de 1981. O objetivo da pesquisa foi à determinação da potência média horária da direção predominante do vento. Para tanto, foi identificada a frequência relativa associada à velocidade média horária do vento naquela direção predominante, estimando os parâmetros da distribuição de Weibull de acordo com os métodos dos momentos e gráfico. Também foi testado o ajustamento do modelo de Weibull aos dados observados segundo o método de Kolmogorov-Smirnov. Em função dos resultados apresentados nesse trabalho, constatou-se que a direção predominante do vento no Nordeste do Brasil é de Leste, flutuando para Sudeste e Nordeste, e que ventos mais fortes, em média 4,3 m/s, ocorreram no estado do Rio Grande do Norte, e ventos mais fracos, em média 2,7 m/s, ocorreram no estado do Maranhão. A distribuição estatística de Weibull apresentou um bom ajuste que foi comprovado pela consistência verificada na obtenção dos parâmetros “*A*” e “*B*”. O ajuste pelo método dos momentos evidenciou melhor que o método dos mínimos quadrados, embora a aplicação do teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov apresentou, em ambos os casos, resultados satisfatórios. Esses

trabalhos indicam a importância do conhecimento do comportamento do vento para qualquer projeto envolvendo captação de energia eólica, com o conhecimento completo do comportamento do vento no local escolhido. Os ventos variam de intensidade e direção a cada instante, sendo necessário à adoção de um modelo matemático para uma análise mais precisa do vento. Faz-se então necessário à medição com precisão e qualidade. Sendo o vento representado pelo seu vetor velocidade, que possui um módulo (ou intensidade), direção e sentido. A sua medição deverá fornecer, portanto, esses três elementos (VIANELLO e ALVES, 1991). Esses parâmetros são altamente específicos de cada local e somente podem ser determinados com exatidão suficientes com medidas em um local particular durante um período suficientemente longo. Eles são usados para determinar o rendimento e o custo da implantação de uma turbina eólica em um dado local.

As maiores velocidades de vento são geralmente encontradas sobre o topo das montanhas, costas expostas e no mar aberto. Vários parâmetros necessitam ser conhecidos a respeito do vento, incluindo a sua velocidade média, direção, variações em torno da média em curtos intervalos de tempo, variações diárias, variações sazonais, variações anuais e variações com a altura. Assim, essas medições permitem conhecer as variações dos ventos à superfície, o que são muito importantes para fins práticos, tal como para a conversão da energia eólica. Os cursos diário e anual da velocidade do vento têm uma componente fortemente ligada à oferta da radiação solar, caracterizando a energia de vento como possuidora de alta variabilidade em espaço e tempo (ALVES, 2001).

O planejamento do uso adequado dos recursos eólicos de uma região deve caracterizar bem o vento, ou seja, identificar os locais de maior potencialidade eólica e a energia que pode ser gerada nesses locais, bem como o desempenho das turbinas de vento que sofrem a influência da turbulência gerada pela rugosidade da superfície e da cobertura vegetal. Tudo isso é fundamental na elaboração de um projeto de criação de um parque eólico para geração de energia. Para produzir esse conhecimento tem sido usado em diversos estudos o modelo estatístico Weibull de dois parâmetros, em virtude do mesmo apresentar um bom ajuste à distribuição de frequência dos dados de velocidade do vento. Esses parâmetros podem ser determinados de diferentes maneiras. No entanto, tem sido usado com maior frequência o método gráfico, mais conhecido no passado como “gráfico de Weibull”, e que mais recentemente tem sido classificado

como dos mínimos quadrados. Porém, nos dias atuais sendo mais utilizados, o método da máxima verossimilhança e o método dos momentos. Ambos são os que oferecem as estimativas mais precisas dos parâmetros de Weibull (ALVES, 2001).

SILVA *et al.* (2002) realizou um trabalho sobre o potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro, com dados horários de velocidade e direção do vento, provenientes de registros de anemógrafo Universal Fuess, a 10 m de altura, de 77 estações climatológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. O objetivo da pesquisa foi à determinação da potência eólica média horária da direção predominante do vento em todas as estações selecionadas. Na pesquisa constatou-se que a direção predominante do vento no Nordeste do Brasil é de Leste, com flutuações para Sudeste e Nordeste. Eles trabalharam com a distribuição de Weibull e identificou a maior potência eólica na estação de Acaraú no Ceará.

SILVA *et al.* (2004) realizou um trabalho sobre a variabilidade espacial e temporal do potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil, utilizando-se novamente dos dados horários de velocidade e direção do vento, provenientes de registros de anemógrafo Universal Fuess, a 10 m de altura, de 77 estações climatológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), no período de janeiro de 1977 a dezembro de 1981. Eles concluíram que o ajuste pelo método dos momentos evidenciou-se melhor do que o dos mínimos quadrados e também constatou que os estados do Rio Grande do Norte, Sergipe, Pernambuco e Ceará apresentaram potencial superior a  $20 \text{ W/m}^2$ .

O estudo de AGUIAR (2004) focalizou a questão de como minorar a má distribuição de renda tendo a geração de energia elétrica limpa e descentralizada como um de seus agentes. O objetivo foi mostrar que existem tecnologias, pouco usadas no Brasil, e que poderiam se implantadas, ser mais vantajosas pela concomitante geração de empregos e mais favoráveis no aspecto estratégico de independência de suprimentos externos.

Recentemente, SILVA (2006) desenvolveu um trabalho sobre o desenvolvimento tecnológico e ampliação do uso das fontes renováveis de energias complementares no Brasil. Nesse trabalho ele expõe os determinantes do esgotamento do modelo de expansão do setor elétrico, que mostra a instabilidade da manutenção das ações de pesquisa e desenvolvimento do uso da tecnologia eólio-elétrica.

## Capítulo III

---

### 3. Material e Métodos

Em resposta aos objetivos propostos neste trabalho foram realizados procedimentos metodológicos descrito a seguir: (i) interpretação da legislação com relação aos recursos energéticos renováveis, em especial a energia eólica e (ii) detalhamento da metodologia para a obtenção do potencial eólico a 10 m.

#### 3.1. Legislação dos recursos energéticos renováveis

O Governo brasileiro através dos diversos atos legislativos deu forma a um arcabouço institucional que encorajou o uso de novas fontes de energias renováveis e de suas reais possibilidades de aproveitamento a partir de vários instrumentos legais, descritos a seguir.

#### Constituição Federal de 1988

##### Seção IV

##### DOS IMPOSTOS DOS ESTADOS E DO DISTRITO FEDERAL

Art. 155. Compete aos Estados e ao Distrito Federal instituir impostos sobre:

§ 3º À exceção dos impostos de que tratam o inciso II do *caput* deste artigo e o art. 153, I e II, nenhum outro imposto poderá incidir sobre operações relativas à energia elétrica, serviços de telecomunicações, derivados de petróleo, combustíveis e minerais do País.

Artigo 175: Atribui responsabilidade ao poder público, na forma da lei, pela prestação de serviços públicos, diretamente ou sob o regime de concessão ou permissão.

Artigo 176: Define condições para o aproveitamento dos potenciais de energia hidráulica e para a pesquisa e a lavra de recursos minerais, bem como dispensa a autorização ou concessão para o aproveitamento do potencial de energia renovável de capacidade reduzida.

Artigo 225: Encerra o Capítulo dedicado ao meio ambiente, assegurando a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado e impondo ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações, dentro de condições que especifica.

### **Leis específicas do setor elétrico**

Lei Nº. 10847 de 15/03/2004: Autoriza a criação da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), vinculada ao Ministério de Minas e Energia.

Lei Nº. 10848 de 15/03/2004: Dispõe sobre a comercialização de energia elétrica.

Lei Nº. 10762 de 11/11/2003: Dispõe sobre a criação do Programa Emergencial e Excepcional de Apoio às Concessionárias de Serviços Públicos de Distribuição de Energia Elétrica.

Lei Nº. 10438 de 26/04/2002: Dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária e universalização do Serviço Público de Energia Elétrica, cria o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA - e a Conta de Desenvolvimento Energético – CDE.

Lei Nº. 10295 de 17/10/2001: Dispõe sobre a Política Nacional de Conservação e Uso Racional de Energia, visando à alocação eficiente de recursos energéticos e preservação ambiental.

Lei Nº. 9991 de 24/07/2000: Dispõe sobre realização de investimento em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Lei Nº. 9427 de 26/12/1996: Institui a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL disciplina o regime das concessões de Serviços Públicos de Energia Elétrica.

Lei Nº. 9074 de 07/07/1995: Estabelece normas para a outorga e prorrogações das concessões e permissões de serviços públicos.

Lei Nº. 8987 de 13/02/1995: Dispõe sobre o regime de concessão e permissão da prestação de serviços públicos previstos no art. 175 da Constituição Federal.

### **Decretos específicos do setor elétrico**

Decreto Nº. 5597 de 28/11/2005: Regulamenta o acesso de consumidores livres as rede de transmissão de energia elétrica, sob a autorização, aprovação, fiscalização e regulação da ANEEL.

Decreto Nº. 5177 de 12/08/2004: Autoriza a criação da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica - CCEE, sob a regulação e fiscalização da ANEEL, e dispõe sobre sua organização, atribuições e funcionamento.

Decreto Nº. 5163 de 30/07/2004: Regulamenta a comercialização de energia elétrica, o processo de outorga de concessões e de autorizações de geração de energia elétrica.

Decreto Nº. 5025 de 30/03/2004 : Regulamenta o inciso I e os parágrafos 1º, 2º, 3º, 4º e 5º do artigo 3º da Lei 10.438 de 26.04.2002, no que dispõem sobre o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.

Decreto Nº. 4970 de 30/01/2004: Dá nova redação ao art. 1º do Decreto nº 4.932, de 23.12.2003, que dispõe sobre a delegação de competência à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Decreto Nº. 4932 de 23/12/2003: Dispõe sobre a delegação de competências à Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL.

Decreto Nº. 4873 de 11/11/2003: Institui o Programa Nacional de Universalização do Acesso e Uso da Energia Elétrica - Luz para Todos.

Decreto Nº. 4562 de 31/12/2002: Estabelece normas gerais para celebração, substituição e aditamento dos contratos de fornecimento de energia elétrica; para tarifação e preço de energia elétrica; dispõe sobre compra de energia elétrica das concessionárias de serviço público de distribuição.

Decreto Nº. 4541 de 23/12/2002: Regulamenta os arts. 3º, 13, 17 e 23 da Lei 10.438 de 26.04.2002, que dispõe sobre a expansão da oferta de energia elétrica emergencial, recomposição tarifária extraordinária, cria Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA e a Conta de Desenvolvimento Energético – CDE.

Decreto Nº. 4505 de 11/12/2002: Altera os Decretos 3.520 de 21.06.2000 e 4.131 de 14.02.2002, que dispõem sobre a estrutura e o funcionamento do Conselho Nacional de Política Energética – CNPE.

Decreto Nº. 4413 de 07/10/2002: Acrescenta parágrafos ao art. 9º do Decreto 62.724 de 17.05.1968, que estabelece normas gerais de tarifação para as empresas concessionárias de Serviço Público de Energia Elétrica.

Decreto Nº. 4059 de 19/12/2001: Regulamenta a Lei 10.295 de 17.10.2001, que dispõe sobre a política nacional de conservação e uso racional de energia.

Decreto Nº. 3900 de 29/08/2001: Cria a Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial - CBEE, vinculada ao Ministério de Minas e Energia – MME.

Decreto Nº. 3867 de 16/07/2001: Regulamenta a Lei 9.991 de 24.07.2000, que dispõe sobre investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética por parte das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas do setor de energia elétrica.

Decreto Nº. 2655 de 02/07/1998: Regulamenta o Mercado Atacadista de Energia Elétrica e define as regras de organização do Operador Nacional do Sistema Elétrico – ONS.

Decreto Nº. 2003 de 10/09/1996: Regulamenta a produção de energia elétrica por Produtor Independente e por Autoprodutor.

Decreto Nº. de 27/12/1994: Cria o Programa de Desenvolvimento Energético dos estados e municípios – PRODEEM.

Decreto Nº. de 18/07/1991: Dispõe sobre o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL, em consonância com as diretrizes do Programa Nacional de Racionalização da Produção e do Uso da Energia.

### **Portarias do Ministério de Minas e Energia**

Portaria Nº. 231 de 12/05/2005: Cria o comitê gestor do Projeto PNUD-039, como responsável pela definição das diretrizes gerais e prioridades, para o plano de ação do Projeto de Apoio à reestruturação do setor energético.

Portaria Nº. 232 de 12/05/2005: Cria o Comitê Gestor do Projeto ESTAL, como responsável pela definição das diretrizes gerais e prioridades, para o plano de ação do Projeto de Assistência Técnica ao Setor Energético - Projeto ESTAL.

Portaria Nº. 212 de 05/06/2002: Aprovar o relatório final do Plano Decenal de Expansão do Sistema Elétrico Brasileiro para o período 2001 a 2010, elaborado pelo Comitê Coordenador do Planejamento da Expansão dos Sistemas Elétricos - CCPE.

Portaria Nº. 046 de 07/03/2001: Cria o Comitê de Acompanhamento das Metas de Conservação de Energia - CAMEC, com a atribuição básica de acompanhar o processo de estudos e implantação das providências de conservação, indicados nos planos do Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica - PROCEL e do CONPET.

### **Resoluções da Agência Nacional de Energia Elétrica**

Resolução Nº. 715 de 28/12/2001 publicado em 29/12/2001 Estabelece regras para a contratação do acesso temporário aos sistemas de transmissão e de distribuição de energia elétrica.

Resolução Nº. 502 de 26/11/2001: Aprova o Manual dos Programas de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico do Setor Elétrico Brasileiro.

Resolução Nº. 728 de 30/12/2003: Estabelece, nos termos da Resolução CNPE 010 de 16.12.2003, o valor do encargo de aquisição de energia elétrica emergencial, de que trata a Lei 10.438 de 26.04.2002.

Resolução Nº. 223 de 29/04/2003: Estabelece as condições gerais para elaboração dos Planos de Universalização de Energia Elétrica, visando ao atendimento de pedidos de fornecimento ou aumento de carga, regulamentando o disposto nos arts. 14 e 15 da Lei 10.438 de 26.04.2002, bem como fixa as responsabilidades das concessionárias e permissionárias de serviço público de distribuição de energia elétrica.

Resolução Normativa Nº. 127 de 06/12/2004: Estabelece os procedimentos para o rateio dos custos do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, bem como para a definição das respectivas quotas de energia elétrica.

Resolução Normativa Nº. 111 de 16/11/2004: Estabelece as quotas anuais provisórias de energia, referentes ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, para as distribuidoras que operem no Sistema Interligado Nacional - SIN, em função do Leilão de energia de geração, existente no Ambiente de Contratação Regulada.

Resolução Normativa Nº. 077 de 18/08/2004: Estabelece os procedimentos vinculados à redução das tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição, para empreendimentos hidrelétricos de geração, caracterizados como Pequena Central Hidrelétrica, e aqueles com fonte solar, eólica, biomassa ou cogeração qualificada, com potência instalada menor ou igual a 30.000 kW.

Resolução Normativa Nº. 056 de 06/04/2004: Estabelece os procedimentos para acesso das centrais geradoras participantes do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.

Resolução Normativa Nº. 176 de 28/11/2005: Estabelece os critérios para aplicação de recursos em Programas de Eficiência Energética.

Resolução Normativa Nº. 189 de 06/12/2005: Estabelece os critérios e procedimentos para apuração e repasse, à Tarifa de Uso dos Sistemas de Distribuição - TUSD, dos valores decorrentes de variações das quotas de custeio, ocorridas entre reajustes

tarifários anuais, referentes ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA.

Resolução Homologatória Nº. 250 de 28/11/2005: Estabelece as quotas de custeio e as de energia elétrica, para o ano de 2006, no âmbito do Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA.

Resolução Outras Nº. 001 de 17/11/2004: Define o critério geral de garantia de suprimento, aplicável aos estudos de expansão da oferta e do planejamento da operação do sistema elétrico interligado, bem como ao cálculo das garantias físicas de energia e potência de um empreendimento de geração de energia elétrica.

Resolução Outras Nº. 012 de 17/09/2002: Estabelece diretrizes para celebração, substituição e aditamento de contratos de fornecimento de energia elétrica e para política tarifária e de preços da energia vendida pelas concessionárias ou permissionárias de serviço público de geração ou de distribuição de energia elétrica.

### **3.2. Metodologia para determinação do FIR**

Diante da disponibilização das ementas com a definição e a atribuição da legislação que favorece a política das energias renováveis no Brasil resultaram em duas avaliações: (i) interpretação das políticas, resultando numa análise específica com a construção do Quadro 5.1 (Resumo dos atos legislativos e sua contribuição – FIR - fatores impulsionadores para a promoção das energias renováveis: P&D (Pesquisa e Desenvolvimento ou Avanços Tecnológicos) – atos que corroboram para a evolução tecnológica das fontes renováveis; I (Incentivos) - atos caracterizados por estímulo ou instigadores das políticas energéticas; F (Flexibilização) – atos de contribuição ou facilitadores dentro do cenário energético brasileiro e RA (Responsabilidade Ambiental) – atos contemplados pela política de responsabilidade com o meio ambiente e seu uso racional.

Estabelecendo esses fatores como os principais indicadores do grau de valorização da política energética para a expansão das fontes renováveis em que fica caracterizada a questão energética nacional propícia à expansão das renováveis a partir da descrição central dos atos legislativos e a determinação da sua influência na promoção direta ou indiretamente e (ii) análise dos principais medidas impulsionadoras, com ênfase nas energias renováveis, identificando os aspectos pontuais para energia eólica, tais como: Produtor Independente de Energia, Autoprodutor e Consumidor

Livre; a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL); o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA); o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA) e a Conta de Desenvolvimento Energético (CDE). A partir desse conjunto de Leis, e uma série de outras ferramentas institucionais (Portarias, Resoluções, Decretos e Relatórios) de caráter legal, serão apresentados os resultados da análise da política de promoção das fontes renováveis, em especial, da energia eólica na matriz energética brasileira através dos principais programas governamentais, contribuindo para a compreensão do cenário brasileiro neste setor.

### **3.3. Caracterização geográfica das Mesorregiões do Ceará**

O estado do Ceará é localizado na região Nordeste do Brasil e tem por limites o Oceano Atlântico ao norte e nordeste, o Rio Grande do Norte e a Paraíba a leste, Pernambuco ao sul e o Piauí a oeste. Sua área total é de 146.348,30 km<sup>2</sup>, ou 9,37% da área do Nordeste e 1,7% da superfície do Brasil. Apresenta formações de relevo bastante irregular: a oeste é delimitada pela Costa da Ibiapaba, a leste, pela Chapada do Apodi, a sul pela Chapada do Araripe e a Norte pelo Oceano Atlântico. Na região central do estado encontra-se a "Depressão" Sertaneja, onde estão as Serras e Inselbergs, que são formações montanhosas de origem sedimentar e cristalina, respectivamente. Essa área encontra-se no domínio da Caatinga, um bioma semi-árido exclusivamente brasileiro, caracterizado por um período chuvoso restrito a 3 ou 4 meses do ano e alta biodiversidade.

O clima predominante no Ceará é o semi-árido, onde em pelo menos 9 meses do ano não chove e a temperatura média alcança 28°C em quase todas as mesorregiões. A forte sazonalidade do bioma faz com que existam fauna e flora adaptadas a tais condições ambientais. O estado está imerso na contínua circulação atmosférica subequatorial dos ventos alísios, intensificados pelas brisas marinhas ao longo de 640 km de seu perímetro litorâneo com o Oceano Atlântico. Superpondo-se a estes fatores, a movimentação da Zona de Convergência Intertropical induz uma pronunciada sazonalidade nos regimes de vento.

Os dados a serem utilizados no estudo são provenientes de redes automáticas (PCDs) espalhadas por todas as mesorregiões do estado do Ceará, com dados horários e direção dos ventos a 10 m de altura no período de 2003 a 2006. A Figura 3.1 exibe a

distribuição regional da área de abrangência do estudo de caso e sua distribuição espacial por todo o estado do Ceará. As estações analisadas estão apresentadas no Quadro 3.1, com informações geográficas das áreas de abrangência do estudo.

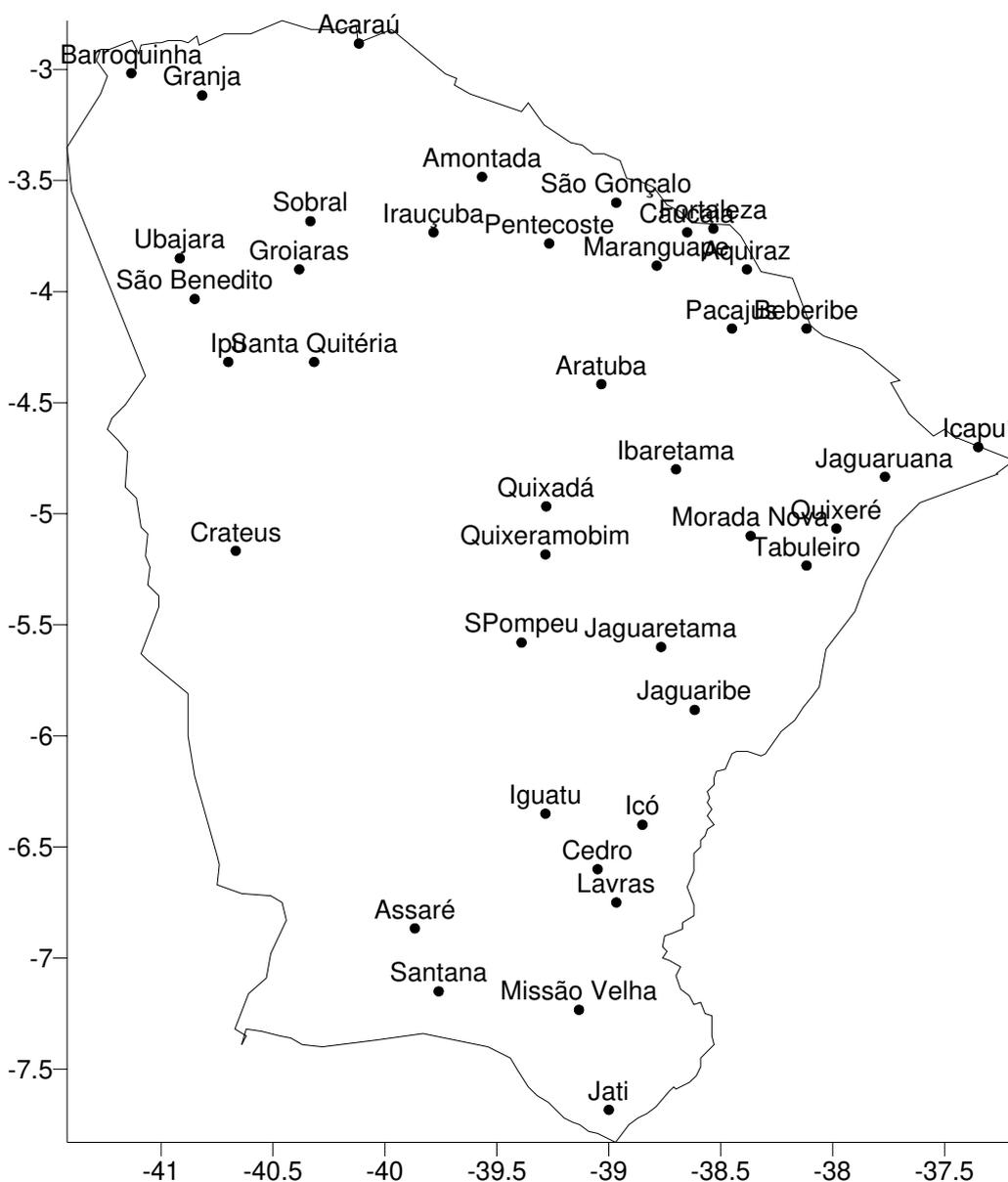


Figura 3.1. Mapa do estado do Ceará e distribuição espacial das estações utilizadas no estudo.

Os ventos sobre o Ceará são mais intensos durante o dia, de acordo com observações em 10 estações meteorológicas distribuídas pelo estado, no período 1977-1981. Esse fato reflete a origem solar dos ventos, pelo aquecimento desigual da superfície da Terra. À exceção desse comportamento diurno são as áreas de serra, devido às influências locais de mesoescala (Atlas Eólico, 2000).

Por sua proximidade à linha do equador, as médias climatológicas das temperaturas mensais no Ceará, especialmente na faixa litorânea, têm uma amplitude de

variação anual relativamente pequena. No entanto, as flutuações diurnas de temperatura entre continente e oceano contribuem na ampliação da sazonalidade dos ventos.

A seguir são apresentadas as descrições de cada estação estudada:

Área Geográfica	Características Geográficas das Mesorregiões e Áreas de Estudo					
	Mesorregião	Lat. Sul	Long. Oeste	Altitude (m)	T °C (média)	P (mm/ano)
<b>Sul Cearense</b>						
Assaré	6° 52' 28"	39° 52' 30"	470	26 a 28	680,7	Fevereiro a Abril
Jati	7° 41' 10"	39° 00' 57"	435,04	26 a 28	668,6	Janeiro a Abril
Santana do Cariri				26 a 28		
Missão Velha	7° 14' 59"	39° 08' 35"	361	26 a 28	987,3	Janeiro a Abril
<b>Norte Cearense</b>						
Amontada	3° 29' 40"	39° 34' 43"	40	26 a 28	828,5	Fevereiro a Abril
Aratuba	4° 25' 06"	39° 02' 42"	830	26 a 28	1753,1	Janeiro a Maio
Beberibe	6° 36' 24"	39° 03' 44"	11,9	26 a 28	914,1	Janeiro a Abril
Pentecoste	6° 36' 24"	39° 03' 44"	60	26 a 28	817,7	Janeiro a Abril
São Gonçalo	6° 36' 24"	39° 03' 44"	15,92	26 a 28	1026,4	Janeiro a Maio
<b>Centro-Sul Cearense</b>						
Cedro	6° 36' 24"	39° 03' 44"	280	26 a 28	927,1	Fevereiro a Abril
Icó	6° 24' 04"	38° 51' 44"	153,4	26 a 28	733,9	Fevereiro a Abril
Iguatu	6° 21' 34"	39° 17' 55"	217,8	26 a 28	806,5	Janeiro a Abril
Lavras de Mangabeira	6° 45' 12"	38° 58' 18"	239	26 a 28	866,4	Janeiro a Abril
<b>Fortaleza</b>						
Aquiraz	3° 54' 05"	38° 23' 28"	14,2	26 a 28	1379,9	Janeiro a Maio
Caucaia	3° 44' 10"	38° 39' 11"	29,9	26 a 28	1243,2	Janeiro a Maio
Fortaleza	3° 43' 02"	38° 32' 35"	16	26 a 28	1338	Janeiro a Maio
Maranguape	3° 53' 27"	34° 41' 08"	68,6	26 a 28	1378,9	Janeiro a Maio
Pacajús	4° 10' 21"	38° 27' 38"	73,9	26 a 28	791,4	Janeiro a Abril
<b>Noroeste Cearense</b>						
Acaraú	2° 53' 08"	40° 07' 12"	13	26 a 28	1139,7	Janeiro a Abril
Barroquinha	3° 01' 08"	41° 08' 10"	94	26 a 28	1164,4	Janeiro a Maio
Granja	3° 07' 13"	40° 49' 34"	10,55	26 a 28	1039,9	Janeiro a Maio
Ubajara	3° 51' 16"	40° 55' 16"	847,5	26 a 28	1483,5	Janeiro a Abril
Groianas	3° 54' 48"	40° 23' 00"	110	26 a 28	904,5	Janeiro a Abril
Ipu	4° 19' 20"	40° 42' 39"	247	26 a 28	903,6	Janeiro a Maio
Irauçuba	3° 44' 46"	39° 47' 00"	152,52	26 a 28	539,5	Janeiro a Abril
Santa Quitéria	4° 19' 55"	40° 09' 24"	197,7	26 a 28	799,8	Fevereiro a Abril
São Benedito	4° 02' 55"	40° 51' 54"	901,64	26 a 28	1943,7	Janeiro a Maio
Sobral	3° 41' 10"	40° 20' 59"	69,49	26 a 28	821,6	Janeiro a Maio
<b>Jaguaribe</b>						
Icapuí	4° 42' 47"	37° 21' 19"	5	26 a 28	949,2	Janeiro a Maio
Jaguaribe	5° 53' 26"	38° 37' 19"	119,4	26 a 28	679,9	Janeiro a Abril
Jaguetana	5° 36' 46"	38° 46' 01"	100	26 a 28	782,8	Janeiro a Abril
Jaguaruana	4° 50' 02"	37° 46' 52"	20	26 a 28	752,6	Janeiro a Abril
Morada Nova	5° 06' 24"	38° 22' 21"	89	26 a 28	742,5	Fevereiro a Abril
Quixeré	5° 04' 27"	37° 59' 19"	30	26 a 28	857,7	Fevereiro a Abril
Tabuleiro	5° 14' 48"	38° 07' 50"	39,7	26 a 28	794,8	Fevereiro a Abril
<b>Sertões Cearenses</b>						
Ibaretama	4° 48' 15"	38° 45' 12"	180	26 a 28	838,1	Janeiro a Abril
Crateús	5° 10' 42"	40° 40' 39"	5	26 a 28	731,2	Janeiro a Abril
Quixadá	4° 58' 17"	39° 00' 55"	190	26 a 28	838,1	Fevereiro a Abril
Quixeramobim	5° 11' 57"	39° 17' 34"	191,7	26 a 28	707,7	Fevereiro a Abril
Senador Pompeu				26 a 28		

Quadro 3.1. Relação das estações do estado do Ceará e suas características geográficas

### 3.4. Aspectos gerais da velocidade do vento

Como a maioria das fontes de energia terrestre é proveniente do sol, que irradia um em uma hora  $1,74 \times 10^{17}$  W de energia, e que desse total 1 a 2% é convertida em vento, essa quantidade é 50 a 100 vezes maior do que a energia convertida em biomassa por toda a vegetação da terra. O vento é gerado pelo aquecimento das massas de ar na atmosfera terrestre, resultado da quantidade de energia proveniente do sol incidente sobre a superfície terrestre. Quando essa energia chega a terra produz um movimento em grande escala na atmosfera. Devido ao aquecimento do ar nas regiões equatoriais, ele se torna mais leve e começa a subir; nos pólos o efeito é inverso, o ar frio começa a descer. A subida do ar no equador provoca movimentos em direção aos pólos, que cessa a cerca de  $30^\circ$  N e  $30^\circ$  S, denominadas de latitudes de cavalo, onde o ar começa a descer, retornando o fluxo do ar frio para as camadas mais baixas da atmosfera (WALKER e JENKINS, 1997).

O ar não é aquecido diretamente, mas a radiação solar é primeiramente absorvida pela superfície da Terra e, então, transferida de várias formas de volta às camadas da atmosfera. Como a superfície terrestre não é homogênea (terra, água, desertos, florestas, etc.), a quantidade de energia que é absorvida varia em espaço e tempo. Isto cria gradientes, tanto na temperatura, como na densidade e na pressão atmosférica, que, por seu turno, criam forças que movem o ar de um lugar para outro (SPERA, 1994). Esse vento é chamado de alísios de nordeste no hemisfério norte e alísios de sudeste no hemisfério sul. Percebe-se assim, que o aquecimento solar e a rotação da Terra estabelecem certo padrão semi-permanente de circulação do ar na atmosfera.

Logo, em um estudo do comportamento dos ventos em uma determinada localidade, é fundamental uma análise meteorológica, ou seja, é importante identificar perfeitamente o ponto a ser medido (latitude, longitude e altura da medição), velocidade e direção do vento, pressão e temperatura através de equipamentos confiáveis e, principalmente, séries históricas de medidas, para que se possa validar os dados e extrapolá-los para outros anos e outras alturas. Estudos determinaram que a topografia de um local tem um efeito significativo na direção e na velocidade do vento, podendo alterá-las num vale ou simplesmente ao topo de uma montanha.

Mediante o conhecimento do movimento do ar na atmosfera, leva-se em consideração que ele circula em muitas escalas de tempo e espaço. A escala de tempo

vai de segundos até anos, e a escala espacial varia do nível do solo, onde a velocidade é praticamente nula, até milhares de quilômetros de altura. A composição dessas duas escalas é que representa os diversos movimentos de vento na atmosfera (SPERA, 1994). As variações do vento à superfície são muito importantes para fins práticos. O curso diário da velocidade do vento tem um componente fortemente ligado à chegada de radiação solar (VIANELLO e ALVES, 1991). Geralmente, os ventos são classificados como de ordem Planetária ou Geral e Local. Os ventos gerais são aqueles que se movem na parte superior da atmosfera, enquanto os ventos locais estão próximos da superfície da Terra. Os ventos locais fazem parte de sistemas gerais de ventos que estão associados a centros de alta ou baixa pressão que se deslocam. Os nomes típicos estão, em geral, ligados com algumas propriedades, geralmente desagradáveis, tais como excessiva secura, temperaturas muito altas ou muito baixas (VIANELLO e ALVES, 1991).

Outro aspecto que precisa ser observado nas medições de vento é a falta de padronização no registro dos dados meteorológicos e climáticos. Segundo o *National Service Weather* (NSW), dos EUA, sempre foi empregado um anemômetro rotativo de conchas com eixo vertical para medir a velocidade do vento. Entretanto, se utilizam outros tipos de anemômetros, como o sônico, o de fio quente, ou o de placa de pressão. Os totalizadores ou registradores (*data loggers*), que fazem parte desses anemômetros, registram a passagem no número de milhas ou quilômetros do vento dentro de um intervalo específico de tempo, expressando a velocidade do vento em milhas ou km por hora, ou m por segundo.

As medições de vento são feitas quase que exclusivamente com a ajuda de um anemômetro de conchas. Devido à inércia ele não registra com exatidão velocidades abaixo de 0,5 m/s. Além disso, existe um efeito chamado de sobrevelocidade, pois, devido às suas propriedades aerodinâmicas, o anemômetro reage mais rapidamente ao aumento de velocidade do vento do que à diminuição.

Em alguns estudos (WALKER e JENKINS, 1997) foram utilizados valores de velocidade média e direção para cada hora separadamente e para cada ponto de observação. Vale salientar que existem flutuações consideráveis na velocidade do vento dentro de uma hora. Se a medição fosse feita a cada 1 ou 10 minutos ela seria mais precisa, mas mesmo assim não o suficiente para considerações sobre energia. Atualmente, utilizam-se medições, com amostragens, variando entre 1 e 10 segundos, que são integradas, através do *data logger*, em intervalos de 10 minutos, como no caso das 40 estações utilizadas neste trabalho.

As PCDs são equipamentos completamente automáticos, dispoindo de sensores eletrônicos capazes de medir precipitação, pressão atmosférica, radiação solar, temperatura e umidade do ar, direção e velocidade do vento e nível de corpos de água. Os dados são coletados através dos satélites brasileiros SCD1 e SCD2 e transmitidos para o Centro de Recepção do INPE em Cuiabá - MT e Natal - RN, sendo então retransmitidos para o Centro da Missão de Coleta de Dados do INPE, em Cachoeira Paulista, SP. Esse sistema de aquisição de dados via satélite permite coletar informações a cada 100 minutos, estando os dados disponíveis aos usuários de 3 a 6 horas após sua coleta, com a vantagem de não necessitar de intervenção humana (CPTEC/INPE, 2006).

As PCDs são controladas pela Unidade Controladora, composta de uma placa mãe, responsável pelo controle dos sensores e pelo gerenciamento das comunicações e da energia. A programação, estabelecida pelo usuário, é armazenada numa memória não-volátil que orienta a coleta e processamento de dados ambientais, retransmitindo - os automaticamente, através dos satélites brasileiros SCDs, ou opcionalmente, sob solicitação, através de linha telefônica. A aquisição de dados é efetuada a cada segundo e a transmissão de dados para o satélite é efetuada a cada 90 segundos. Além de transmitir, parte dos dados é ainda armazenado em uma placa de memória RAM PCMCIA de 128 Kbytes. (CPTEC/INPE, 2006).

O sensor de medida da velocidade e direção do vento utiliza o princípio da transmissão de ultra - som, com a vantagem de não dispor de nenhuma peça móvel, apresentando um limite de partida praticamente zero. O princípio de medida baseia - se no tempo de trânsito do sinal ultra-sônico entre as cabeças do sensor, o qual é função da velocidade do vento ao longo da trajetória sônica. O tempo de trânsito é medido em ambas as direções, sendo a velocidade e direção estimada pela diferença entre essas duas medições de tempo (CPTEC/INPE, 2006).

A intensidade do vento no Sistema Internacional (SI) é dado em m/s. A direção e o sentido do vento são normalmente expressos conjuntamente, tendo-se como referência o ponto cardinal DE ONDE O VENTO ORIGINA-SE, ou então em graus, tendo-se com referência o ponto cardinal NORTE, girando-se no sentido horário. Assim, um vento soprando de norte para sul é denominado VENTO NORTE ou VENTO DE 0°; o vento de 90° corresponde ao vento LESTE, o de 180° ao vento SUL e o de 270° ao vento OESTE. Os pontos colaterais e subcolaterais são igualmente usados, correspondendo aos graus interpolados (VIANELLO e ALVES, 1991). A rosa dos

ventos é a representação gráfica mais usual para se apresentar a direção predominante do vento.

Por problemas técnicos na construção de parques eólicos, deve-se atentar para os problemas de mudança de direção do vento. A distância mínima de separação entre as unidades geradoras do parque deve ser mantida, de modo que a mudança na direção do vento não afete o desempenho de uma unidade em relação à outra. Para parques eólicos, essa distância de separação entre uma unidade e outra deve ser de, no mínimo, 3 a 10 vezes o diâmetro do rotor em todas as direções, de modo a evitar o efeito de enfraquecimento do vento em todas as direções. Se for identificada uma direção do vento predominante no parque, podem ser utilizadas no projeto séries de várias turbinas, uma ao lado da outra, e perpendiculares ao fluxo de vento predominante.

Dois parâmetros usualmente utilizados para caracterizar o vento estável a uma dada altura estão relacionados à distribuição de frequência da velocidade do vento sobre uma base anual e a sua persistência. A "frequência" indica o número de vezes que a velocidade do vento se mantém dentro de uma faixa e é um valor distinto da "persistência", que fornece estatística sobre o tempo contínuo que o vento mantém uma velocidade. Informações detalhadas de velocidade de pico do vento e tempo de duração são necessárias para uma avaliação adequada do potencial eólico em um determinado local. Algumas dessas informações podem ser estimadas através de dados estatísticos da atmosfera; entretanto seria necessário existir dados históricos de longa duração (mínimo de 5 anos de observação) para uma análise mais precisa. A distribuição de frequência e a persistência são fatores importantes tanto para o projeto como para a localização de parques eólicos. A persistência do vento é importante na estimativa da energia potencial do vento, desde que, dependendo da potência gerada, será necessária a utilização de um sistema de armazenamento ou até de um sistema híbrido.

A construção de parques eólicos depende essencialmente da magnitude e regularidade da velocidade do vento. Por isso, deve-se examinar a estrutura da velocidade e da direção do vento. A velocidade média do vento pode ser calculada em termos de média horária, diária, mensal e anual. Essas velocidades médias de várias estações meteorológicas somente podem ser comparadas umas com as outras se elas foram medidas a mesma altura. Muitas das medições são realizadas na faixa de 10 m a 40 m acima do solo. Dessa forma, para comparar a velocidade do vento, uma extrapolação deve ser feita para uma altura comum, levando em conta a variação da rugosidade do terreno.

Na observação dos dados de estações, pode-se notar que, em geral, próximo à costa as velocidades são maiores, tendendo a diminuir à medida que se afastam da costa em direção ao interior, devido ao aumento da rugosidade do terreno. Outro ponto a ser observado é que o aumento da rugosidade e a redução da influência de áreas de baixa pressão têm efeito na magnitude da velocidade do vento que é encontrada nas regiões costeiras em alturas relativamente baixas, menores de 100 m.

O desvio-padrão da velocidade do vento dá uma idéia geral da regularidade da potência do vento. Quanto maior for o desvio-padrão menos regular é a potência do vento. Para que os valores absolutos dos desvios-padrão individuais possam ser comparados entre si eles devem ser sempre referenciados ao mesmo tipo de média temporal da velocidade do vento (diária, mensal ou anual). A avaliação final sobre as condições do vento em grandes alturas somente pode ser feita quando estiverem disponíveis dados para alturas acima de 50 m.

Em 1994, o Conselho Mundial de Energia (WEC) estimou o recurso eólico global. Nessa avaliação, 27% da superfície da Terra possui velocidades de vento superiores a 5,1 m/s a 10 m de altura do solo. Assumindo a capacidade de geração de energia de 8 MW/km<sup>2</sup> e o fator de carga de 23%, estima-se que o potencial global para produção de energia eólica seja de 20.000 TWh por ano. Outro dado interessante é que 50% da superfície da Terra está exposta a uma velocidade média anual de vento entre 4,4 e 5,1 m/s, o que é totalmente viável para pequenas turbinas eólicas (WALKER e JENKINS, 1997). Um estudo preliminar das classes de energia eólicas no mundo foi publicado como o Mapa de Projeção de Molleweide, que mostra a distribuição estimada de energia eólica dividida em sete classes de potência de vento (SPERA, 1994). Um sistema de Classe de Ventos é mostrado no Quadro 3.2.

Quadro 3.2. Sistema de classificação de velocidade de ventos e potência

Classe	10 m		50 m	
	Densidade de potência W/m <sup>2</sup>	Velocidade m/s	Densidade de Potência W/m <sup>2</sup>	Velocidade m/s
1	100	4,4	200	5,6
2	150	5,1	300	6,4
3	200	5,6	400	7,0
4	250	6,0	500	7,5
5	300	6,4	600	8,0
6	400	7,0	800	8,8
7	1.000	9,4	2.000	11,9

Fonte: SPERA ( 1994)

Os diversos mapas de fontes de energia eólica existente geralmente estimam o potencial para conversão de energia eólica em termos de classes de potência de vento. As classes acima de 3 (velocidade do vento superior a 5,1 m/s) são as preferíveis para aplicações em turbinas eólicas de médio e grande porte.

Para gerar energia, pela conversão de energia eólica, é necessária, inicialmente, uma série de medições de velocidade de vento, que pode ser integrada em uma série de potência em pequenos intervalos de tempo sobre um período específico. Dependendo da velocidade do vento local, a turbina irá produzir uma potência média que é proporcional a sua taxa máxima de potência, tipicamente de 30%. Considerando que a turbina irá operar em 95% do tempo, o fator de carga ou fator de capacidade será de 28,5%.

A velocidade do vento varia com a altura, dependendo das características da rugosidade do terreno, dentro de uma faixa que varia de alguns m até centenas de m. A partir da camada limite que, dependendo de alguns fatores, pode variar até 2.000 metros acima do solo, a rugosidade não exerce mais influência na mudança na velocidade do vento. Deve ser considerado que a altura em que o anemômetro está situado em relação ao solo é muito importante na determinação da velocidade do vento. Essas alturas podem variar de alguns m até 100 m. Para cada altura do anemômetro em relação ao solo, tem-se velocidades de vento diferentes. O ar livre viajando acima da camada limite flui muito próximo do dobro da velocidade registrada pelo anemômetro na altura padrão no nível do mar.

Em estudos normais de levantamento de potencialidade do vento no Brasil, existem dados coletados, principalmente, a 10 e 30 m. No mundo todo existe uma lacuna muito grande de dados de velocidade em alturas entre 50 m a 250 m. Essa faixa de altura pode vir a ser muito interessante na geração de energia eólica no futuro. Contudo, ainda não foram estabelecidas medidas de longo termo das características da velocidade do vento para grandes alturas, acima de 50 m. Como medidas desses dados são escassos, procedimentos que utilizam extrapolação dos dados podem ser utilizados, como é o caso dos dados do Atlas Eólico do estado do Ceará, que foram medidos a 10 m e extrapolados para 50 m.

Em princípio, todos os dados obtidos são válidos somente para a posição do anemômetro. Transferi-los para uma vizinhança imediata, mesmo em locais cuja estrutura geográfica é semelhante, pode ser relativamente problemático. A variação vertical da velocidade do vento e seu perfil podem ser expressos de várias maneiras. O módulo da velocidade do vento é, normalmente, expresso em m por segundo (m/s) ou

quilômetros por hora (km/h). A velocidade do vento na superfície é zero devido à fricção entre o ar e a superfície da Terra e aumenta com a altura mais rapidamente próximo a Terra, e menos rapidamente nas grandes alturas. A cerca de 2 km acima do solo, ou seja, acima da camada limite planetária, a variação da velocidade em relação ao solo torna-se zero (JARASS *et al.*, 1981).

### 3.5. Metodologia para a obtenção do potencial eólico

Foi desenvolvido um programa computacional em linguagem Fortran 90 para gerar a distribuição de frequências associada a cada uma das direções consideradas (Quadro 3.2). Assim, foi possível identificar a direção predominante de cada localidade e mês, bem como a frequência relativa associada a tal direção. Uma vez identificada a direção predominante de cada estação climatológica, passou-se à fase de análise da distribuição de frequências das velocidades correspondentes apenas àquela direção predominante. Nessa etapa foram determinados os parâmetros da distribuição de Weibull K e C, através do método da máxima verossimilhança, cujos procedimentos metodológicos são descritos a seguir.

Neste trabalho, para fins de identificação da direção horária predominante, foram consideradas oito faixas. Cada faixa corresponde a 45° e assim a direção Norte compreende os ventos com direções entre 337,5° a 360° e de 0° a 22,5°, como pode ser observado no Quadro 3.3.

Quadro 3.3. Codificação usada na classificação da direção horária do vento predominante.

Faixas	Denominação	Direção	Faixas	Denominação	Direção
1	Norte	337,5° - 22,5°	5	Sul	157,5° - 202,5°
2	Nordeste	22,5° - 67,5°	6	Sudoeste	202,5° - 247,5°
3	Leste	67,5° - 112,5°	7	Oeste	247,5° - 292,5°
4	Sudeste	112,5° - 157,5°	8	Noroeste	292,5° - 337,5°

Fonte: ALVES (2005.)

Neste trabalho é apresentado um procedimento de extrapolação simples. VIANELLO e ALVES (1991) propõem para alguns fins práticos, que o perfil vertical

do vento próximo a superfície pode ser expresso por uma equação exponencial da forma:

$$\frac{V_2}{V_1} = \left( \frac{Z_2}{Z_1} \right)^{\left( \frac{1}{7} \right)} \quad (1)$$

em que  $V$  é a velocidade do vento (m/s) e  $Z$  é a altura da medição (m). Essa função pode ser utilizada para cálculo da velocidade média horária em determinadas alturas, se existir uma velocidade média conhecida em uma outra altura de referência.

### 3.5.1 Modelo de Weibull

A distribuição de Weibull tem sido utilizada em inúmeros estudos destinados à análise de frequência da velocidade do vento, bem como na identificação do potencial eólico em várias partes do mundo (HENNESSEY, 1977; JUSTUS *et al.*, 1978; BANDEIRA, 1990; SOUZA e GRANJA, 1997; TORRES *et al.*, 1999; SILVA *et al.*, 2001, 2002; ALVES, 2002; SILVA *et al.*, 2004). De um modo geral, uma variável aleatória  $x$ , contínua e independente, é distribuída segundo o modelo de Weibull, se a função de densidade de probabilidade for do tipo:

$$f(x) = \left( \frac{a}{b} \right) \left( \frac{x}{b} \right)^{a-1} \exp \left[ - \left( \frac{x}{b} \right)^a \right] \quad (2)$$

em que  $a(k)$  é o parâmetro de forma (adimensional) e  $b(c)$  é o fator de escala (dimensão de velocidade), ambos positivos. Por definição, a função de distribuição  $F(x)$ , associada a um modelo probabilístico cuja variável aleatória seja positiva, esteja definida no intervalo  $[0 - \infty]$  e tenha  $fdp$  igual a  $f(v)$ , é dada por:

$$F(x) = \int_0^x f(v) dv \quad (3)$$

Isso corresponde à probabilidade de ocorrência de valores inferiores ou iguais a  $x$ . Portanto, para a distribuição de Weibull, a função de distribuição correspondente é obtida ao se integrar a Eq. 1 através da substituição de  $x/b$  por  $u$ , resultando em:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^a\right] \quad (4)$$

Nesta pesquisa estimou-se o parâmetro do modelo Weibull segundo o Método da Máxima Verossimilhança.

### 3.5.2 Método da máxima verossimilhança

O método da máxima verossimilhança também tem sido amplamente utilizado, em face de confiabilidade dos resultados quando aplicados ao modelo de Weibull para o cálculo da potência eólica. Esse método de probabilidade é sugerido por STEVENS e SMULDERS (1979), que considera as seguintes equações para o cálculo de  $a(k)$  e  $b(c)$  do método de Weibull:

$$K = \left( \frac{\sum_i^n 1 \cdot v_i^k \ln(v_i)}{\sum_i^n 1 \cdot v_i^k} - \frac{\sum_i^n 1 \cdot \ln(v_i)}{n} \right)^{-1} \quad (5)$$

$$C = \left( \frac{1}{n} \sum_i^n 1 \cdot v_i^k \right)^{\frac{1}{k}} \quad (6)$$

em que  $v_i$  é a velocidade do vento e  $n$  é número de dados de velocidade do vento diferente de zero. Para resolver a Eq. (5) usa-se o procedimento de iteração iniciando com o valor de  $K = 2$ , e proporcionar no máximo 20 iterações. Já a Eq. (6) é resolvida explicitamente. É muito importante observar que no conjunto de dados não pode apresentar nenhum valor igual à zero ou menor que zero. Quando ocorrer tais dados na série amostral, eles automaticamente são excluídos da amostra.

### 3.5.3 Cálculo da potência eólica

Para o cálculo da densidade de potência eólica média foram considerados os parâmetros da distribuição de Weibull, obtidos pelos métodos já descritos e a frequência

relativa correspondente à direção predominante do vento da matriz de dados selecionada para o estudo. Com tais informações, calculou-se a densidade de potência média horária em  $W/m^2$ , segundo a expressão:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot E(x^3) \cdot fr(d) \quad (7)$$

em que  $\rho$  é a massa específica do ar úmido ( $1,15 \text{ kg.m}^{-3}$ ),  $fr(d)$  é a frequência relativa correspondente à direção predominante do vento e  $E(x^3)$  é o terceiro momento centrado na origem, que para a distribuição de Weibull é igual a:

$$E(x^3) = b^3 \cdot \Gamma(1 + 3/a) \quad (8)$$

em que  $a(k)$  e  $b(c)$  são os parâmetros de Weibull e  $\Gamma$  é a função matemática gama.

## **4. O estado da arte da energia eólica no Brasil**

### **4.1. Considerações gerais**

A energia dos ventos pode ser explicada, em termos físicos, como a energia cinética formada nas massas de ar em movimento. Seu aproveitamento é feito por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação. Para a produção de energia elétrica, são utilizadas turbinas eólicas, também conhecidas como aerogeradores, e para a realização de trabalhos mecânicos (como o bombeamento de água ou a moagem do trigo), cata-ventos de diversos tipos.

As primeiras experiências para geração de eletricidade por meio dos ventos surgiram no final do século XIX. Em 1976, menos de um século após o início dos estudos, a primeira turbina eólica comercial foi ligada à rede elétrica pública, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30.000 MW de capacidade instalada no mundo. A maioria dos projetos está localizada na Alemanha, na Dinamarca, na Espanha e nos Estados Unidos. No Brasil, os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para medição do potencial eólico foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha, PE, no início dos anos 1990.

Dados do Atlas do Potencial Eólico Brasileiro apontam que o potencial eólico brasileiro indicativo é de 143.000 MW, sendo que 7.694,05 MW já foram autorizados. Atualmente, as usinas em operação têm capacidade instalada para gerar apenas 26,8 MW. O estado do Ceará participa com quase 65% dessa capacidade. As áreas com maior potencial eólico encontram-se nas regiões Nordeste, Sul e Sudeste.

Estima-se que o potencial eólico bruto mundial seja da ordem de 500.000 TWh/ano, o que significa mais de 30 vezes o atual consumo mundial de eletricidade. Desse potencial, no mínimo 10% é tecnicamente aproveitável, o que corresponde a cerca de quatro vezes o consumo mundial de eletricidade.

No Brasil as regiões Nordeste e Norte são considerados as áreas com os melhores potenciais para aplicações em energia eólica no Brasil, pois apresenta várias vantagens importantes na opção pelo investimento em geração de energia eólico-

elétrica. Várias instituições se empenham no mapeamento eólico de ambas as regiões, principalmente na costa litorânea, onde se observam fortes e constantes ventos praticamente durante todo o ano. Estudos feitos pela Companhia Hidrelétrica do São Francisco (CHESF) e pela companhia Elétrica do Ceará (COELCE) mostram que a costa nordestina, entre o Rio Grande do Norte e o Ceará, apresenta um recurso eólico estimado da ordem de 12.000 MW (CHESF-COELCE, 1996). Convém lembrar que a região Nordeste foi uma das pioneiras na instalação de energia eólica para aproveitamento na geração de energia elétrica. Como pode ser visto no Quadro 4.1, a grande maioria dos projetos pioneiros implantados no Brasil se encontra na região Nordeste. Outro aspecto importante é a potência que sai do patamar de kW para MW, como pode ser observado na central eólica da Prainha (CE) com 10 MW (1999) de financiamento totalmente privado pela Wobben Winpower. A partir desse ano essa empresa marcou a sua presença com investimentos no Brasil em centrais eólicas. Pode-se ainda observar que o pensamento em aproveitamento eólico no Brasil é anterior ao ano de sua crise, o que já indicava a possibilidade do aproveitamento desse recurso, e a perspectiva de incluírem-no na matriz energética brasileira.

Quadro 4.1. Histórico das aplicações eólicas no Brasil.

<b>Instalação</b>	<b>Histórico</b>	<b>Financiadores</b>	<b>Potência</b>	<b>Início de Operação</b>
<b>Implementação dos Projetos</b>				
Fernando de Noronha – PE	CELPE, UFPE/Folkcenter	30% Dinamarca	75 kW	1992
Fernando de Noronha – PE	CELPE, UFPE, ANEEL	ANEEL	300 kW	1992
Morro do Carmelinho – MG	CEMIG	70% Alemanha	1 MW	1994
Porto de Mucuripe – CE	COELCE	70% Alemanha	1.2 MW	1996
Sist. Híbrido de Joanes – PA	CEPEL/CELPA	100% USA	40 kW	1997
Central Eólica de Prainha-CE	Wobben Windpower/COELCE	Privado	10 MW	1999
Central Eólica de Taíba – CE	Wobben Windpower/COELCE	Privado	5 MW	1999
Usina de Palmas – PR	Wobben Windpower/COPEL	Privado	2.5 MW	1999

Fonte: ELETROBRÁS (2006)

A construção de parques eólicos tanto na região Norte quanto na Região Nordeste foi flexibilizada pelos custos decrescentes da tecnologia, a nova legislação do Produtor Independente de Energia, a cobertura na legislação para o acesso a rede de distribuição e transmissão e a importância da energia eólica na redução da dependência

de combustíveis fósseis. Não obstante a rica potencialidade em vento nessas regiões, o investimento em energia eólica no Brasil foi norteado principalmente pela presença do Produtor Independente de Energia, em face de flexibilidade proporcionada pela legislação do setor elétrico em curso. Os valores apresentados para as instalações em operação hoje no Brasil ainda se mostram modestos, frente às metas que foram estipuladas em 2005 no Fórum Permanente, na Declaração de Belo Horizonte. As instalações já em operação mostram uma importante iniciativa tanto das concessionárias brasileiras responsáveis pelos projetos experimentais como das empresas Auto-Produtoras de Energia que, dentro do novo cenário do setor elétrico, investem no desenvolvimento do aproveitamento eólico para geração de energia.

Existem vários argumentos que tornam a tecnologia eólica uma das promissoras fontes de energia para a matriz energética brasileira. A ELETROBRÁS tem estudado várias formas de aproveitamento eólico no Brasil e estima que aproximadamente 630 MW em projetos em energia eólica serão instalados em várias regiões do Brasil. A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), como instituição responsável pela regulação do setor elétrico, vem trabalhando intensamente na criação de incentivos para a difusão da energia eólica no Brasil. Mesmo com o novo cenário de privatizações do setor elétrico, novas formas de tarifas governamentais e reforço na rede e na transmissão de energia.

A primeira meta em instalação de parques eólicos no Brasil foi resultado dos debates ocorridos durante II encontro para o Desenvolvimento das Energias Solar, Eólica e Biomassa patrocinado pelo Fórum Permanente de Energias Renováveis que se realizou em Brasília em junho de 1995. O resultado do Encontro foi formalizado na “Declaração de Brasília” onde se registra a meta de 1.000 MW de potência instalada. O encontro de Brasília marcou um momento muito importante para as fontes alternativas, especialmente em energia eólica. Mesmo sendo um valor modesto em relação às metas propostas, a perspectiva de novos investimentos nesse setor se tornou cada vez mais próximos da realidade.

A importância do potencial eólico no Brasil tem despertado o interesse de vários fabricantes e representantes dos principais países envolvidos com energia eólica. A excelente qualidade nos níveis de radiação solar e ventos fortes, principalmente na costa nordestina, fazem com que o Brasil seja um ponto estratégico para a entrada de novas tecnologias para a América Latina. A própria presença da Wobben Wind Power no

Brasil mostra o grande interesse no mercado eólico da América do Sul dentro das perspectivas de expansão desse mercado.

Um dos mais recentes projetos voltados para a disseminação de informações sobre energia eólica para o Brasil e América Latina foi promovido pela Car Duisberg Gesellschaft (CDG), Fundação Internacional de Treinamento e Desenvolvimento da Alemanha. Em sua primeira reunião realizada na cidade de Buenos Aires, na Argentina, nos dias 14 e 17 de abril de 1999, estiveram presentes vários profissionais envolvidos com energia eólica no Brasil e Argentina. O objetivo do Encontro foi desenvolver um planejamento para divulgação da energia eólica nos dois países e identificar o treinamento necessário para divulgação e o treinamento necessário para a implementação da tecnologia eólica para geração de energia elétrica. Além disso, foram identificados os parceiros que facilitaria o desenvolvimento de atividades abordando as várias linhas de estudos da energia eólica em cada país (SÁ, 1999).

Dentro de uma agenda de atividades e projetos em energia eólica prevista para até o ano 2002, a CDG patrocinou dois cursos de energia eólica, o primeiro realizado na cidade de Curitiba, PR, em janeiro de 2000 e o segundo realizado em Fortaleza, CE, em março de 2000. Ambos os cursos tiveram como objetivo a capacitação dos técnicos brasileiros em energia eólica em técnicas de medição anemométricas e utilização do programa *Wind Atlas Analysis and Application Program* (WASP). O curso teve a duração de três semanas durante as quais foram realizadas importantes visitas a diversas estações anemométricas e aos parques eólicos instalados nas cidades de Palmas, PR (Centrais Eólicas do Paraná) e na cidade de Aquiraz (Usina Eólica de Prainha). Os cursos promoveram o reencontro de vários profissionais de energia eólica, além de fortalecer as perspectivas de crescimento da energia eólica como uma forte opção em novos projetos de geração de energia elétrica para o Brasil.

A agenda de atividades da CDG no Brasil e na Argentina prevê vários cursos e seminários voltados exclusivamente para energia eólica. Dentre as perspectivas de novos cursos, foram previstos temas importantes como “Qualidade de Energia” e “Utilização de sistemas Geográficos de Informação” voltados para projetos eólicos. Também com o apoio da CDG, formou-se o compromisso entre o CEPEL e o Laboratório de Mecânica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ para a implementação de um Laboratório de Calibração de anemômetros destinado à aferição e ajustes dos anemômetros instalados no Brasil e na Argentina. O grande interesse

demonstrado pelo CDG é prova do interesse alemão pelo mercado brasileiro de energia eólica, que, com os estudos prévios demonstraram, é altamente promissor.

Durante o curso realizado em Fortaleza, foram distribuídas aos participantes notas de Reunião no Ministério de Ciência e Tecnologia realizada no dia 27 de outubro de 1999 sobre o “Programa de Desenvolvimento e Implementação de Centrais Eólicas no Nordeste”. Envolvida na meta de implementação de 1.000 MW de energia eólica até o ano de 2005, na região Nordeste do Brasil, a reunião apontou os investimentos necessários, os agentes de fomento, as oportunidades e desafios para alcançar o alvo proposto no “I Encontro para Definição de Diretrizes para o Desenvolvimento de Energias Solar e Eólica no Brasil” realizado em 1995, na cidade de Belo Horizonte. Os investimentos necessários para se atingir à meta de 1.000 MW de potência instalada em energia eólica no Brasil são estimados em cerca de US\$ 1 bilhão, proveniente do capital, nacional e/ou estrangeiro. Esse montante representaria uma média de investimentos anuais de US\$ 20 milhões, correspondentes à instalação de 200 MW por ano, no período de 2000 a 2005. Como resultado dessa reunião, apontou-se também as potências eólicas do Programa de Centrais Eólicas do Nordeste, mostrando-se a necessidade do planejamento preliminar de centrais eólicas em todos os estados, considerando o aproveitamento harmonioso do recurso natural já existente. A Tabela 4.1 mostra a distribuição dos estados e o potencial equivalente a ser instalado, conforme os recursos naturais disponível em cada região.

Estudos feitos pelo CBEE mostram as projeções do aumento da capacidade instalada de energia eólica no Brasil para os próximos cinco anos também objetivando as metas de 1.000 MW instalados até 2005. Destaca-se o estado do Ceará e do Rio Grande do Norte, com 20% da meta geral respectivamente, e ausência da Paraíba com relação às potências a serem distribuídas em 2005 (Figura 4.1). As considerações feitas por BITTENCOURT (2000) e ALVES (2001) mostram que existe a possibilidade de se complementar a oferta de energia elétrica de fonte hídrica através da energia eólica. A tendência de estabilização sazonal na oferta de energia utilizando a energia eólica como complemento foi comprovado ao se estudar os níveis médio de vazão dos rios a algumas usinas da região Nordeste e na região Sul. O período onde existe a menor vazão dos rios é onde ocorrem as melhores incidências de vento. A geração de energia complementar tem se mostrado um tema de grande interesse uma vez que o consumo de energia elétrica no Brasil apresenta expectativas de crescimento de 5% a.a. O crescimento do consumo e a busca de novas fontes de energia, desafios presentes no

setor elétrico atual, faz com que a energia eólica seja uma opção cada vez mais presente nos novos projetos de geração e expansão

Tabela 4.1. Distribuição dos estados e as potências a serem instaladas até o ano 2005.

ESTADO	POTÊNCIA (MW)	META GERAL (%)
Maranhão	100	10
Piauí	50	5
Ceará	200	20
Rio Grande do Norte	200	20
Pará	50	5
Pernambuco	150	15
Alagoas	50	5
Sergipe	50	5
Bahia	100	10
Minas Gerais	50	5
Total	1.000	100

Fonte: Notas da reunião MCT (1999), Adaptado por ALVES (2006).

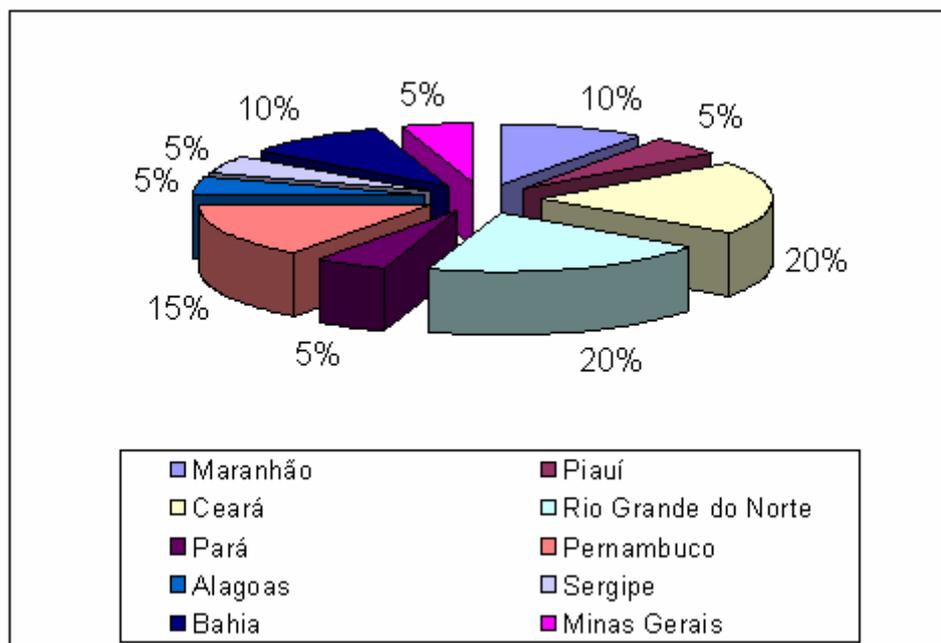


Figura 4.1. Metas gerais de distribuição de potências por estado até o ano 2005.

Fonte: ALVES (2006)

As perspectivas do crescimento da energia eólica no Brasil nunca tiveram um momento tão promissor quanto o novo cenário que se forma a partir de novas legislações no setor elétrico, voltadas para o aproveitamento de fontes renováveis de energia e também do interesse de empresas nacionais e estrangeiras para o aproveitamento do recurso natural de grande abundância principalmente na costa do Nordeste. A criação da Associação Brasileira de Energia Eólica (ABEE) mostra o interesse de entidades e profissionais brasileiros envolvidos em energia eólica no crescimento da penetração dessa tecnologia no mercado Nacional de geração de energia elétrica. A grande meta executiva da ABEE está em contribuições efetivas para se alcançar a viabilidade de implementação de 1.000 MW em energia eólica no Brasil até 2005 (como já visto inicialmente na Declaração de Brasília). Outro importante evento, realizado em Brasília nos dias 22 a 25 de novembro de 1998 – “Encontro Técnico e de Negócios Brasileiro – Alemão de Energia Eólica”, deu início aos debates sobre as barreiras e desafios para a implementação de parques eólicos no Brasil. O grande interesse das empresas alemãs pode ser evidenciado na instalação da Wobben WindPower, que, inicialmente, tinha a responsabilidade da construção de pás das turbinas eólicas dos modelos da Enercon e que hoje já possui infra-estrutura e parcerias que viabilizam a manufatura do modelo E-66, com alto índice de aproveitamento de matéria prima e mão-de-obra Nacional.

Diversas empresas estrangeiras já mostram grandes interesse em estudos de viabilidade técnica para implementar grandes parques eólicos no Brasil. A empresa ABB (importante empresa voltada para geração termelétrica) já se mostra interessada na instalação de um parque eólico de 200 MW ao longo da costa do Ceará. Esse empreendimento visa à utilização de tecnologia desenvolvida pela empresa em modelos com potência de 3 MW. Com novas tecnologias aplicadas nas pás e nos sistemas de cabos, entre outras, espera-se um custo bem abaixo da média mundial de US\$ 1.000/kW instalados. O grupo Thyssen/Krupp e a Negmicon também se mostra interessados no mercado eólico Nacional, pois desde 1998 vêm desenvolvendo o projeto de um parque eólico de 100 MW para o Ceará. Com a parceria da empresa Nacional Braselco, responsável pelas negociações com o governo federal, governos estaduais e concessionárias de energia, o Projeto encontra-se em fase de negociação do *Power Purchase Agreement* (PPA) com a COELCE e com os proprietários dos terrenos onde serão instaladas as máquinas.

Os avanços legislativos dos últimos anos, no sentido de melhor definição das regras de comercialização, têm propiciado novas expectativas para o setor. O cenário atual mostra-se altamente favorável ao desenvolvimento da energia eólica possibilitando, assim, novos investimentos para o aproveitamento de opções limpas de geração de energia. Outro aspecto é a procura de melhores condições de financiamento, juntamente com uma legislação que assegure a compra da energia gerada é o que tornará possível novos projetos de geração eólica no Brasil.

#### **4.2. O pioneirismo eólico no Brasil**

As aplicações em fontes alternativas de energia contaram com uma importante iniciativa de entidades estrangeiras para implementação de projetos experimentais em diversas localidades do Brasil. As discussões sobre o meio ambiente, durante a Conferência do Rio de Janeiro em 1992, possibilitaram que o Brasil encontrasse novos parceiros em projetos com fontes alternativas. Governos de países industrializados criaram, a partir do Encontro Rio-92, vários programas de cooperação na área das energias renováveis, a exemplo do Programa Eldorado, do Governo Alemão, do Programa do Departamento de Energia dos Estados Unidos, através do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) e do *Sandia National Laboratory* (SNL), e de ações da França, em particular no Marrocos e Dinamarca (PEREIRA, 1995).

Os acordos internacionais em projetos experimentais também contemplaram o Brasil em diversos projetos em energia solar e eólica. Foram executados alguns projetos piloto demonstrativos que envolveram concessionárias de energia elétrica, governos estaduais, universidades e centros de pesquisas, entre outros. O Quadro 4.2 resume os Projetos pioneiros em cooperação instalados a partir de 1995.

A Companhia Energética de Pernambuco (CELPE), em convênio com o Folkcenter (Entidade Dinamarquesa) e o Grupo de Energia Eólica da UFPE (CBEE), instalou, em julho de 1992, na Ilha de Fernando de Noronha, a primeira turbina eólica de grande porte em operação comercial na América do Sul. Anteriormente, a eletricidade da Ilha era produzida exclusivamente da geração térmica, utilizando o óleo diesel. A potência do equipamento instalado era de 75kW. A turbina foi fixada numa torre de 23 m de altura, com hélices de 17 m de diâmetro. Foi feito um investimento de cerca de US\$ 250.000,00 na instalação da turbina prevendo-se uma economia de cerca

de 8% do óleo diesel consumido na geração de energia da Ilha (Gazeta Mercantil, 05/05/92) o que representaria uma economia de aproximadamente 70.000 litros anuais.

Quadro 4.2. Projetos de cooperação instalados no Brasil, incluindo iluminação pública, centros comunitários, escolas, creches, centros de saúde, cercas eletrificadas e igrejas.

PROJETO	EÓLICA (kW)	CARACTERÍSTICAS
Folkcenter/CELPE/UFPE	75	1 aerogerador
Eldorado/CEMIG	1,000	4 aerogeradores
NREL	40	Sistema híbrido solar eólico diesel
Pará		
Minas Gerais	27.5	30 resid., 7 bomb eólico, 19 outros*
Total	1.142,5	

Fonte: PEREIRA (1995)

O equipamento com ciclo produtivo de 1992-1995 produziu uma energia acumulada de 152.926kWh. Com o aumento da demanda de energia na Ilha de Fernando de Noronha devido, principalmente, ao fluxo crescente de turistas nas últimas décadas, a participação da energia eólica no consumo de energia da Ilha reduziu-se significativamente, chegando a aproximadamente 3% da demanda total da energia.

Para dar continuidade ao aproveitamento eólico para geração de energia elétrica, foi instalada e já está em operação uma turbina eólica de 300 kW, que visa o aumento da participação de fontes alternativas de energia no abastecimento elétrico na Ilha.

A Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco, que apóia o Projeto, tem por meta abastecer toda a Ilha de Fernando de Noronha com fontes alternativas de energia tornando-a independente da geração diesel. O projeto de instalação da turbina de 300 kW foi custeado pela ANEEL, que desembolsou R\$ 1,2 milhão, com propósito de mostrar a viabilidade econômica do uso dessa fonte de energia.

O sistema híbrido instalado na Vila de Joanes – Ilha de Marajó, foi o primeiro Sistema Híbrido Solar-Eólico-Diesel implantado no Brasil. Esse Sistema contou com equipamentos doados pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE), o acompanhamento técnico do *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) e também do CEPEL. Em contrapartida, os equipamentos complementares e a mão-de-

obra para instalação, manutenção e acompanhamento de operação ficaram a cargo da Companhia Elétrica do Pará (CELPA).

A instalação do Sistema da Vila de Joanes opera quatro turbinas eólicas com potência de 10kW cada e o grupo de painéis fotovoltaicos instalados na cobertura da casa de abrigo do sistema de controle e das baterias. A finalidade do Sistema estava na redução do consumo de óleo diesel na usina termelétrica de Salva Terra, aumentando a qualidade da energia na localidade e difundindo as tecnologias envolvidas em uma região altamente propícia para tais aplicações. Foram feitas medições de velocidade do vento e de irradiação solar na região e, no período de maio de 1994 até abril de 1995, foi registrada velocidade média anual de vento de 6,60 m/s e média diária de radiação solar de 5,3 kW h/m<sup>2</sup>.

A Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG) iniciou em 1992 a um série de estudos de pré-viabilidade técnica-econômica para instalação de uma usina de 2,50 MW no Morro do Camelinho, onde, durante o biênio 1983-1984, a avaliação do regime do vento comprovou a grande e promissora potencialidade para projetos eólicos de grande porte. No segundo semestre de 1992, o projeto de implementação de uma central eólica no estado de Minas Gerais foi enquadrada no Programa Eldorado do Ministério da Ciência e Tecnologia do Governo Alemão, que oferecia recursos na ordem de 70% dos custos totais do projeto. A usina foi instalada em 1994 e opera com capacidade de 1MW. O projeto teve um custo total de US\$ 1.540.000,00 sendo US\$ 790.000,00 (51%) pagos pelo Programa Eldorado do governo alemão e US\$750.000,00 (49%) custeados pela CEMIG e financiados pela FINEP.

Ainda em 1992, foi assinado acordo com o fabricante alemão de turbinas eólicas Tacke Windtechnik para fornecimento e supervisão de montagem de usina. O projeto contou com os incentivos fiscais na isenção ICMS, isenção do IPE e Imposto de Importação além da isenção do AFRMM (Adicional de Frete de Renovação da Marinha Mercante). A isenção de impostos foi de grande importância para a viabilização do projeto construtivo das torres para uma empresa mineira o que permitiu a transferência dessa tecnologia para o Brasil. Esse fato eliminou a necessidade da contabilidade dos custos de importação e transporte de 4 torres da Alemanha para o Brasil.

Os resultados das análises de desempenho operacional da usina estão fornecendo importantes subsídios técnicos para avaliação de novos projetos. Essa foi mais uma experiência que tem se constituído em um importante laboratório de pesquisas no campo da energia eólica e na sua conexão à rede elétrica Nacional. Todo o trabalho da

CEMIG no levantamento prévio do potencial eólico da região e na avaliação criteriosa do local onde foi instalado o Projeto mostrou a grande importância do levantamento das características locais para viabilização técnica dos projetos. Um grande desafio para pesquisa é a avaliação da contribuição da usina para o sistema interligado. Essa análise é de extrema importância, dadas às características dos ventos locais, com variação de velocidade média significativa durante o ano e também ao longo do dia.

Em 1993, a Companhia Energética do Ceará (COELCE) iniciou um plano de utilização dos recursos do Programa Eldorado, do governo alemão, para a instalação de sistemas solar e eólico no estado do Ceará. Em 1995, a COELCE firmou contrato com a empresa alemã Tacke Windtechnik. Uma vez que os dados eólicos já estavam processados, foi escolhido o Porto de Mucuripe, pertencente ao município de Fortaleza, como o local de instalação do parque eólico. A partir do mês de maio de 1996 iniciaram-se as obras para a instalação de quatro turbinas eólicas de 300 kW. O projeto foi inaugurado em novembro de 1996 com um total de 1,2 MW de potência instalada com geração anual estimada de 3.800 MWh. (GTEE, 1998).

A implantação foi viabilizada por um convênio de cooperação firmado entre a COELCE, Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e a Companhia Docas do Ceará (CDC), com participações também das Secretarias Estaduais dos Transportes, Energia, Comunicação e Obras (SETECO) e de Ciência e Tecnologia (SECITECE). Os investimentos feitos no Parque Eólico do Porto de Mucuripe somaram um total de R\$ 2,8 milhões, sendo que 44% do total investido foram custeados pelo Governo alemão através do Programa Eldorado, 28% pela COELCE/Governo do Ceará e 28% pela CHESF (GTEE, 1998). O objetivo geral do Projeto foi demonstrar a viabilidade técnica e econômica da produção de eletricidade em escala comercial, através da energia eólica, no litoral do Ceará.

O desempenho das turbinas ficou comprometido devido aos efeitos de corrosão, que foram seriamente afetadas pelo forte efeito da maresia. Esse projeto representou uma grande experiência para o desenvolvimento da energia eólica em uma das regiões de maior potencial eólico do Brasil; mesmo com alguns problemas, foi um importante passo para futuros empreendimentos em energia eólica para toda a costa da Região Nordeste onde se encontram importantes potenciais para aplicação eólica na geração de energia elétrica. Dessa forma, o estado vem incentivando o uso de novas tecnologias para geração de energia elétrica através de subsídios que vêm sendo dados para a instalação de novas indústrias. Tais incentivos chegam a atingir 75% de redução de

ICMS com 3 anos de carência e prazo de validade de até 15 anos. Nessa linha, a COELCE vem desenvolvendo um programa específico, desde março de 1990, através do Protocolo de Intenções firmado com a organização alemã *Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit* (GTZ), para o levantamento das características dos ventos do estado do Ceará, onde os resultados obtidos nas estações anemométricas de Jericoacoara e Cofeco (10 m de altura do solo) foram bastante animadores.

Os excelentes resultados obtidos levaram a COELCE a ampliar o número de medidas da velocidade e direção dos ventos. Em 1992, a COELCE realizou novas medições com 10 estações anemométricas com sensores a 10 e a 30 m de altura do solo. Essas novas estações permitiram avaliar o potencial bruto dos ventos no litoral onde mostraram pontos com velocidades de 9,3 m/s a 40 m de altura do solo, com capacidade de 2.371 MW. Esse potencial pode produzir 2,9 bilhões de kW/h anualmente, o que significa cerca de 2 vezes o consumo de eletricidade do estado do Ceará no ano de 1995, considerando um fator médio de 35% na conversão de energia eólica em energia elétrica.

Ao ganhar a licitação para instalação de parques eólicos em parceria com a COELCE, a Wobben Windpower instalou o maior parque eólico da América Latina. Foi inaugurada, em 29 de abril de 1999, no Município de Aquiraz, a Usina Eólica de Prainha com capacidade instalada de 10MW. Os vinte aerogeradores, com capacidade de gerar até 500 kW cada, foram fabricados com alto índice de nacionalização pela Wobben Windpower, subsidiária da Enercon no Brasil. A Wobben também instalou outra usina na Praia da Taíba, Município de São Gonçalo do Amarante. Em Taíba, foram instaladas dez turbinas totalizando uma potência instalada de 5MW, que desde então fornece energia elétrica de qualidade para a COELCE.

A característica interessante das duas usinas é que ambas foram instaladas sobre dunas, sendo assim a primeira experiência mundial no tipo especial de fundação para sustentação das turbinas. Os investimentos da Wobben no Ceará ultrapassam US\$ 15 milhões. A Enercon transferiu toda a tecnologia de última geração através da Wobben, a custo zero, mantendo, ainda, um programa de treinamento técnico para brasileiros atuantes em serviços de assistência permanente. A Wobben, segundo seu diretor, investiu nesse projeto, na expectativa de contribuir para a criação de um mercado Nacional, já que a tarifa paga pela COELCE, por ocasião da inauguração do projeto, era de R\$ 48,12 MW/h (valor inferior aos praticados no mercado internacional, os quais deverão ser reajustados segundo regras da Agência Nacional de Energia Elétrica –

ANEEL). Acredita-se que poderá haver alguma compensação pelas características tecnológicas favoráveis, permitindo alcançar um fator de capacidade de 40% e um fator de disponibilidade superior a 96%. Todo esse investimento tem como grande objetivo a penetração cada vez maior das energias eólicas no mercado latino-americano.

Situada na altura do km 26 da BR-280, a 30 km da cidade de Palmas, a Centrais Eólicas do Paraná já mantém em operação cinco turbinas eólicas com potência de 500 kW cada, num total de 2,5 MW de potência instalada. As Centrais Eólicas do Paraná é uma sociedade da COPEL com a Wobben Wind Power, onde 30% dos investimentos foram recursos desembolsados pela COPEL e os demais 70% pela Wobben (COPEL, 2000). A energia gerada na Usina Eólica de Palmas foi vendida, através de contratos firmados no início de sua operação, por R\$ 78,65 MW/h. Esse valor deverá ser reajustado anualmente segundo as regras fixadas pela ANEEL nos cálculos de reajustes para o Valor Normativo. O parque eólico de Palmas tem a capacidade de se expandir até 200 MW durante os próximos cinco anos e, se isso acontecer, ficará entre os maiores parques eólicos do mundo.

A Usina eólica de Palmas utilizou todos os dados eólicos levantados durante as observações para elaboração do Atlas Eólico do Paraná. Esse projeto já vinha coletando dados eólicos de todo o estado do Paraná já há seis anos com o objetivo principal de identificar e medir o potencial energético das principais correntes de ar do estado. Segundo dados do potencial eólico da região de Palmas, onde a usina está instalada, é prevista a produção de 6.500 MW/h, energia suficiente para suprir 2/3 da energia consumida no Município de Palmas. Cabe incluir a esses projetos, pioneiros também, o de Praia Grande, Tamaruteua e projeto Mota, fortalecendo a consolidação da energia eólica no estado. Assim, fica evidenciado que, apesar da larga faixa litorânea do Brasil e de dados razoáveis de velocidade de vento em planaltos no interior de alguns estados, as iniciativas no desenvolvimento e implantação de parques eólicos com a finalidade de geração de energia elétrica ainda são muito tímidas, com exceção do estado do Ceará, que já apresenta projetos de médio e grande porte integrados à sua rede de distribuição.

### **4.3. Matriz energética brasileira**

O Brasil é um país que possui uma das matrizes energéticas mais limpas do mundo, com a participação de 43,8% das energias renováveis no total de energia consumida. Se comparado com a média mundial, o país posiciona-se na vanguarda do

setor energético mundial, com uma utilização sustentável dos seus recursos naturais. A Figura 4.2 exhibe a matriz elétrica brasileira, com a situação ajustada em janeiro 2006.

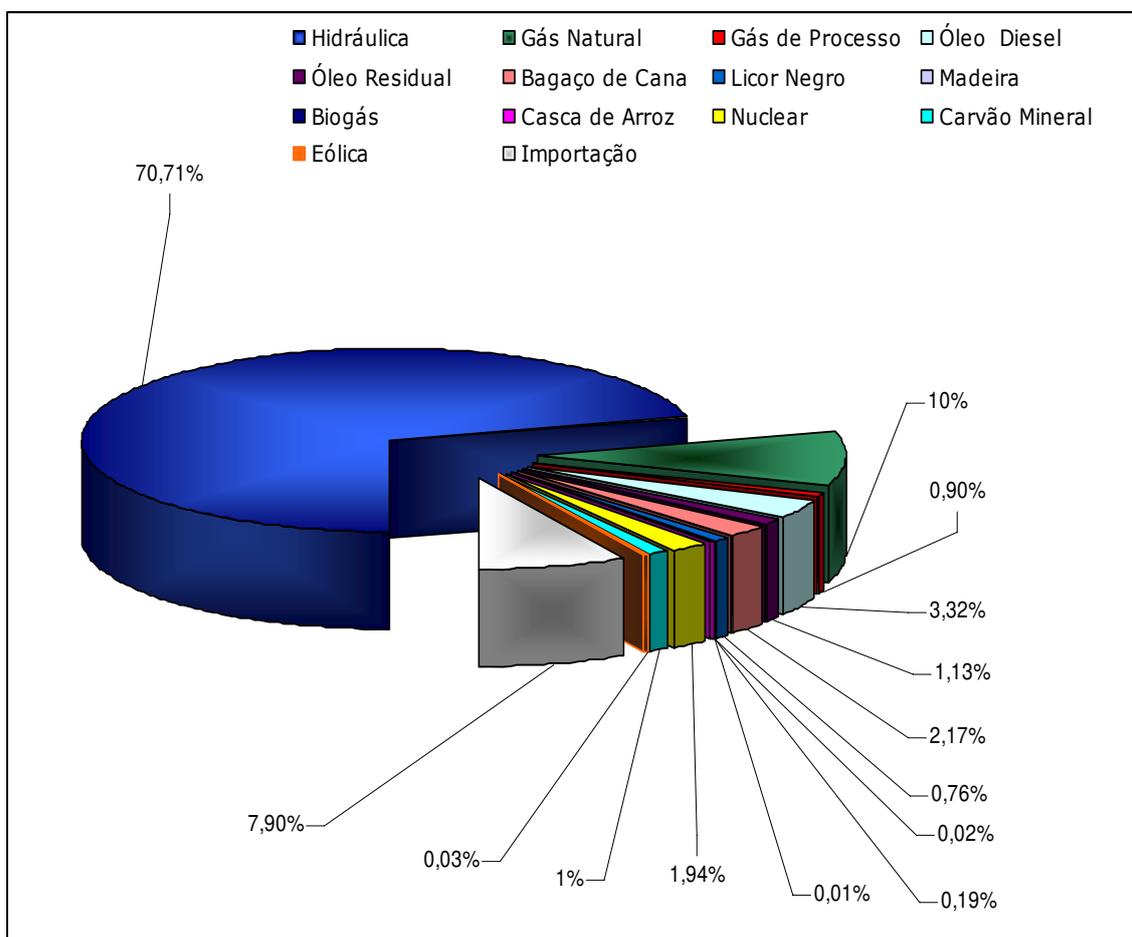


Figura 4.2. Esquema da matriz elétrica brasileira atualizada em janeiro 2006

Verifica-se nessa figura que as fontes renováveis de energia respondem por 73% da produção, sendo aproximadamente 70%, referente ao grande potencial hidráulico brasileiro, o que possibilita ao país a produção de uma energia limpa e a baixo custo. A Tabela 4.2 e as Figuras 4.3 e 4.4 sumarizam as informações referentes à matriz elétrica brasileira, divulgadas em janeiro de 2006, pela ANEEL.

Elas fornecem uma visão bastante nítida sobre a participação das fontes renováveis de energia, com a hidroeletricidade e, em particular, a eólica que representa apenas 0,03%. No Brasil, a fonte de energia hidráulica é predominante e encontra-se atualmente representada por três classes distintas de empreendimentos: as Mini Centrais Hidrelétricas – mCHs ( $P \leq 1.000$  kW), as Pequenas Centrais Hidrelétricas – PCHs ( $1.000$  kW  $< P \leq 30.000$  kW) e as Usinas Hidrelétricas – UHEs ( $P > 30.000$  kW). A

Figura 4.3 apresenta o detalhamento da potência instalada e respectiva quantidade de empreendimentos hidrelétricos e de outras fontes energéticas em operação hoje no país.

Tabela 4.2. Matriz elétrica brasileira e empreendimentos em operação

<b>Empreendimentos em Operação</b>							
Fonte		Capacidade Instalada		%	Total		%
		N.º de Usinas	[kW]		N.º de Usinas	[kW]	
Hidráulica	mCH	187	99.483	0,10	596	73.137.408	70,7
	PCH	260	1.329.900	1,33			
	GCH	149	71.659.749	69,30			
Gás	Natural	70	9.865.654	9,54	96	10.791.402	10,4
	Processo	26	925.748	0,90			
Petróleo	Óleo Diesel	491	3.434.555	3,32	509	4.598.525	4,45
	Óleo Residual	18	1.163.970	1,13			
Biomassa	Bagaço de Cana	219	2.240.890	2,17	259	3.250.769	3,1
	Licor Negro	13	782.617	0,76			
	Madeira	23	200.832	0,19			
	Biogás	2	20.030	0,02			
	Casca de Arroz	2	6.400	0,01			
Nuclear		2	2.007.000	1,94	2	2.007.000	1,9
Carvão Mineral		7	1.415.000	1,37	7	1.415.000	1,4
Eólica		10	28.550	0,03	10	28.550	0,03
	<b>TOTAL</b>	<b>1.479</b>	<b>95.228.654</b>	<b>92,10</b>	<b>1.479</b>	<b>95.228.654</b>	<b>92,10</b>
Importação	Paraguai	-	5.650.000	5,46	-	8.170.000	7,90
	Argentina	-	2.250.000	2,18			
	Venezuela	-	200.000	0,19			
	Uruguai	-	70.000	0,07			
	<b>TOTAL C/ IMPORTAÇÃO</b>	<b>1.479</b>	<b>103.398.654</b>	<b>100,00</b>			

Fonte: Banco de Informações de Geração da ANEEL – janeiro/2006.

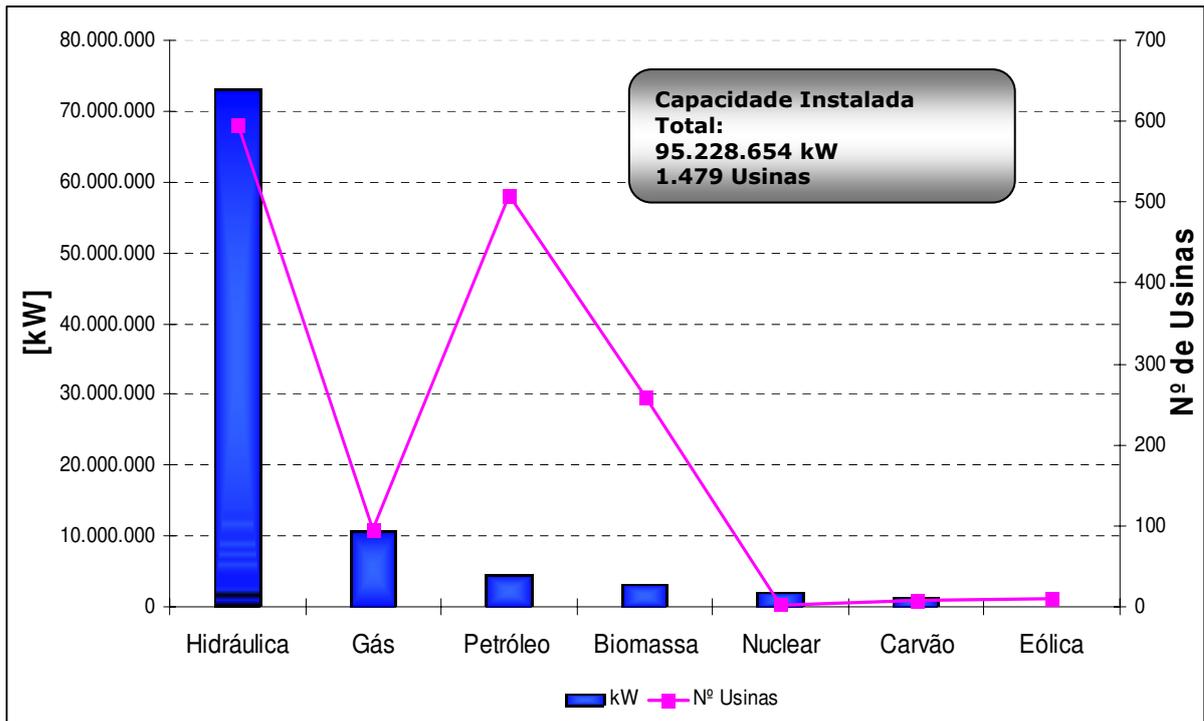


Figura 4.3. Matriz elétrica brasileira: empreendimentos em operação. Fonte: Banco de Informações de Geração da ANEEL – janeiro/2006.

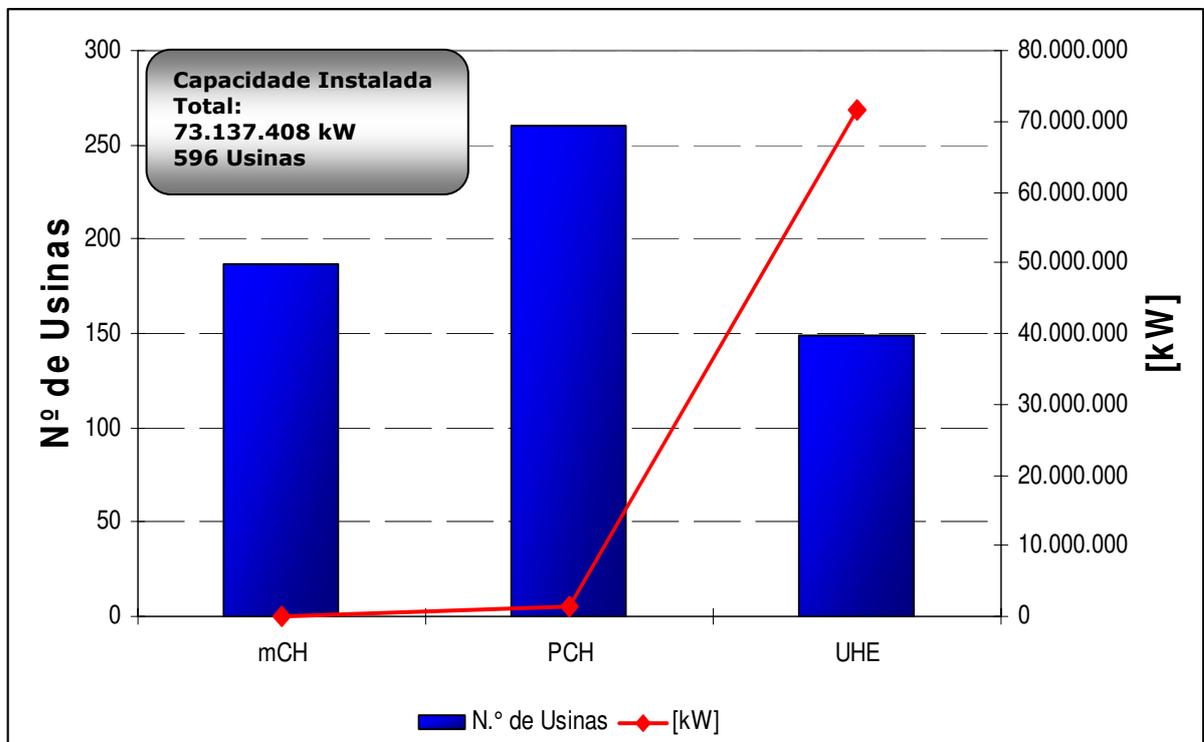


Figura 4.4. Empreendimentos hidrelétricos em operação. Fonte: Banco de Informações de Geração da ANEEL – janeiro/2006.

#### 4.4. Cenário atual da capacidade de geração eólica no Brasil

No ano de 2001 uma grande crise energética da história do Brasil, assistiu-se a uma verdadeira corrida de empreendedores interessados em investir na construção e operação de usinas eólica no Brasil. A região Nordeste, por todo o seu potencial de ventos, apresenta atrativos para o uso de energia eólica do litoral dos estados do Ceará e do Rio Grande do Norte, onde se concentrou a atenção dos investidores.

A ANEEL recebeu diversos pedidos de análise de empreendimentos de geração eólica que, somados, alcançam um total de 3,3 GW de potência. Esse aumento de solicitações deveu-se em grande parte à Resolução 24/2001 da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica, que criou o Programa Emergencial de Energia Eólica, o PROEÓLICA, com o objetivo de viabilizar a implantação de 1.050 MW, até dezembro de 2003, a partir da geração eólica. Assim, os empreendimentos que fossem autorizados pela ANEEL e que entrassem em operação comercial até dezembro de 2002, teriam incentivos econômicos especiais. A Tabela 4.3 exibe a relação das usinas eólicas autorizadas pela ANEEL.

Tabela 4.3. Usinas eólicas autorizadas pela ANEEL

Empreendimento	Ano da autorização	Unidade da Federação	Potência (MW)	Status
Prainha	1998	Ceará	10,000	Em operação
Taíba	1998	Ceará	5,000	Em operação
Palmas	1999	Fernando de Noronha	2,500	Em operação
Fernando de Noronha	1999	Fernando de Noronha	0,075	Em operação
Morro do Camelinho	2000	Minas Gerais	1,000	Em operação
Beberibe	2001	Ceará	25,000	Em construção

Fonte: MME (2006)

O aumento de pedidos de projetos para serem analisados pela ANEEL de 2001 para 2004 é constatado na Tabela 4.4. O estado que se destacou em solicitação foi o Ceará com 4 novos projetos enquanto a Paraíba foi apenas 1. Porém, quando é analisado em função da potência, esses números tornam-se pouco significativos, pois salta do patamar de 2,4 MW em 2001, para 912,28 MW (27%) em 2002 e 1.554,8 MW em 2003 (47%) e reduzindo em 2004 (26%) para apenas 850 MW. O “boom” da potência em

2003 foi o ano chave na contemplação e incentivos para os empreendedores que começassem a colocar em operação os seus empreendimentos.

Tabela 4.4. Projetos em análise na ANEEL

ANO	ESTADO	POTÊNCIA (MW).
2001 (2,4 MW)	CE	2,4
	CE	305,70
	PB	5,28
2002 (912,28 MW)	PE	19,80
	PI	10,50
	RN	571,00
	BA	120,00
2003 (1.554,8 MW)	CE	756,40
	PE	120,00
	RN	558,40
	BA	100,00
2004 (850 MW)	CE	310,00
	PE	240,00
	RN	200,00
	TOTAL	3.319,48

Fonte: MME (2006)

Desde o início de sua criação, a ANEEL vem trabalhando em parceria com Centros de Referência em Energias Renováveis e Universidades, na execução de estudos que venham proporcionar condições para aumentar a oferta de energia. E, também, buscando a democratização do acesso a energia em suas formas mais adequadas, favorecendo a geração de empregos e a melhoria na qualidade de vida da sociedade. O primeiro trabalho de parceria com o Centro Brasileiro de Energia Eólica (CBEE) da UFPE, foi à publicação do Atlas Eólico da Região Nordeste que identifica locais da região onde é propício o desenvolvimento dessa fonte de energia. Um exemplo aplicado dessa tecnologia foi desenvolvido no Arquipélago de Fernando de Noronha, também uma parceria de ANEEL com o CBEE e o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD), com a instalação de uma central eólica de 300 kW, que, interligada à rede da CELPE, contribuirá com cerca de 2% da energia consumida na Ilha.

Atualmente, dois trabalhos de identificação do potencial eólico estão sendo elaborados: O “Levantamento do Potencial Eólico da Região Sudeste”, pela Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (Coppe) da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e o “Atlas Eólico Brasileiro” pelo CBEE. Esses estudos utilizam metodologias diferentes e são ferramentas importantes como indicativo

para implementação de novos empreendimentos de geração de energia elétrica, que serão concluídos até o final deste ano de 2006. No Brasil, o total atual é de 1.567 empreendimentos em operação de energias renováveis, como pode ser observado na Tabela 4.5.

Com a geração de 95.744.495 kW de potência, são previstos para os próximos anos uma adição de 27.041.487 kW na capacidade de geração do país, proveniente dos 77 empreendimentos atualmente em construção (Tabela 4.6) e mais 505 outorgadas (Tabela 4.7). A Potência Outorgada é igual à considerada no Ato de Outorga. A Potência Fiscalizada é igual à considerada a partir da operação comercial da primeira unidade geradora.

Tabela 4.5. Empreendimentos em operação

Tipo	Quantidade	Potência outorgada (kW)	Potência Fiscalizada (kW)	Potência Fiscalizada (%)
CGH	193	102.443	101.996	0,11
EOL	12	130.250	127.850	0,13
PCH	265	1.402.023	1.370.513	1,43
SOL	1	20	20	0
UHE	155	73.071.695	71.571.901	74,75
UTE	939	23.895.931	20.565.215	21,48
UTN	2	2.007.000	2.007.000	2,10
Tota l	1.567	100.609.362	95.744.495	100

Fonte: MME (2006)

Tabela 4.6. Empreendimentos em construção

Tipo	Quantidade	Potência outorgada (kW)	%
CGH	1	848	0,02
EOL	3	109.000	3,12
PCH	47	738.142	21,15
UHE	8	1.735.500	49,74
UTE	18	905.978	25,96
Total	77	3.489.468	100

Fonte: MME (2006)

Tabela 4.7. Empreendimentos outorgados entre 1998 e 2005, que não iniciaram as suas construções

Tipo	Quantidade	Potência outorgada (kW)	%
CGH	61	40.901	0,17
EOL	109	4.691.943	19,92
PCH	214	3.383.531	14,37
UHE	29	5.914.200	25,11
UTE	92	9.521.444	40,43
Total	505	23.552.019	100

Fonte: MME (2006)

A avaliação de todos esses empreendimentos de energias renováveis na matriz energética brasileira desde 1998 até o ano de 2005 possibilita traçar um prognóstico atual da energia eólica no país. Podem-se definir três cenários, em face das informações disponibilizadas pelo Ministério das Minas e Energias do Brasil: Cenário I – Dos Empreendimentos em Operação; Cenário II – Dos Empreendimentos em Construção e, Cenário III – Dos Empreendimentos que não iniciaram sua construção entre 1998 e 2005.

O Organograma 4.1 exhibe a participação da energia eólica na matriz energética brasileira, com detalhamentos do cenário, potência em kW e “ranking”. Com base nesse organograma foram extraídas as seguintes considerações:

**Sobre o Ranking:** encontra-se em 3º lugar entre os empreendimentos que deveria ter começado sua construção, em 4º lugar daqueles que estão ainda em construção e 5º lugar daqueles que estão em operação. Entende-se, assim, que ocorre certa diminuição dos empreendimentos de energia eólica que deveria já se encontrar em operação. Neste trabalho não é analisada as razões que promoveram as circunstâncias específicas para que o empreendimento do total outorgado entrasse em fase de operação. Porém, essa situação expõe ainda a fragilidade da energia eólica na matriz energética brasileira, pois sua participação das renováveis em operação a coloca em 5º lugar.

**Sobre a Potência em kW:** o quadro se agrava muito mais dentre as renováveis, pois a defasagem em relação aos que já estão em operação é de 4.564.093 kW, o que representa 2,8% apenas da potência atual em operação.

O Brasil, necessariamente, deveria produzir um aumento em média de 0,70% ao ano de potência eólica inserida na sua matriz. É pouco provável alcançar esse patamar,

pois os dados nos cenários I, II e III revelam certa queda nos interesse em investir na energia eólica, como por exemplo, os altos índices de empreendimentos que foram contemplados pela outorga, mais que ainda não começaram a ser construídos.

	Cenário I	
	Energia Eólica	
Participação no Cenário	Potência kW	Ranking
0,13 %	127.850 kW	5° Lugar na Matriz
	Cenário II	
	Energia Eólica	
Participação no Cenário	Potência kW	Ranking
3,12%	109.000 kW	4° Lugar na Matriz
	Cenário II	
	Energia Eólica	
Participação no Cenário	Potência kW	Ranking
19,92%	4.691.943 kW	3° Lugar na Matriz

Organograma 4.1. Participação da energia eólica na matriz energética brasileira

**Sobre a participação no cenário:** de certa forma esse indicador escolhido para contribuir com essa análise já é resultado direto da fundamentação feita nos dois primeiros cenários. Apenas acrescenta que se todos os empreendimentos em energia eólica outorgada se encontrassem em operação, o Brasil teria hoje uma participação de 19,2% de energia eólica em sua matriz renovável.

Essa condição apresentada tornaria o Brasil um país com uma matriz energética relativamente sustentável, totalmente predominante e diversificada de energias renováveis, em especial a energia eólica. Além disso, seria uma condição extremamente satisfatória para a atração de mais investimentos e expansão dessa fonte abundante no país.

## **5. Resultados e Discussões (1<sup>o</sup> parte)**

### **5.1. Legislação para promoção das energias renováveis**

Como forma de melhor analisar a legislação do setor elétrico brasileiro é apresentado no Quadro 5.1 os fatores impulsionadores das energias renováveis (FIR) – que se definem como os atos legislativos, que apresentem uma descrição ou ponderações que norteia a participação/abertura ou promovem o avanço das energias renováveis, sendo os mesmos: P&D (Pesquisa e Desenvolvimento ou Avanços Tecnológicos) – atos que corroboram para a evolução tecnológica das fontes renováveis; I (Incentivos) - atos caracterizados por estímulo ou instigadores das políticas energéticas; F (Flexibilização) – atos de contribuição ou facilitadores dentro do cenário energético brasileiro e RA (Responsabilidade Ambiental) – atos contemplados pela política de responsabilidade com o meio ambiente e seu uso racional. Estabelecendo esses fatores como os principais indicadores do grau de valorização da política energética para a expansão das fontes renováveis, cada um dos atos legislativos foi identificado e classificado conforme exibido no Quadro 5.1.

A inovação tecnológica tem exercido um papel central para a evolução e o avanço do setor energético (SAGAR e HOLDREN, 2002). De fato, ainda continuam a necessidade de maiores avanços científicos e tecnológicos para enfrentar o desafio energético (ANDERSON, 2000), social (REDDY, 2000), ambiental (HOLDREN e SMITH, 2000), presente e futuro, como resultado do paradigma tecnológico das últimas três décadas. O desafio é garantir o suprimento adequado de energia a baixo custo e, ao mesmo tempo, reduzir os impactos ambientais negativos locais, regionais e globais. No entanto, é preciso ter em mente os limites existentes do papel do conhecimento da legislação para a solução dos desafios energéticos. No tocante a energia eólica, basicamente destaca-se a criação e as regras do PROINFA e do PROEÓLICA. Dentre os demais atos, encontram-se aberturas para o campo de desenvolvimento da energia eólica no Brasil, a partir da figura do autoprodutor e do produtor independente.

<b>Origem dos Atos</b>	<b>Ano</b>	<b>Descrição da legislação</b>	<b>FIR</b>
Constituição Art. 155	<b>1988</b>	Veda tributos	<b>I</b>
Constituição Art. 175	<b>1988</b>	Responsabilidade do poder público	<b>RA</b>
Constituição Art. 176	<b>1988</b>	Condições para aproveitamento	<b>F</b>
Constituição Art. 225	<b>1988</b>	Meio ambiente eco-equilibrado	<b>RA</b>
Leis específicas SE	<b>1995</b>	Prestação de serviços públicos	<b>F</b>
Leis específicas SE	<b>1995</b>	Normas para a outorga	<b>F</b>
Leis específicas SE	<b>1996</b>	Institui a ANELL	<b>F</b>
Leis específicas SE	<b>2000</b>	P&D em eficiência energética	<b>P&amp;D</b>
Leis específicas SE	<b>2001</b>	Política de uso racional de energia elétrica	<b>RA</b>
Leis específicas SE	<b>2002</b>	Cria o PROINFA e o CDE	<b>I</b>
Leis específicas SE	<b>2003</b>	Apoio aos serviços de distribuição de energia elétrica	<b>F</b>
Leis específicas SE	<b>2004</b>	Comercialização de energia elétrica	<b>F</b>
Leis específicas SE	<b>2004</b>	Criação da EPE	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>1991</b>	Programa de conservação de energia	<b>RA</b>
Decretos específicos SE	<b>1994</b>	Cria o PRODEEM	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>1996</b>	Produtor independente e Autoprodutor	<b>F</b>
Decretos específicos SE	<b>1998</b>	Regras da ONS	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2001</b>	P&D em eficiência energética	<b>P&amp;D</b>
Decretos específicos SE	<b>2001</b>	Cria a CBEE	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2001</b>	Política de conservação e uso racional de energia	<b>RA</b>
Decretos específicos SE	<b>2002</b>	Tarifação às empresas concessionárias	<b>F</b>
Decretos específicos SE	<b>2002</b>	Estrutura da CNPE	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2002</b>	Cria o PROINFA e CDE	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2002</b>	Dispõe sobre a compra de energia elétrica	<b>F</b>
Decretos específicos SE	<b>2003</b>	Universalização do acesso e uso da energia elétrica	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2003</b>	Competência da ANEEL	<b>F</b>
Decretos específicos SE	<b>2004</b>	Competência da ANEEL	<b>F</b>
Decretos específicos SE	<b>2004</b>	Dispõem sobre o PROINFA	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2004</b>	Regulamenta a comercialização da energia elétrica	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2004</b>	Criação da Câmara CCEE	<b>I</b>
Decretos específicos SE	<b>2005</b>	Acesso do consumidor livre às redes de transmissão	<b>F</b>
Portarias (PRT-MME)	<b>2001</b>	Cria a CAMEC	<b>I</b>
Portarias (PRT-MME)	<b>2002</b>	Plano decenal 2001-2010	<b>RA</b>
Portarias (PRT-MME)	<b>2005</b>	Projeto ESTAL	<b>I</b>
Portarias (PRT-MME)	<b>2005</b>	Comitê gestor do PNUD-039	<b>I</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2001</b>	Contratação temporária ao STD energia elétrica	<b>F</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2001</b>	Manual dos programas de pesquisas	<b>F</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2003</b>	Encargo para aquisição de energia elétrica emergencial	<b>F</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2003</b>	Regras do PUEE	<b>F</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2004</b>	Rateio dos custos do PROINFA	<b>F</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2004</b>	Quotas anuais referentes ao PROINFA	<b>I</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2004</b>	Procedimento de redução das tarifas do STDEE	<b>I</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2004</b>	Procedimentos de acesso da CG participantes do PROINFA	<b>I</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2005</b>	Critérios para aplicação de recursos em PEE	<b>P&amp;D</b>
Resoluções (REN-ANEEL)	<b>2005</b>	Apuração e repasse do TUSD	<b>F</b>
Resoluções (REH-ANEEL)	<b>2005</b>	Quotas de custeio para 2006 do PROINFA	<b>F</b>
Resoluções (REO-ANEEL)	<b>2002</b>	Adiantamento de contratos	<b>I</b>
Resoluções (REO-ANEEL)	<b>2004</b>	Suprimento aplicável aos estudos do SE interligado	<b>I</b>

Quadro 5.1. Resumo dos atos legislativos e os fatores impulsionadores para a promoção das energias renováveis (FIR).

Após análise de 48 atos legislativos, entre a Constituição de 1988 e a REM-ANEEL de 2005 das leis relacionadas com o setor elétrico brasileiro tem-se como resultados que a política energética no Brasil é voltada principalmente para a Flexibilização (41%) e políticas de Incentivo (40%). Essa realidade oriunda da leitura da legislação e da aplicação do *FIR* na análise. Constatou-se, também, na legislação, que esses parâmetros evidenciados (Flexibilização e Incentivo) desecandeu a relevância da institucionalidade, ou do arcabouço regulatório da política nacional no tocante a instigar uma matriz renovável. E que essa consideração pode ser observada na Figura 5.1 na abrangência dos atos legislativos e da aplicação do *FIR* como leitura para o incentivo das energias renováveis.

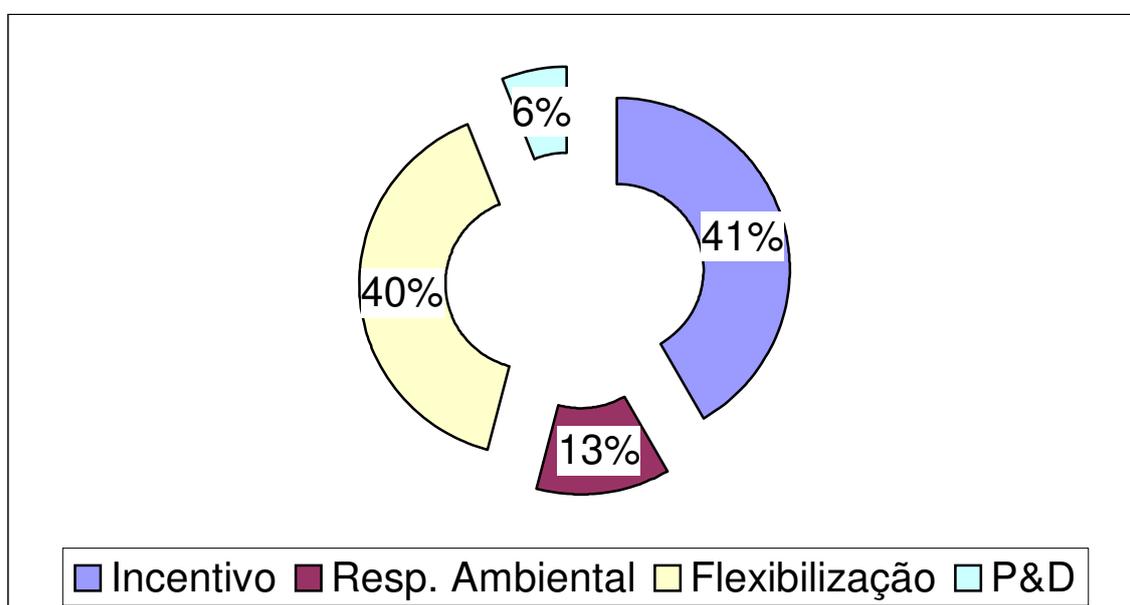


Figura 5.1 – Variação estatística dos FIR na avaliação da legislação brasileira sobre energias renováveis

Conseqüência desse marco regulatório foi à criação de um ambiente facilitador a configuração de novos agentes no mercado brasileiro de energia elétrica (81%; Flexibilização (41%) e Incentivo (40%), iniciando com a Lei n° 9.074 de 1995 e, por conseqüência, a entrada de novas tecnologias e aproveitamento de fontes renováveis de energia. Nela é criada a figura do Produtor independente de energia, definido como:

Artigo II – Considera-se produtor independente de energia a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização do poder concedente, para produzir energia elétrica destinada ao comércio de toda ou parte da energia produzida, por sua conta e risco. O decreto n° 2003/1996, que regulamenta a referida lei, fixa regras que dá forma à figura do produtor independente de energia,

diferenciando do denominado **Autoprodutor de Energia Elétrica**, definido em Lei como:

II – Autoprodutor de Energia Elétrica é a pessoa jurídica ou empresas reunidas em consórcio que recebam concessão ou autorização para produzir energia elétrica destinada ao seu uso exclusivo. Com esse decreto, é garantida a utilização e a comercialização da energia produzida, tanto ao produtor independente de energia quanto ao autoprodutor que passaram a ter garantido o livre acesso aos sistemas de transmissão e distribuição de concessionários ou permissionários de serviço público de energia elétrica, mediante o ressarcimento do custo de transporte envolvido. Esse decreto, em seu artigo 23, define quais os possíveis clientes a terem seu abastecimento de energia promovido por um produtor independente de energia:

Art 23 - A venda de energia elétrica por produtor independente poderá ser feita para:

I - concessionários de serviço público de energia elétrica;

II – consumidor de energia elétrica, nas condições estabelecidas nos artigos 15 e 16 da Lei n° 9074/1995;

III – consumidores de energia elétrica integrante de complexo industrial ou comercial, aos quais forneça vapor ou outro insumo oriundo de processo de cogeração;

IV – conjunto de consumidores de energia elétrica, independentemente de tensão e carga, nas condições previamente ajustadas com o concessionário local de distribuição;

V – qualquer consumidor que demonstre ao poder concedente não ter o concessionário local lhe assegurado o fornecimento no prazo de até 180 dias contado da respectiva solicitação.

Os artigos 15 e 16 da Lei no 9074/1995 tratam da regulamentação das condições necessárias para que um consumidor possa ser considerado “**consumidor livre**”. Esse consumidor é definido como aquele que ao apresentar (na primeira etapa da aplicação da lei) uma carga instalada superior a 10 kW, atendido por uma tensão nunca inferior a 69 kV, ficando facultado o direito de opção de compra, total ou parcial, de um produtor independente de energia elétrica. A lei estabeleceu que passado um período de três anos os consumidores livres poderão ampliar seu leque de opção de compra também aos concessionários, permissionários ou autorizados de energia elétrica do sistema. Cinco anos após a publicação da lei passam a ser considerados como consumidores livres todos aqueles consumidores com potencia instalada superior a 3 MW a uma tensão de fornecimento igual ou superior a 69 kV. Fica definido também que passados oito anos

de cumprimento da Lei, o poder concedente poderá reduzir os limites de carga e tensão que condiciona o enquadramento como consumidor livre.

Em 1996, a lei n° 9.427, de 26 de dezembro de 1996, criou a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, cuja finalidade se expressa no Art 2 “A Agência Nacional de Eletricidade tem por finalidade regular e fiscalizar a produção, transmissão, distribuição e comercialização de energia elétrica em conformidade com as políticas e diretrizes do governo federal”. No que se refere a incentivos às fontes renováveis, essa mesma Lei, em seu artigo 26, estabelece que a ANEEL estipule percentual de redução não inferior a 50%, a ser aplicado aos valores das tarifas de usos dos sistemas elétricos de transmissão e distribuição nos encargos de forma a garantir a competitividade à energia ofertada pelos aproveitamentos de potencial hidráulico de potência superior a 1000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW.

Em 1º de outubro de 1999 a resolução n° 281 da ANEEL, em seu artigo 22, deu nova redação a Lei n° 9.427 de 1996, ampliando a isenção desses encargos a outras tecnologias renováveis, a saber:

Art. 22 - Para o aproveitamento de potencial hidráulico de potência superior a 1.000 kW e igual ou inferior a 30.000 kW, destinado à produção independente ou autoprodução de energia elétrica, mantidas as características de pequena central hidrelétrica, e para os empreendimentos a partir de fontes eólicas e empreendimentos termoelétricos a partir de fonte de biomassa e de cogeração qualificada, cuja capacidade instalada esteja dentro dos referidos limites de potências, a ANEEL estipulará, no ato autorizativo, o percentual de redução de 50% (cinquenta por cento), a ser aplicado às tarifas de uso dos sistemas elétricos de transmissão e de distribuição. A resolução também estabeleceu, em caráter excepcional, a isenção total desses encargos para os empreendimentos que viessem a entrar em operação até o dia 31 de dezembro de 2003.

A Política Energética Nacional foi configurada pela Lei n° 9.478, de 06 de agosto de 1997. Nela se pode inferir que as atenções, quanto ao aproveitamento das fontes de energia renováveis, estão materializadas no seu artigo 10, assim redigido:

Art. 10 - As políticas nacionais para o aproveitamento racional das fontes de energia visarão aos seguintes objetivos:

I – preservar o interesse nacional;

II – promover o desenvolvimento, ampliar o mercado de trabalho e valorizar os recursos energéticos.

III – proteger os interesses do consumidor quanto a preço, qualidade e oferta dos produtos.

IV – proteger o meio ambiente e promover a conservação de energia;

VII – identificar as soluções mais adequadas para o suprimento da energia elétrica nas diversas regiões do país,

VIII – utilizar fontes alternativas de energia, mediante o aproveitamento econômico dos insumos disponíveis e das tecnologias aplicáveis.

Com base nos atrativos para a adoção das tecnologias de geração elétrica a partir de recursos renováveis, é possível afirmar que eles se coadunam com os objetivos traçados para a política energética nacional. Tais atrativos estão alicerçados nas vantagens ambientais e na possibilidade de diversificação das fontes de energia, permitindo, por sua dinâmica, criar as condições necessárias à adoção de um modelo descentralizado de geração. A descentralização da matriz de geração elétrica favorece a criação de emprego e geração de renda, o que por sua vez contribui marcadamente para o desenvolvimento regional. A busca desses resultados não está restrita à política energética nacional, mas sim, em síntese, de todos os mecanismos de intervenção social alavancados pelo estado.

## **5.2. Programa emergencial de energia eólica**

**Art. 1º** Fica criado o Programa Emergencial de Energia Eólica (PROEÓLICA) no território Nacional, com os seguintes objetivos:

**I** - viabilizar a implantação de 1.050 MW, até dezembro de 2003, de geração de energia elétrica a partir de fonte eólica, integrada ao sistema elétrico interligado Nacional;

**II** - promover o aproveitamento da fonte eólica de energia, como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental;

**III** - promover a complementaridade sazonal com os fluxos hidrológicos nos reservatórios do sistema interligado nacional.

**Art. 2º** Para consecução dos objetivos do PROEÓLICA, ficam estabelecidas as seguintes condições, com validade até 31 de dezembro de 2003:

**I** - a ELETROBRÁS, diretamente ou por intermédio de suas empresas coligadas, deverá, por um prazo mínimo de quinze anos, contratarem a aquisição da energia a ser produzida por empreendimentos de geração de energia eólica até o limite de 1.050 MW;

**II** - o valor de compra (VC) da energia referida no inciso I será equivalente ao valor de repasse para as tarifas, relativo à fonte eólica, estabelecido conforme regulamentação da ANEEL, aplicando-se ao VC os incentivos previstos no inciso III;

**III** - para os projetos que iniciarem sua operação nos prazos abaixo aplicar-se-ão, nos primeiros dois anos, os seguintes incentivos:

Para os projetos implementados até 31 de dezembro de 2001 – 1,200 x VC;

Para os projetos implementados até 31 de março de 2002 – 1,175 x VC;

Para os projetos implementados até 30 de junho de 2002 – 1,150 x VC;

Para os projetos implementados até 30 de setembro de 2002 – 1,125 x VC;

Para os projetos implementados até 31 de dezembro de 2002 – 1,100 x VC;

**IV** - os custos relativos à energia comprada pela ELETROBRÁS deverão ser integralmente repassados às concessionárias de distribuição do sistema interligado, de forma compulsória, na proporcionalidade dos seus mercados realizados no ano anterior;

**V** - a qualquer tempo, os contratos referidos no inciso I poderão ser repassados às concessionárias de distribuição.

**Art. 3º** Para implantação do PROEÓLICA, serão firmados convênios e acordos de cooperação com instituições públicas e privadas.

**Art. 4º** Caberá ao Ministério de Minas e Energia promover, coordenar e implementar o Programa de que trata esta Resolução.

A Resolução nº 24, de 2001, da Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica 43 - GCE, criou o Programa Emergencial de Energia Eólica - PROEÓLICA, definido em Lei como um programa que prevê incentivos que asseguram por quinze anos a compra, pela ELETROBRAS, da energia produzida pelas Usinas Eólicas que entrassem em operação até dezembro de 2003. O objetivo era também promover o aproveitamento dessa fonte de energia como alternativa de desenvolvimento energético, econômico, social e ambiental através de ações que pudessem viabilizar, até dezembro de 2003, a implantação de 1.050 MW de geração de energia elétrica a partir da energia eólica, o equivalente a 50 vezes a atual capacidade instalada.

O valor de compra da energia gerada pelo PROEOLICA seria equivalente ao valor de repasse para as tarifas, relativo ao Valor Normativo da fonte eólica estabelecido conforme regulamentação da ANEEL. Os custos relacionados ao volume de energia comprada pela ELETROBRAS seriam repassados às concessionárias de distribuição do sistema interligado de forma compulsória na proporcionalidade dos seus mercados realizados no ano anterior. O PROEOLICA, contudo, não foi capaz de viabilizar a

entrada emergencial de novos projetos eólicos, mas favoreceu a entrada de muitas empresas internacionais que atuam na promoção das fontes renováveis, gerando assim a necessidade da estruturação de uma legislação, de caráter duradouro, que venha efetivar o desenvolvimento do mercado de energias renováveis no Brasil.

### **5.3. Programa de incentivo às fontes alternativas de energia elétrica**

O PROINFA é um importante instrumento para a diversificação da matriz energética nacional, garantindo maior confiabilidade e segurança ao abastecimento. O Programa, coordenado pelo Ministério de Minas e Energia (MME), estabelece a contratação de 3.300 MW de energia no Sistema Interligado Nacional (SIN), produzidos por fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCHs), sendo 1.100MW de cada fonte.

Criado em 26 de abril de 2002, pela Lei nº 10.438, o PROINFA foi revisado pela Lei nº 10.762, de 11 de novembro de 2003, que assegurou a participação de um maior número de estados do Programa, o incentivo à indústria nacional e a exclusão dos consumidores de baixa renda do pagamento do rateio da compra da nova energia. O PROINFA conta com o suporte do BNDES, que criou um programa de apoio a investimentos em fontes alternativas renováveis de energia elétrica. A linha de crédito prevê financiamento de até 70% do investimento, excluindo apenas bens e serviços importados e a aquisição de terrenos. Os investidores terão que garantir 30% do projeto com capital próprio. As condições do financiamento serão TJLP mais 2% de spread básico e até 1,5% de “spread” de risco ao ano, carência de seis meses após a entrada em operação comercial, amortização por dez anos e não-pagamento de juros durante a construção do empreendimento. A Eletrobrás, no contrato de compra de energia de longo prazo, assegurará ao empreendedor uma receita mínima de 70% da energia contratada durante o período de financiamento e proteção integral quanto aos riscos de exposição do mercado de curto prazo. Os contratos terão duração de 20 anos e envolverão projetos selecionados que devem entrar em operação até dezembro de 2006.

Com a implantação do PROINFA, estima-se que serão gerados 150 mil empregos diretos e indiretos durante a construção e a operação dos empreendimentos. Os investimentos previstos do setor privado são da ordem de R\$ 8,6 bilhões. Uma das exigências da Lei nº 10.762 é a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de 60% do custo total de construção dos projetos. O Brasil detém as tecnologias de

produção de maquinário para uso em PCHs e usinas de biomassa, que está avançando na tecnologia eólica, com duas fábricas instaladas, uma no Sudeste e outra no Nordeste do País.

Os critérios de regionalização, previstos na Lei nº 10.762, estabelecem um limite de contratação por estados de 20% da potência total destinada às fontes eólicas e biomassa e 15% para as PCHs, o que possibilitam a todos os estados que tenham vocação e projetos aprovados e licenciados. A limitação, no entanto, é preliminar, já que, caso não venha a ser contratada a totalidade dos 1.100 MW destinados a cada tecnologia, o potencial não-contratado será distribuído entre os estados que possuírem as licenças ambientais mais antigas. Para participarem do Programa, os empreendimentos terão de ter licença prévia de instalação.

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 comportamento dos 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 eólicas, biomassa e PCH, que atualmente respondem por 3,1% do total produzido e, em 2006, podem chegar a 5,9%.

A entrada de novas fontes renováveis evitará a emissão de 2,5 milhões de toneladas de gás carbônico/ano, ampliando as possibilidades de negócios com Certificação de Redução de Emissão de Carbono, nos termos do protocolo de Kyoto. O Programa também permitirá maior inserção do pequeno produtor de energia elétrica, diversificando o número de agentes do setor. Geração de energia oriunda de fontes limpas e renováveis. Nessa agenda, o Brasil ocupa posição destacada em função da sua liderança nas principais frentes de negociação e da significativa participação das fontes renováveis na sua matriz energética.

Na Conferência Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável, realizada em 2002 em Joanesburgo, houve uma ênfase especial para as fontes renováveis. A delegação brasileira levou a proposta de participação, em 2010, de 10% de fontes renováveis nas matrizes energéticas dos países. As fontes renováveis foram restritas à biomassa moderna, a pequenas centrais hidroelétricas, à geotérmica, à eólica, à solar e à energia

de marés. A proposta não foi aceita na Conferência, sendo rejeitada por países da OPEP (Organização dos Países Exportadores de Petróleo) e pelos Estados Unidos. A União Européia admitia um percentual maior, mas teriam de ser incluídas como renováveis as grandes usinas hidroelétricas. O governo alemão se propôs organizar uma conferência específica dois anos mais tarde para aprofundar os debates.

A Conferência Internacional sobre Energias Renováveis, reunindo 154 delegações de diferentes países, foi realizada no período de 1 a 4 de junho de 2004, em Bonn, Alemanha. A conferência foi estruturada de forma a discutir assuntos relacionados com políticas para o desenvolvimento de fontes renováveis de energia, com opções de financiamento para essas fontes e com o reforço da capacitação humana e institucional dos países. Anunciou-se a expectativa de investimentos globais na infraestrutura de oferta de energia, para os próximos 30 anos, de US\$ 16 trilhões. Esse volume permitiria que houvesse a possibilidade de orientar uma parcela maior de investimentos para fontes renováveis de energia, no sentido de acelerar a transição do sistema energético mundial para o desenvolvimento sustentável. Essa foi uma reivindicação direcionada não somente aos governos, mas também aos órgãos multilaterais de financiamento.

Apesar da desaceleração no ritmo de investimentos públicos em P&D, como foi evidenciado na análise dos atos institucionais, o crescimento das fontes renováveis foi bem superior ao das fontes convencionais. Segundo AIE (2000) as tecnologias eólicas de maior eficiência já conseguiram ser competitivas, em termos de custo por kWh, com as usinas termelétricas a gás natural em ciclo combinado ou usinas a carvão mineral. Enquanto a primeira apresentou taxa de progresso técnico de 82% entre 1980 e 1995, as usinas a gás natural e a carvão apresentam taxas de 96 e 97%, respectivamente. Ou seja, conseguem reduzir apenas 3 e 4% de seus custos. A conclusão que se tira dessa análise é que as fontes renováveis de energia necessitam obrigatoriamente de recursos públicos, seja para pesquisa e desenvolvimento, seja para subsidiar os custos iniciais de produção.

Outra questão de grande interesse dos países em desenvolvimento refere-se à geração de empregos. GOLDEMBERG (2004) fez um levantamento sobre a criação de empregos na produção de combustíveis e na geração de eletricidade e constatou que as fontes renováveis, exceto a hidroeletricidade, geram muito mais empregos diretos que os combustíveis fósseis. No contexto em que as fontes renováveis não são competitivas, com baixa participação no mercado, à justificativa para o desenvolvimento de energias renováveis se baseia no seu caráter estratégico, pois há ainda muita desigualdade entre

as nações. Além disso, os recursos hoje utilizados são concentrados em poucas regiões, são insuficientes para atender à demanda futura e o consumo dos recursos não-renováveis pode trazer conseqüências desastrosas ao meio ambiente no longo prazo. A questão se coloca no sentido de saber para quais tipos de fontes devem ser dirigidos os maiores esforços.

A falta de motivação política para apoiar novas idéias no campo energético é um dos pontos que podem bloquear o desenvolvimento das renováveis. A falta de uma apropriada estrutura legal para apoiar o desenvolvimento das fontes renováveis é um dos pontos que essa tese coloca como sendo o de maior fragilidade. Também, a garantia de acesso à rede de distribuição, pois os custos de logística e conexão são muitos elevados para pequenos produtores independentes, além do fato de o fornecimento ser, em muitos casos, interruptível. Por outro lado, existe uma série de mecanismos legais de apoio às fontes renováveis de energia, sendo utilizados por diversos países que quando não adotados amplia-se barreiras para a penetração das mesmas. Os mais comuns são:

**1. Fixação de Preços (*Feed-in Arrangements*)** – Os geradores são garantidos por contratos que fixam os preços das energias com fluxo contínuo de recebimentos, graças a uma obrigação estipulada para o comercializador da energia. A Califórnia foi um dos precursores a utilizar esse mecanismo nos anos 80 para a geração qualificada através do PURPA (*Public Utilities Regulatory Act*), de 1978 (SAWIN, 2004). Sendo este o sistema escolhido pela Alemanha e Espanha para incentivar a energia eólica e pelo Brasil o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA).

**2. Leilões de Energia (*Tendering Arrangements*)** – É um processo competitivo com base em chamadas públicas periódicas de apoio a uma quantidade predefinida de energia renovável. A França e a Inglaterra utilizaram essa opção na promoção das energias renováveis. Esses Países não tiveram muito sucesso com esse sistema, pois as participações das fontes renováveis nos seus mercados eram muito incipientes. No caso do Brasil, o Ministério de Minas e Energia vislumbra a utilização desse sistema em uma próxima fase do PROINFA, caso a primeira fase tenha tido êxito. Com um parque gerador já instalado, com indústrias nacionais produzindo equipamentos, os leilões podem proporcionar maior competitividade entre as fontes e entre os produtores.

**3. Participação Voluntária** (*Green Pricing Scheme*) – Permite a participação voluntária de consumidores dispostos a pagar um prêmio para apoiar a geração elétrica proveniente de fontes renováveis.

**4. Certificados Verdes** (*Tradable Renewable Energy Certificate – TREC*) – A comercialização de certificados pode ocorrer se houver uma demanda voluntária de energia renovável ou se houver alguma imposição legal de governo. Os certificados apresentam a vantagem de se poder produzir energia renovável em locais onde os custos são menos elevados, sem necessidade de transferência física de energia.

A falta de financiamentos de longo prazo apropriados é um outro ponto de entrave apontado. A aversão dos financiadores ao risco é grande, pois as energias renováveis apresentam alto custo de produção, o mercado ainda não está bem consolidado, a tecnologia muitas vezes não está difundida e a escala de produção é reduzida. Por isso, torna-se importante superar algumas barreiras políticas e legais, de forma que o financiador se sinta mais confortável em apoiar as fontes renováveis de energia. Do ponto de vista do setor público, há pelo menos três modalidades de apoio: recursos não-reembolsáveis, financiamentos a baixo custo e prestação de garantias. O setor privado pode participar com capital de risco (*venture capital*), podendo se consorciar com o capital público.

Combustíveis sólidos e líquidos de biomassa foi outra saída encontrada pelo Brasil para enfrentar a crise energética dos anos 70. O principal programa naquela época foi o Proálcool. Seu objetivo era substituir a gasolina utilizada em automóveis, empregando tecnologia desenvolvida em território nacional. O crescimento do mercado foi bastante significativo, principalmente após o segundo choque do petróleo. Em 1985, as vendas de automóveis a álcool representaram 96% do mercado, mas, com a elevação do preço do açúcar no mercado internacional, houve uma queda acentuada da produção de álcool no fim dos anos 90, o que contribuiu para a redução da produção de veículos a álcool, além do fato de os preços do petróleo ter caído a partir da segunda metade dos anos 80.

Atualmente, o álcool é competitivo com a gasolina em vários estados da federação, mas ainda é necessário quebrar algumas barreiras surgidas ao longo do tempo, como a confiança do consumidor na segurança de abastecimento do combustível. Isso tem sido um ponto-chave para tornar o álcool combustível uma mercadoria que possa ser comercializada internacionalmente. O automóvel “power flex”

é opção bastante interessante, permitindo que o consumidor possa decidir sobre o combustível economicamente mais vantajoso para ele, não ficando à mercê de decisões dos produtores de álcool e açúcar.

O governo brasileiro tem incentivado outras fontes renováveis de energia que não são, em sua maioria, competitivas nas atuais condições do mercado. Os exemplos mais recentes de ações de promoção do aumento das fontes de energia renováveis na matriz energética brasileira referem-se ao Programa de Produção e Uso do Biodiesel e ao Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica (PROINFA). O Programa do Biodiesel tem como meta adição de 2% de biodiesel ao diesel. Isso representa uma produção de cerca de 800 milhões de litros de biodiesel. Durante os três primeiros anos, a adição é voluntária, pois a agroindústria não está preparada para produzir tal volume de biodiesel no curto prazo. A partir de 2008, a adição de 2% será obrigatória. Em oito anos, a obrigatoriedade passará para 5%.

A ANEEL recebeu a incumbência, através da Lei nº 10.438, de preparar um plano de universalização do acesso à eletricidade, fixando um prazo para o cumprimento de metas de atendimento de serviço de energia elétrica. No Programa Luz para Todos, a Eletrobrás foi encarregada de gerir os recursos financeiros do programa de universalização de acesso à energia elétrica do Ministério, cujo objetivo é levar energia elétrica a 12 milhões de pessoas até 2008. O programa está orçado em R\$ 7 bilhões, sendo R\$ 5,3 bilhões provenientes da Conta de Desenvolvimento Energético (CDE) e da Reserva Global de Reversão (RGR) e o restante dos governos estaduais e de agentes do setor. Além da gestão dos recursos, a Eletrobrás é responsável por dar apoio técnico às concessionárias estaduais de energia para a execução “Luz para Todos”. Em sua primeira fase, o programa pretende levar energia elétrica a 1,4 milhões de famílias – 90% delas em áreas rurais – até o ano 2006. Em sistemas isolados, há um potencial não-desprezível de penetração de fontes renováveis.

O BNDES vem contribuindo com vários programas de governo para a promoção de fontes renováveis, para a substituição de petróleo e para a eficiência energética. Além dos programas tradicionais citados, o BNDES contribuiu no processo de substituição de óleo combustível por eletricidade em indústrias através do programa Eletrotermia. Na década de 80, instituiu o Programa de Conservação do Meio Ambiente (Conserve), em parceria com agências multilaterais de crédito, cujo objetivo era estimular o controle da poluição em áreas urbanas, industriais e rurais. Tornaram-se emblemáticos os casos de despoluição de Cubatão, SP, e o tratamento de efluentes na

suinocultura da Região Sul (BNDES, 2002). Em 2001, lançaram os programas para pequenas centrais hidroelétricas (PCH-COM), de apoio à co-geração de energia elétrica a partir de resíduos de biomassa, e para investimentos em fontes alternativas e em eficiência energética.

A experiência do BNDES se voltou basicamente para projetos em hidroeletricidade e biomassa de bagaço da cana-de-açúcar e, em menor proporção, de resíduos de madeira. O Ministério de Minas e Energia escolheu um mecanismo interessante para os produtores de energia, com a fixação de tarifas (*feed-in tariffs*) por um prazo de 20 anos. Dentro de um contexto institucional mais estável, no qual algumas barreiras políticas e legais já foram superadas, o BNDES pôde oferecer recursos em condições bastante favoráveis em relação aos financiamentos tradicionais. Com relação ao Programa de Biodiesel, o BNDES participou de etapas preliminares, como o planejamento e a concepção do programa. O Banco foi convidado pelo ministério a integrar o Grupo Gestor no início de 2004.

O Programa de Produção e Uso do Biodiesel foi lançado em dezembro de 2004, juntamente com uma linha de financiamento do BNDES que pode chegar a 90% do investimento em projetos com selo social e a 80% em projetos sem selo. O BNDES também incentiva a aquisição de máquinas e equipamentos homologados pelos fabricantes, para utilizar no mínimo 20% de biodiesel, aumentando em até 25% o prazo do financiamento. A análise sobre o desenvolvimento de fontes renováveis mostra que elas são fundamentais para o crescimento sustentável não só por questões ambientais, mas também por motivos econômicos, sociais e tecnológicos.

Entretanto, para atrair interessados em investir na produção de fontes renováveis, não basta oferecer incentivos fiscais e financeiros; é necessário, em primeiro lugar, desenvolver um arcabouço institucional no Brasil no sentido de remover algumas barreiras apontadas neste trabalho. Também, não obstante só oferecer financiamento a uma determinada tecnologia se há muitos obstáculos em outras esferas.

Enquanto as tecnologias se encontrarem em um estágio pequeno de desenvolvimento, com custos elevados e pequena participação no mercado, é necessário que se tenha um aparato legal, regulatório e institucional sólido, de forma a reduzir os riscos para os financiadores.

Além de todos esses pontos levantados, deve-se ter em mente uma mudança no contexto internacional, com o aumento do preço do petróleo e a ratificação do Protocolo de Quioto. Em 2004, o álcool brasileiro conseguiu entrar diretamente nos Estados

Unidos sem precisar passar pelo Caribe, região que possui cota de até 7% do mercado norte-americano e que não sofre a taxaço prevista para o álcool. Apesar de o mercado mundial de biocombustíveis ser ainda muito pequeno, ele deve apresentar crescimento rápido até 2008, quando se inicia o primeiro período de obrigações de reduções de gases de efeito-estufa, conforme o Protocolo de Quioto. Entretanto, o Brasil não tem a infraestrutura de logística adequada para a exportação de biocombustíveis em grandes volumes.

O grande exemplo foi à tomada de decisão do estado do Ceará, que deveria ser seguidos por outros estados em busca de uma matriz energética diversificada, quando da criação de uma instituição – CENEA, voltada à articulação de negócios e pesquisas na área de energias alternativas. A instituição é uma organização social desenvolvida em parceria entre o Governo do Estado, por meio das secretarias da Infra-Estrutura, Ciência e Tecnologia e Planejamento, a Universidade Federal do Ceará (UFC) e a Federação das Indústrias do Estado do Ceará (FIEC). O CENEA pretende atrair investimentos para o Estado, rico em fontes alternativas provenientes do vento, do sol e da biomassa, além de promover o desenvolvimento dessas formas de energia em todo o País.

O potencial eólico cearense é de 25 mil MW no continente, e outros 10,5 mil MW no mar (off-shore), que estão em fase de avaliação. Segundo o Ministério de Minas e Energia, os recursos a serem investidos nestas fontes alternativas de energia devem gerar no estado, somente no segmento de energia eólica, cerca de 20 mil novos empregos diretos e indiretos, através da implantação de fábricas de pás, aerogeradores e torres, bem como das cadeias de serviço necessárias à instalação e operação dos próprios parques. Além dos parques eólicos atualmente em funcionamento (Prainha – 10 MW, Taíba – 5 MW e Mucuripe – 2,4 MW), o Governo Estadual construirá dois parques de sua propriedade, de 30 MW cada um (Paracuru e Camocim), cuja operação deve ser iniciada em 2007. No total, considerando o PROINFA, os parques próprios do estado e os que já estão operando, a matriz energética do Ceará contará com 578 MW da chamada “energia verde”.

O lançamento do CENEA ocorre também num momento em que o mundo se volta, de forma definitiva, para a utilização de energias alternativas como forma de reverter o processo de aquecimento global provocado pelo lançamento de dióxido de carbono na atmosfera. Com a assinatura do protocolo de Quioto pela Rússia, ele passou a ter validade efetiva, e a sua implementação significa o repasse crescente de recursos

pelas sociedades desenvolvidas para as economias em desenvolvimento, para aplicação e viabilização de projetos de tecnologias limpas ([www.ceara.gov.br](http://www.ceara.gov.br), 2006).

Finalizando, pode-se definir que a regra básica para o setor elétrico sustentável é que dentro das reformas garanta que a indústria de eletricidade, além de ser competitiva, seja também capaz de atender a objetivos sociais, de proteção ambiental e assegurar investimentos que promovam avanços tecnológicos para a sustentabilidade e uma maior diversidade da matriz energética.

## Capítulo VI

---

### 6. Resultados e Discussão (2<sup>o</sup> parte)

#### 6.1. Regionalização do potencial eólico do estado do Ceará a 10 m de altura

Com vistas ao objetivo deste trabalho em contribuir para a identificação da potencialidade para pequenos projetos eólicos e diante da perspectiva dele ser utilizado por pesquisadores e planejadores das políticas públicas voltadas para a questão da energia, em especial a energia renovável, a seguir são apresentadas às descrições sobre a potencialidade eólica do estado do Ceará a partir dos dados de PCDs a 10 m de altura. Nas subseções seguintes é apresentados uma análise da velocidade média do vento a direção prevalecente (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), frequência relativa associada à direção predominante (FR) e o potencial eólico (POT) das sete mesorregiões do estado do Ceará.

**Mesorregião Sul Cearense:** como visto na descrição geográfica da área de estudo, essa mesorregião é composta pelas estações de Assaré, Jati, Santana do Cariri e Missão Velha.

Na estação de Assaré, o mês de outubro destacou-se com uma velocidade média na direção prevalecente (VDPrev) de 2,9 m/s, enquanto que a média anual foi de 2,16 m/s. A velocidade do vento na direção predominante (VDPred) foi maior no mês de novembro, com 3,64 m/s, e apresentou média anual de 2,54 m/s. As condições de vento não permitem grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1 (Quadro 3.2). A direção predominante foi de Nordeste (DP2) com uma média de ocorrência em torno de 43% durante o período de estudo. O potencial eólico acumulado do período estudado foi de 163,752 W/m<sup>2</sup>; se considerado o período úmido, entre janeiro e junho na região, a média foi de 8,33 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco, entre julho e dezembro, foi de 18,96 W/m<sup>2</sup>. Portanto, os períodos úmido e seco representaram 31% e 69%, respectivamente, do total do potencial acumulado. O ganho de potência do

período seco em relação ao úmido foi de 127,6%. Todas essas considerações são sumarizadas na Tabela 6.1.

Tabela 6.1. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação Assaré.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,00	2	2,61	2,22	3,09	38	7,95
Fevereiro	1,80	2	2,39	1,96	2,90	37	7,24
Março	1,60	2	2,07	1,71	2,30	42	4,87
Abril	1,60	2	1,72	1,55	2,39	28	4,20
Maio	1,80	4	2,13	1,62	2,91	31	7,96
Junho	2,00	4	1,82	2,21	3,62	53	17,71
Julho	2,10	4	1,60	2,20	3,91	45	18,88
Agosto	2,40	4	2,68	2,83	4,16	54	23,48
Setembro	2,80	4	3,11	2,94	4,15	53	22,29
Outubro	2,90	2	3,51	3,19	4,19	35	14,84
Novembro	2,60	2	3,64	3,06	4,21	52	22,44
Dezembro	2,30	2	3,16	2,73	3,58	42	11,84
<b>Média</b>	<b>2,16</b>	<b>DP2</b>	<b>2,54</b>	<b>2,35</b>	<b>3,45</b>	<b>43</b>	<b>13,64</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	163,75

Para a estação de Jati, o mês de outubro teve a maior VDP<sub>Prev</sub> com 3,8 m/s, enquanto a velocidade média anual foi de 2,81 m/s. Já a maior VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de agosto com 5,16 m/s e apresentou média anual de 4,12 m/s. Essa condição de vento permite aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe 1, resultando numa densidade de potência de 100 W/m<sup>2</sup>. A direção predominante foi de Sudeste (DP4) com uma média de ocorrência em torno de 44% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 269,99 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido, entre janeiro e junho na região, a média foi de 14,596 W/m<sup>2</sup>; enquanto que no período seco, entre julho e dezembro, foi de 30,402 W/m<sup>2</sup>,

representando no período úmido 32% e no período seco 68% do total do potencial eólico (Tabela 6.2) O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 108,29%.

Tabela 6.2. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Jati.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,60	4	3,93	2,49	3,70	43	13,98
Fevereiro	2,50	4	3,22	2,38	3,13	25	5,20
Março	2,20	2	2,68	2,31	2,68	21	2,80
Abril	2,10	4	3,57	2,17	3,35	47	12,64
Mai	2,30	4	4,27	2,25	4,04	44	20,26
Junho	2,90	5	4,75	3,12	4,74	53	32,66
Julho	2,80	5	5,00	3,20	5,05	63	46,27
Agosto	3,20	5	5,16	3,94	5,38	54	45,11
Setembro	3,50	4	4,96	3,58	5,20	54	41,73
Outubro	3,80	4	4,36	3,28	4,49	49	24,95
Novembro	3,10	4	3,98	3,04	4,15	35	14,60
Dezembro	2,70	4	3,62	2,78	3,60	34	9,73
<b>Média</b>	<b>2,81</b>	<b>DP4</b>	<b>4,12</b>	<b>2,88</b>	<b>4,13</b>	<b>44</b>	<b>22,50</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	269,99

A estação de Santana de Cariri teve VDP<sub>Prev</sub> máxima no mês de setembro, com 2,4 m/s, e a média anual foi de 1,82 m/s. A maior VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de julho, com 3,74 m/s e a média anual foi de 2,40 m/s (Tabela 6.3). Essa condição de vento não permite aproveitamento eólico de acordo com o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Sul (DP5) com uma média de ocorrência em torno de 44% durante o período estudado. O potencial eólico total acumulado foi de 105,25 W/m<sup>2</sup>; e considerando o período úmido, entre janeiro e junho na região, a média do se situou em 4,88 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco, entre julho e dezembro, foi de 12,66 W/m<sup>2</sup>, representando, assim, para o período úmido 28% e para o período seco 72% do total da

potencial. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 158,89%. Todas essas considerações são sumarizadas na Tabela 6.3.

Tabela 6.3. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Santana de Cariri.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,70	5	2,01	1,70	2,26	27	2,99
Fevereiro	1,40	5	1,09	1,56	1,65	21	1,05
Março	1,20	2	1,11	1,53	1,48	21	0,77
Abril	1,60	5	1,75	1,65	1,92	27	1,88
Mai	1,70	5	2,47	1,69	2,68	46	8,51
Junho	1,90	5	2,88	2,19	3,29	55	14,09
Julho	2,00	5	3,74	2,22	3,85	64	25,53
Agosto	2,20	5	3,72	2,90	4,00	61	23,08
Setembro	2,40	5	3,45	2,80	3,65	52	15,27
Outubro	2,10	5	2,62	2,31	3,08	29	5,79
Novembro	1,90	2	2,08	1,97	2,68	24	3,62
Dezembro	1,70	3	1,89	1,82	2,31	24	2,62
<b>Média</b>	<b>1,82</b>	<b>DP5</b>	<b>2,40</b>	<b>2,03</b>	<b>2,74</b>	<b>38</b>	<b>8,77</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	105,25

A estação de Missão Velha apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub> no mês de setembro, com 2,61 m/s e média anual de 2,18 m/s. A maior VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de julho, com valor de 4,02 m/s e média anual de 2,74 m/s. Essa condição de vento não permite aproveitamento eólico de acordo com a classificação de velocidade de ventos e potência, pois ela se situou na classe < 1 (Quadro 3.2). A direção predominante foi de Sul (DP5), com uma média de ocorrência em torno de 22% durante o período estudado. O potencial eólico total acumulado encontrado foi de 85,51 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido, entre janeiro e junho na região, a média foi de 3,27 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco, entre julho e dezembro, foi de 10,98 W/m<sup>2</sup>. Portanto, os períodos úmido e seco representaram 23% e 77%, respectivamente do total do potencial. Por outro lado, o ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 235,78% (Tabela 6.4).

Tabela 6.4. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Missão Velha.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,86	4	1,94	3,42	2,16	11	0,61
Fevereiro	2,06	3	2,03	2,64	2,28	1	0,72
Março	1,91	6	1,81	2,36	2,03	0,9	0,54
Abril	1,76	6	1,58	2,08	3,06	0,7	0,29
Mai	1,98	4	2,99	2,73	3,35	25	5,69
Junho	2,11	5	3,26	2,96	3,64	42	11,77
Julho	2,28	5	4,02	3,45	4,47	48	23,51
Agosto	2,36	5	3,89	3,68	4,31	49	21,20
Setembro	2,61	5	3,68	3,21	4,11	41	16,03
Outubro	2,46	4	3,18	2,86	3,56	14	3,73
Novembro	2,58	2	2,36	2,04	2,66	0,4	0,56
Dezembro	2,26	3	2,12	1,86	2,40	0,7	0,80
<b>Média</b>	<b>2,18</b>	<b>DP5</b>	<b>2,74</b>	<b>2,77</b>	<b>3,06</b>	<b>22</b>	<b>7,12</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	85,51

Com base nos dados de velocidade horária média das PCDs medidas a 10 m de altura, a avaliação do comportamento do vento e do seu potencial eólico na mesorregião Sul Cearense revela o seguinte (i) um pequeno espalhamento na rosa-dos-ventos, praticamente unidirecional, de Leste para sul; (ii) persistência da direção do vento flui em boa parte do tempo na mesma direção; (iii) Foi detectado que do período úmido para o seco a variação é maior do que 100% do total da potência do período, sendo essa condição evidenciada no Atlas Eólico do Ceará; (iv) as diferenças da potência entre as estações não chegaram a ser expressivas; (v) entende-se que no cômputo da potência, a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull não apresentaram oscilações significativas; (vi) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Missão Velha, enquanto a estação de Jati foi o que registrou a maior potência eólica; e (vii) em termos gerais, essas áreas conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre junho a setembro e as de mínimas entre fevereiro a abril.











Com base no comportamento do vento e no potencial eólico resultante na mesorregião Norte Cearense observou-se o seguinte: (i) um grande espalhamento na rosa-dos-ventos, praticamente bidirecional de Leste para Sudeste e Sudoeste para Noroeste; (ii) a persistência da direção do vento flui de maneira oposta; (iii) também foi detectado que no período seco a variação é de mais de 100% do total sobre a potência do período úmido; (iv) as diferenças da potência entre as estações como pode ser observado não chegaram a ser expressivas; (v) no cômputo da potência a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull não apresentaram oscilações significativas; (vi) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Aratuba. Por sua vez, a estação de Amontada foi o que registrou a maior potência eólica; e (viii) as áreas conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre setembro a outubro e as de mínimas entre fevereiro a maio.

**A Mesorregião do Centro-Sul Cearense:** essa área de estudo é composta pelas estações de Cedro, Icó, Iguatu e Lavras de Mangabeira.

Na estação de Cedro o mês de setembro foi aquele que apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 2,2 m/s, enquanto a média anual foi de 1,79 m/s. Por outro lado, a máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de dezembro, com 2,57 m/s, e a média anual foi de 1,76 m/s. Essa condição de vento não permite um aproveitamento eólico, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Nordeste (DP2) com uma média de ocorrência em torno de 44% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 125,09 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 5,52 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 15,32 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 26% e no período seco 74% do total do potencial eólico. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 177,54%. Todas essas considerações são sumarizadas na Tabela 6.10.

Tabela 6.10. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Cedro.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,90	2	2,36	1,71	2,57	36	5,73
Fevereiro	1,70	4	1,85	1,68	2,34	28	3,56
Março	1,80	2	1,82	1,58	2,18	33	3,66
Abril	1,30	4	1,14	1,59	1,88	31	2,20
Maio	1,60	4	1,32	1,96	2,63	42	6,15
Junho	1,70	5	0,78	2,27	3,19	53	11,80
Julho	1,70	5	0,89	1,76	3,48	67	25,43
Agosto	1,70	5	1,80	2,09	3,83	70	29,36
Setembro	2,20	5	1,79	2,60	3,53	67	18,49
Outubro	2,00	2	2,44	1,95	2,85	29	5,45
Novembro	1,90	2	2,34	1,77	2,78	34	6,57
Dezembro	2,00	2	2,57	1,89	2,73	39	6,62
<b>Média</b>	<b>1,79</b>	<b>DP2</b>	<b>1,76</b>	<b>1,90</b>	<b>2,83</b>	<b>44</b>	<b>10,42</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	125,09

Para a estação de Icó, o mês de agosto apresentou valores máximos VDP<sub>Prev</sub> de 2,00 m/s, e a média anual foi de 1,82 m/s. Por outro lado, a máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de novembro, com 2,89 m/s, e a média anual foi de 2,32 m/s. Essa condição de vento não permite aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe <1. A direção predominante foi de Nordeste (DP2), com uma média de ocorrência em torno de 34% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 51,86 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 2,72 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 5,93 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 31% e no período seco 69% do total do potencial eólica. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 118,00% (Tabela 6.11).

Tabela 6.11. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Icó.

Mês	VDP <sub>prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,90	2	2,85	2,15	2,62	39	5,09
Fevereiro	1,80	2	2,48	1,96	2,43	27	3,09
Março	1,80	2	2,31	1,98	2,15	23	1,80
Abril	1,60	6	1,79	2,15	1,92	28	1,47
Mai	1,70	6	1,59	2,08	2,09	26	1,77
Junho	1,80	5	1,93	2,34	2,52	28	3,06
Julho	1,90	5	1,60	2,35	2,98	45	8,06
Agosto	2,00	5	2,35	2,67	3,00	35	5,89
Setembro	1,90	4	2,36	2,45	2,63	36	4,32
Outubro	1,80	2	2,87	2,12	2,70	31	4,43
Novembro	1,80	2	2,89	2,18	2,77	42	6,42
Dezembro	1,90	2	2,86	2,18	2,72	44	6,41
<b>Média</b>	<b>1,82</b>	<b>DP2</b>	<b>2,32</b>	<b>2,22</b>	<b>2,54</b>	<b>34</b>	<b>4,32</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	51,86

Na estação de Iguatu, o mês de novembro apresentou a máxima VDP<sub>prev</sub>, com 3,57 m/s, enquanto a média anual foi de 2,11 m/s. A máxima VDP<sub>pred</sub> foi detectada no mês de agosto, com 3,64 m/s e a média anual foi de 2,69 m/s. Essa condição de vento não permite aproveitamento eólico, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Sudeste (DP4) com média de ocorrência em torno de 26% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 76,21 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 4,17 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 8,52 W/m<sup>2</sup>, representando para o período úmido 33% e para o período seco 67% do total do potencial eólico. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 104,32% (Tabela 6.12).

Tabela 6.12. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Iguatu.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,15	6	2,05	1,60	2,26	1	1,19
Fevereiro	1,95	8	2,05	1,62	2,30	0,6	0,74
Março	1,95	8	2,05	1,62	2,30	0,6	0,74
Abril	1,35	4	2,25	2,24	2,54	45	5,09
Mai	1,42	4	2,64	2,12	2,97	48	5,42
Junho	1,51	4	2,91	2,25	3,28	49	11,86
Julho	1,84	5	3,38	2,34	3,81	39	14,32
Agosto	2,12	4	3,64	3,01	4,07	49	19,00
Setembro	2,06	4	3,43	2,78	3,84	41	13,88
Outubro	2,82	1	3,14	2,84	3,52	0,5	1,29
Novembro	3,57	1	2,39	2,07	2,70	0,4	0,58
Dezembro	2,59	6	2,45	2,14	2,76	14	2,10
<b>Média</b>	<b>2,11</b>	<b>DP4</b>	<b>2,69</b>	<b>2,22</b>	<b>3,03</b>	<b>26</b>	<b>6,35</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	76,21

Para a estação de Lavras de Mangabeira, os meses de agosto e outubro destacaram-se com os mesmos valores de VDP<sub>Prev</sub> (2,8 m/s), e a média anual foi de 2,44 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de outubro, com 3,36 m/s e a média anual foi de 2,92 m/s. Essa condição de vento não permite aproveitamento eólico, pois se situou na classe <1. A direção predominante foi de Leste (DP3) com uma média de ocorrência em torno de 38% durante o período estudado. O potencial eólico encontrado foi de 156,26 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 5,88 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 20,16 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 23% e no período seco 77% do total do potencial. Por outro lado, o ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 242,86%. Todas essas considerações são sumarizadas na Tabela 6.13.

Tabela 6.13. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Lavras de Mangabeira.

<b>Mês</b>	<b>VDPrev</b> <b>(m/s)</b>	<b>DPv</b>	<b>VDPred</b> <b>(m/s)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>FR</b> <b>(%)</b>	<b>POT</b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>
Janeiro	2,20	3	2,72	2,46	2,74	23	3,06
Fevereiro	2,10	3	2,93	2,20	2,64	24	3,16
Março	2,10	2	2,80	2,48	2,54	23	2,42
Abril	1,80	4	2,36	2,90	2,26	20	1,40
Mai	2,20	5	2,69	2,51	3,17	42	8,75
Junho	2,60	5	2,66	2,83	3,76	51	16,46
Julho	2,70	5	2,36	2,66	4,64	67	41,53
Agosto	2,80	5	3,20	3,12	4,68	63	37,19
Setembro	3,00	5	3,32	3,22	4,14	46	18,54
Outubro	2,80	3	3,36	2,91	3,59	32	8,99
Novembro	2,70	3	3,49	2,88	3,53	35	9,36
Dezembro	2,30	3	3,14	2,53	3,02	30	5,34
<b>Média</b>	<b>2,44</b>	<b>DP3</b>	<b>2,92</b>	<b>2,72</b>	<b>3,39</b>	<b>38</b>	<b>13,02</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	156,26

A avaliação do comportamento do vento e a análise do potencial resultante revelam o seguinte para a mesorregião do Centro-Sul Cearense: (i) um pequeno espalhamento na rosa-dos-ventos, praticamente unidirecional: de Leste para Sudeste; (ii) foi detectado que no período seco a variação é de mais de 100% do total sobre a potência do período úmido; (iii) nas estações pode ser observado um dualismo extremo entre duas estações em termos de expressividade no potencial; (iv) a mesorregião apresenta poucas condições com base nos dados das estações disponíveis para aproveitamento em pequenos projetos eólicos, pois predominou em todas as estações a velocidade inferior a 3 m/s; (v) no cômputo da potência a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull não apresentaram oscilações significativas; (vi) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Icó. Por sua vez, a estação de Lavras de Mangabeira foi a que registrou a maior potência eólica; e (vii) essas áreas conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre julho a agosto e as de mínimas entre fevereiro a maio.











A avaliação do comportamento do vento e do resultado do potencial na mesorregião Metropolitana de Fortaleza revela o seguinte: (i) não houve espalhamento na rosa-dos-ventos; (ii) a persistência da direção do vento flui integralmente da DP para Leste; (iii) no período seco a variação foi maior de 100% do total sobre a potência do período úmido, embora fossem encontrados casos de variação inferior a 100%; (iv) as diferenças da potência entre as estações como pode ser observado não foram tão expressivas, variando entre 100 W/m<sup>2</sup> e 300 W/m<sup>2</sup>; (iv) no cômputo da potência a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull apresentaram pequena oscilação, porém não muito significativas; (v) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica anual foi Aquiraz. Por sua vez, a estação de Maranguape foi o que registrou a maior potência; e (vi) as estações analisadas nessa mesorregião conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre agosto e dezembro e as de mínimas entre fevereiro e junho.

**A Mesorregião Noroeste cearense:** a área de estudo dessas mesorregião é composta pelas estações de Acaraú, Barroquinha, Granja, Groiaras, Ipu, Irauçuba, Santa Quitéria, São Benedito, Sobral e Ubajara.

Na estação de Acaraú, o mês de setembro destacou-se com a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 4,8 m/s, enquanto que a média anual foi de 3,6 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de outubro, com 6,43 m/s e apresentou média anual de 5,28 m/s. Essa condição de vento permite grande aproveitamento eólico, pois se situou na classe 2, correspondendo à densidade de potência de 150 W/m<sup>2</sup>. A direção predominante foi de Leste (DP3) com média de ocorrência em torno de 64% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 752,01 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 32,26 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 93,08 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 26% e no período seco 74% do total do potencial. Essa região apresenta um excelente potencial com relação ao aproveitamento para médios e grandes projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 5 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 188,53%. Todas essas considerações são sumarizadas na Tabela 6.19.

Tabela 6.19. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Acaraú.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	3,00	3	5,43	3,13	5,46	74	69,33
Fevereiro	3,10	3	4,80	3,02	4,89	74	50,20
Março	2,90	3	4,44	2,26	4,01	50	22,37
Abril	2,70	3	4,33	2,42	3,85	38	14,41
Mai	2,60	4	4,42	2,39	3,80	45	16,50
Junho	3,10	4	4,45	2,62	4,08	49	20,71
Julho	4,00	3	5,20	3,28	5,04	57	41,52
Agosto	4,30	3	5,98	4,43	6,16	70	86,82
Setembro	4,80	3	6,31	5,06	6,63	73	110,68
Outubro	4,70	3	6,43	4,64	6,73	78	124,48
Novembro	4,50	3	6,09	4,17	6,41	79	111,04
Dezembro	3,50	3	5,51	3,94	5,76	82	83,89
<b>Média</b>	<b>3,60</b>	<b>DP3</b>	<b>5,28</b>	<b>3,45</b>	<b>5,23</b>	<b>64</b>	<b>62,67</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	752,01

Para a estação de Barroquinha, o mês de outubro foi o que apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 5,00 m/s, enquanto a média anual foi de 3,58 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de dezembro, com 4,56 m/s, e a média anual foi de 3,74 m/s. Essa condição de vento não permite grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe <1. A direção predominante foi de Leste (DP3) com uma média de ocorrência em torno de 48% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 386,64 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 16,09 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 48,34 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 25% e no período seco 75% do total do potencial. Essa região apresenta um bom potencial e com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 200,43% (Tabela 6.20).

Tabela 6.20. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Barroquinha.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	3,40	1	4,08	2,25	4,73	51	37,42
Fevereiro	3,40	4	3,71	2,19	4,19	25	13,24
Março	2,60	4	3,49	2,07	3,39	35	10,28
Abril	2,20	4	3,08	1,87	2,83	52	9,88
Mai	2,30	4	2,51	1,29	2,47	52	12,52
Junho	2,60	3	2,94	1,86	3,11	52	13,21
Julho	3,60	3	3,44	2,10	4,12	46	23,73
Agosto	3,90	3	3,74	2,68	4,93	52	38,52
Setembro	4,90	3	4,11	2,77	5,55	58	60,26
Outubro	5,00	3	4,52	2,78	5,95	47	60,57
Novembro	5,10	1	4,70	2,71	5,86	5	61,34
Dezembro	4,00	1	4,56	2,49	5,22	5	45,61
<b>Média</b>	<b>3,58</b>	<b>DP3</b>	<b>3,74</b>	<b>2,26</b>	<b>4,36</b>	<b>48</b>	<b>32,22</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	386,64

Para a estação de Granja, o mês de novembro apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 4,8 m/s, enquanto a média anual foi de 3,45 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada também no mês de novembro, com 4,92 m/s, e a média anual foi de 3,67 m/s. Essa condição de vento não permite grande aproveitamento eólico a 10 m de altura se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Leste (DP3) com média de ocorrência em torno de 49% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado foi de 262,03 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média do foi de 10,26 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 33,41 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 23% e no período seco 77% do total do potencial. Essa região apresenta um bom potencial com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 225,63% (Tabela 6.21).

Tabela 6.21. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Granja.

<b>Mês</b>	<b>VDP<sub>prev</sub></b> <b>(m/s)</b>	<b>DP<sub>v</sub></b>	<b>VDP<sub>pred</sub></b> <b>(m/s)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>FR</b> <b>(%)</b>	<b>POT</b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>
Janeiro	3,10	3	3,81	2,31	4,07	41	18,78
Fevereiro	2,80	3	3,54	2,12	3,47	32	9,90
Março	2,30	4	2,72	2,14	2,74	44	6,63
Abril	2,20	4	2,69	2,29	2,66	51	6,65
Mai	2,40	4	2,69	2,39	2,78	57	8,18
Junho	3,10	4	3,19	2,50	3,30	49	11,38
Julho	3,00	4	3,30	2,31	3,62	48	15,71
Agosto	4,00	4	3,81	3,03	4,29	45	20,67
Setembro	4,60	3	4,30	3,20	4,89	48	31,93
Outubro	5,00	3	4,84	3,35	5,40	57	50,53
Novembro	4,80	3	4,92	3,13	5,33	58	50,64
Dezembro	4,10	3	4,23	2,63	4,61	50	30,97
<b>Média</b>	<b>3,45</b>	<b>DP3</b>	<b>3,67</b>	<b>2,62</b>	<b>3,93</b>	<b>49</b>	<b>21,84</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	262,03

Para a estação de Groiaras, os meses de janeiro, setembro, outubro e dezembro destacaram-se com valores máximos de VDP<sub>prev</sub> (1,70 m/s), e a média anual foi de 1,51 m/s. A máxima VDP<sub>pred</sub> foi detectada no mês de novembro, com 3,02 m/s, e a média anual foi de 2,29 m/s. Essa condição de vento não permite grande aproveitamento eólico, se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Leste (DP3) com média de ocorrência em torno de 32% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado foi de 58,92 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 2,72 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 7,10 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 28% e no período seco 72% do total do potencial. Essa região apresenta fraco potencial com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi inferior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 180,15% (Tabela 6.22).

Tabela 6.22. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Groiaras.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,70	3	2,58	1,55	2,45	29	4,79
Fevereiro	1,50	2	2,29	1,34	2,11	28	3,87
Março	1,40	2	2,01	1,25	1,72	20	1,80
Abril	1,20	3	1,80	1,38	1,52	22	1,09
Maio	1,20	5	1,58	1,36	1,50	26	1,26
Junho	1,30	4	1,93	1,35	1,90	35	3,46
Julho	1,50	4	2,12	1,49	2,26	42	5,68
Agosto	1,60	4	1,94	1,84	2,59	36	5,35
Setembro	1,70	4	2,57	2,05	2,85	28	4,95
Outubro	1,70	3	2,93	2,02	3,10	35	7,99
Novembro	1,60	3	3,02	1,83	3,12	40	10,59
Dezembro	1,70	3	2,78	1,62	2,81	35	8,04
<b>Média</b>	<b>1,51</b>	<b>DP3</b>	<b>2,29</b>	<b>1,59</b>	<b>2,33</b>	<b>32</b>	<b>4,91</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	58,92

Na estação de Ipu, o mês de dezembro apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 2,5 m/s, e a média anual foi de 1,93 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de outubro, com 3,71 m/s, e a média anual foi de 2,71 m/s. Essa condição de vento não permite grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Nordeste (DP2), com uma média de ocorrência em torno de 35% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 85,30 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 3,99 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 10,22 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 28% e no período seco 72% do total do potencial. Essa região apresenta um fraco potencial com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi inferior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 156,14% (Tabela 6.23).

Tabela 6.23. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Ipu.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,00	2	3,27	1,97	3,21	43	11,15
Fevereiro	1,90	3	2,74	1,51	2,56	28	5,40
Março	1,50	2	2,69	1,43	2,21	33	4,63
Abril	1,40	7	1,92	1,50	1,53	19	0,80
Mai	1,50	7	1,68	1,72	1,57	26	0,96
Junho	1,50	7	1,69	1,83	1,58	29	0,98
Julho	1,90	7	1,70	1,78	2,06	39	3,05
Agosto	2,20	4	2,78	2,02	2,53	20	2,50
Setembro	2,30	2	3,08	2,33	3,05	24	4,73
Outubro	2,30	2	3,71	2,86	3,88	47	16,59
Novembro	2,20	2	3,68	2,90	3,84	49	16,74
Dezembro	2,50	2	3,62	3,25	3,84	55	17,71
<b>Média</b>	<b>1,93</b>	<b>DP2</b>	<b>2,71</b>	<b>2,09</b>	<b>2,66</b>	<b>35</b>	<b>7,11</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	85,30

Para a estação de Irauçuba, o mês de setembro apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 5,3 m/s, e a média anual foi de 3,48 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de outubro, com 5,11 m/s, e a média anual foi de 3,97 m/s. Essa condição de vento permite médio aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe  $\leq 1$ . A direção predominante foi de Sudeste (DP4), com uma média de ocorrência de 54% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado foi de 388,57 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 18,88 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 44,88 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 31% e no período seco 69% do total do potencial. Essa região apresenta um bom potencial com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 125,75% (Tabela 6.24).

Tabela 6.24. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Irauçuba.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,70	4	3,76	2,65	4,44	47	25,51
Fevereiro	2,60	4	3,49	2,68	4,28	48	23,28
Março	2,30	4	3,25	1,80	3,57	39	15,59
Abril	2,10	4	2,90	2,32	3,33	52	13,19
Mai	2,20	4	3,05	2,11	3,41	64	18,60
Junho	2,90	4	3,20	2,14	3,80	58	23,08
Julho	3,60	4	3,93	2,72	4,54	68	39,33
Agosto	4,10	3	4,61	4,29	5,22	57	43,14
Setembro	5,30	3	5,05	4,44	5,56	53	48,65
Outubro	4,30	4	5,11	4,98	5,71	56	54,91
Novembro	5,10	4	4,83	4,43	5,54	53	48,10
Dezembro	4,60	4	4,44	4,02	5,05	50	35,13
<b>Média</b>	<b>3,48</b>	<b>DP4</b>	<b>3,97</b>	<b>3,21</b>	<b>4,54</b>	<b>54</b>	<b>32,38</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	388,57

A estação de Santa Quitéria apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub> no mês de outubro, com 2,10 m/s, média anual de 1,64 m/s. Por outro lado, a máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada também no mês de outubro, com 3,83 m/s, e a média anual foi de 2,94 m/s. Essa condição de vento não permite grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Leste (DP3) com média de ocorrência de 52% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 184,13 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 8,64 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 22,05 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 28% e no período seco 72% do total do potencial eólico. Essa região apresenta um fraco potencial com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi inferior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 155,21% (Tabela 6.25).

Tabela 6.25. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Santa Quitéria.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,90	3	3,05	1,91	3,00	0,48	10,66
Fevereiro	1,50	3	2,90	1,47	2,55	0,48	9,64
Março	1,60	3	3,04	1,26	2,18	0,30	5,30
Abril	1,30	3	2,20	1,24	1,80	0,32	3,35
Mai	1,30	4	2,04	1,25	1,97	0,42	5,53
Junho	1,10	4	1,96	1,31	2,68	0,58	17,32
Julho	1,40	4	2,46	1,58	3,27	0,64	24,02
Agosto	1,70	4	3,02	1,99	3,47	0,56	18,22
Setembro	1,90	3	3,47	2,44	3,77	0,47	16,66
Outubro	2,10	3	3,83	2,74	4,06	0,64	25,95
Novembro	1,90	3	3,72	2,78	4,05	0,70	28,00
Dezembro	2,00	3	3,53	2,29	3,56	0,63	19,40
<b>Média</b>	<b>1,64</b>	<b>DP3</b>	<b>2,94</b>	<b>1,86</b>	<b>3,03</b>	<b>0,52</b>	<b>15,34</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	184,13

Para estação de São Benedito, o mês de outubro apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 5,4 m/s, e média anual de 3,72 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada também no mês de outubro, com 5,60 m/s e a média anual foi de 4,53 m/s. Essa condição de vento permite grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe 1, que representa uma densidade de potência da ordem de 100 W/m<sup>2</sup>. A direção predominante foi de Leste (DP3) com uma média de ocorrência em torno de 76% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 665,52 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 39,79 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 77,39 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 34% e no período seco 66% do total do potencial. Essa região apresenta um excelente potencial para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 4,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 94,49%. Todas essas considerações são sumarizadas na Tabela 6.26.

Tabela 6.26. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de São Benedito.

<b>Mês</b>	<b>VDP<sub>Prev</sub></b> <b>(m/s)</b>	<b>DP<sub>v</sub></b>	<b>VDP<sub>Pred</sub></b> <b>(m/s)</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>FR</b> <b>(%)</b>	<b>POT</b> <b>(W/m<sup>2</sup>)</b>
Janeiro	3,00	3	4,65	3,02	4,89	78	52,87
Fevereiro	4,10	3	4,33	3,59	4,72	75	43,37
Março	3,00	3	3,92	3,08	4,17	67	27,90
Abril	3,50	3	3,85	3,05	4,26	76	34,06
Mai	2,60	3	4,20	3,03	4,49	82	43,34
Junho	3,30	3	4,20	3,35	4,51	77	39,79
Julho	2,80	3	3,79	2,85	4,13	62	26,40
Agosto	3,40	3	4,26	3,14	4,66	68	39,54
Setembro	4,40	3	4,99	3,12	5,51	70	67,95
Outubro	5,40	3	5,60	3,94	6,16	83	104,82
Novembro	5,00	3	5,55	3,63	6,10	87	108,02
Dezembro	4,20	3	5,06	3,66	5,50	85	77,38
<b>Média</b>	<b>3,72</b>	<b>DP3</b>	<b>4,53</b>	<b>3,29</b>	<b>4,92</b>	<b>76</b>	<b>55,46</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	665,52

Na estação de Sobral, o mês de janeiro apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com 2,5 m/s, e a média anual foi de 2,02 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de outubro, com 4,81 m/s, e a média anual foi de 3,47 m/s. Essa condição de vento não permite grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Nordeste (DP2) com uma média de ocorrência de 41% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 173,14 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 8,29 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 20,56 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 29% e no período seco 71% do total do potencial. Essa região apresenta um bom potencial com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 3,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 148,00% (Tabela 6.27).

Tabela 6.27. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Sobral.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,50	2	4,16	2,12	3,96	51	23,36
Fevereiro	2,10	2	3,64	1,97	3,33	52	15,13
Março	1,70	2	3,10	1,58	2,37	33	4,70
Abril	1,50	2	2,28	1,62	1,93	32	2,40
Mai	1,50	2	2,08	1,68	1,84	29	1,80
Junho	1,60	2	1,93	1,71	2,02	30	2,37
Julho	1,80	2	2,55	1,79	2,52	29	4,14
Agosto	2,00	2	3,65	1,94	3,27	37	10,35
Setembro	2,30	2	4,2	2,14	3,94	42	18,72
Outubro	2,40	2	4,81	2,17	4,33	44	25,83
Novembro	2,40	2	4,67	2,31	4,46	52	31,79
Dezembro	2,40	2	4,57	2,31	4,39	56	32,49
<b>Média</b>	<b>2,02</b>	<b>DP2</b>	<b>3,47</b>	<b>1,95</b>	<b>3,20</b>	<b>41</b>	<b>14,43</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	173,14

Em relação à estação de Ubajara, o mês de outubro destacou-se com a máxima VDP<sub>Prev</sub> (6,5 m/s), enquanto a média anual foi de 4,93 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada também no mês de outubro, com 7,14 m/s, e a média anual foi de 6,44 m/s. Essa condição de vento permite grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe 5, que representa a densidade de potência aproximadamente de 300 W/m<sup>2</sup>. A direção predominante foi de Leste (DP3) com uma média de ocorrência de 47% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado encontrado foi de 794,91 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 54,42 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco foi de 78,06 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 41% e no período seco 59% do total do potencial. Essa região apresenta um excelente potencial e com relação ao aproveitamento para pequenos projetos eólicos, pois o vento médio foi superior a 6,00 m/s. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 87,03% (Tabela 6.28).

Tabela 6.28. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Ubajara.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	5,00	5	4,25	2,81	5,69	20	22,37
Fevereiro	5,20	6	4,44	3,25	5,73	26	27,56
Março	4,20	6	4,3	2,71	4,94	36	26,59
Abril	4,60	3	4,99	2,77	5,34	57	52,42
Mai	3,10	3	5,54	2,53	5,67	77	89,52
Junho	4,60	3	5,54	2,78	5,97	84	108,04
Julho	2,70	3	5,56	2,13	5,33	68	75,33
Agosto	5,00	3	5,96	2,66	6,10	52	73,04
Setembro	6,20	3	6,86	2,91	7,06	42	88,27
Outubro	6,50	3	7,14	3,16	8,13	37	112,92
Novembro	6,40	3	6,84	3,26	7,36	33	74,51
Dezembro	5,70	3	6,26	3,47	6,54	28	44,28
<b>Média</b>	<b>4,93</b>	<b>DP3</b>	<b>6,44</b>	<b>2,87</b>	<b>6,15</b>	<b>47</b>	<b>66,24</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	794,91

A avaliação do comportamento do vento e do potencial eólico na mesorregião Noroeste cearense revela o seguinte: (i) pequeno espalhamento na rosa-dos-ventos, praticamente 70% de Leste; (ii) a persistência da direção do vento flui em boa parte do tempo de Nordeste para Sudeste; (iii) que no período seco, a variação é de mais de 100% do total sobre a potência do período úmido; (iv) as diferenças da potência entre as estações como pode ser observado foram expressivas e variando de 58,92 W/m<sup>2</sup> a 794,91 W/m<sup>2</sup>; (v) no cômputo da potência, a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull não apresentaram oscilações significativas; (vi) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Groiaras. Por sua vez, a estação de Ubajara foi o que registrou a maior potência eólica; e (vii) as estações dessa mesorregião conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre setembro a novembro e as de mínimas entre fevereiro a abril.















O comportamento do vento e do resultado do potencial na mesorregião de Jaguaribe revela o seguinte: (i) grande espalhamento na rosa-dos-ventos; (ii) persistência da direção do vento flui em boa parte do tempo de Norte para Sudeste; (iii) que no período seco a variação é de mais de 100% do total sobre a potência do período úmido, cuja condição é caracterizada no Atlas Eólico do Ceará; (iv) as diferenças da potência entre as estações, como pode ser observado, não foram tão expressivas; (v) no cômputo da potência, a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull não apresentaram oscilações significativas; (vi) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Jaguaribe. Por sua vez, a estação de Icapuí foi a que registrou a maior potência eólica; e (vii) em termos gerais, pode-se dizer que essas estações conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre agosto a novembro e as de mínimas entre fevereiro a maio.

**A Mesorregião dos Sertões Cearenses:** essa área de estudo é composta pelas estações de Ibaretama, Crateús, Quixadá, Quixeramobim e Senador Pompeu.

Na estação de Ibaretama os meses de setembro, outubro e novembro apresentaram valores de  $VDP_{prev}$  de 3,60 m/s, enquanto a média anual foi de 2,79 m/s. A máxima  $VDP_{pred}$  foi detectada no mês de outubro, com 4,97 m/s, e a média anual foi de 3,81 m/s. Essa condição de vento não permite um grande aproveitamento eólico, pois situou na classe  $< 1$ . A direção predominante foi de Nordeste (DP2) com média de ocorrência de 41% durante o período estudado. O potencial eólico acumulado no período estudado foi de 225,79 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, a média foi de 12,34 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco a média foi de 25,29 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 33% e no período seco 67% do total do potencial acumulado. O ganho representativo do período seco para úmido da potência é de 104,94% (Tabela 6.36).

Tabela 6.36. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Ibaretama.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	3,00	2	4,31	2,98	4,51	49	26,38
Fevereiro	2,70	2	3,73	2,60	3,98	44	17,53
Março	2,20	2	3,36	1,99	3,39	38	11,52
Abril	2,10	2	2,76	2,46	3,03	30	5,58
Mai	2,00	4	2,67	2,44	2,90	35	5,67
Junho	2,10	4	2,87	2,68	3,16	37	7,33
Julho	2,50	4	3,46	2,87	3,73	36	11,28
Agosto	2,80	4	3,90	3,21	4,38	38	18,56
Setembro	3,60	2	4,38	3,70	4,73	39	22,43
Outubro	3,60	2	4,97	3,56	5,06	43	31,03
Novembro	3,60	2	4,75	3,50	5,12	50	37,45
Dezembro	3,30	2	4,58	3,31	4,79	50	30,99
<b>Média</b>	<b>2,79</b>	<b>DP2</b>	<b>3,81</b>	<b>2,94</b>	<b>4,07</b>	<b>41</b>	<b>18,82</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	225,79

Para a estação de Crateús, o mês de outubro apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com valor médio de 3,60 m/s, enquanto a média anual foi de 2,65 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada também no mês de outubro, com 4,19 m/s e a média anual foi de 3,48 m/s. De acordo com o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, essa condição de vento não permite aproveitamento eólico, pois se situou na classe <1. A direção predominante foi de Sudeste (DP4) com uma média de ocorrência em torno de 37% durante o período estudado. O potencial eólico total acumulado encontrado foi de 168,53 W/m<sup>2</sup>, e considerando os períodos úmidos e seco as médias foram 10,54 e 17,54 W/m<sup>2</sup>, respectivamente, representando no período úmido 38% e no período seco 62% do total do potencial eólico. Por outro lado, o ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 66,41% (Tabela 6.37).

Tabela 6.37. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Crateús.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,50	2	3,08	2,43	3,87	45	16,91
Fevereiro	2,40	3	2,89	2,17	3,26	44	10,87
Março	2,20	4	2,74	2,37	3,09	38	7,39
Abril	2,10	4	2,86	2,22	3,22	34	8,00
Maio	1,90	4	3,13	2,51	3,52	37	10,43
Junho	2,10	4	3,71	2,88	4,15	22	9,64
Julho	2,50	4	3,92	2,81	4,40	25	12,61
Agosto	2,80	4	3,96	2,77	4,44	33	17,81
Setembro	3,20	3	4,08	3,02	4,56	35	19,40
Outubro	3,60	3	4,19	3,44	4,67	42	23,69
Novembro	3,20	3	3,59	3,21	4,01	44	16,14
Dezembro	3,30	2	3,62	3,03	4,04	41	15,57
<b>Média</b>	<b>2,65</b>	<b>DP4</b>	<b>3,48</b>	<b>2,74</b>	<b>3,94</b>	<b>37</b>	<b>14,04</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	168,53

Na estação de Quixadá, o mês de outubro distinguiu-se como aquele que apresentou a máxima VDP<sub>Prev</sub>, com valor de 3,80 m/s, enquanto a média anual foi de 2,40 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi no mês de outubro, com 4,16 m/s e a média anual foi de 3,48 m/s. De acordo com o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, essa condição de vento não permite aproveitamento eólico, pois se situou na classe < 1. A direção predominante foi de Sudeste (DP4) com uma média de ocorrência em torno de 38% durante o período estudado. O potencial eólico total acumulado encontrado foi de 136,08 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, entre janeiro e junho, a média foi de 8,37 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco, entre julho e dezembro, foi de 14,31 W/m<sup>2</sup>, representando para o período úmido 37% e para o período seco 63% do total do potencial eólica. Por outro lado, o ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 70,97% (Tabela 6.38).

Tabela 6.38. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDPrev), velocidade do vento na direção predominante (VDPred), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Quixadá.

Mês	VDPrev (m/s)	DPv	VDPred (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,90	2	3,63	2,92	3,76	40	12,70
Fevereiro	2,00	3	3,83	2,01	3,55	38	13,20
Março	2,00	2	3,12	1,82	3,05	31	7,78
Abril	1,50	4	3,01	1,57	2,49	35	5,80
Mai	1,50	4	2,71	1,42	2,39	35	6,16
Junho	1,50	4	2,61	1,57	2,32	33	4,54
Julho	1,80	4	3,24	1,76	2,79	35	6,92
Agosto	2,10	4	3,64	2,19	3,35	40	10,75
Setembro	2,70	4	3,84	2,66	3,83	35	12,32
Outubro	3,80	3	4,16	3,63	4,40	42	19,71
Novembro	3,70	3	4,10	3,43	4,38	44	20,67
Dezembro	3,30	2	3,92	3,35	4,07	41	15,48
<b>Média</b>	<b>2,40</b>	<b>DP4</b>	<b>3,48</b>	<b>2,36</b>	<b>3,36</b>	<b>38</b>	<b>11,34</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	136,08

Para a estação de Quixeramobim, o mês de novembro destacou-se com uma VDPred de 4,40 m/s, e média anual de 2,38 m/s. Por outro lado, a máxima VDPred foi detectada também no mês de outubro, com 4,50 m/s, e a média anual foi de 2,71 m/s. Essa condição de vento não permite aproveitamento eólico, se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência, pois se situou na classe < 1. A direção predominante do vento foi de Leste (DP3) com uma média de ocorrência em torno de 39% durante o período estudado. O potencial eólico total acumulado encontrado foi de 194,47 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido na região, entre janeiro e junho, a média foi de 11,81 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco, entre julho e dezembro, foi de 20,60 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 36% e no período seco 64% do total do potencial eólico. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 74,42% (Tabela 6.39).

Tabela 6.39. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Quixeramobim.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	2,70	2	3,33	2,46	3,57	38	11,36
Fevereiro	2,10	2	2,23	0,80	2,22	46	48,54
Março	0,10	2	0,02	0,69	0,09	59	0,01
Abril	2,50	3	2,98	2,76	2,97	31	5,01
Mai	1,60	3	2,05	1,31	1,95	27	3,09
Junho	1,10	4	1,80	0,88	1,29	22	2,84
Julho	1,30	4	1,34	0,75	1,32	25	8,03
Agosto	1,80	4	2,45	1,17	2,74	33	14,25
Setembro	3,10	3	3,62	2,16	3,93	39	17,00
Outubro	4,10	3	4,16	5,19	4,72	52	28,43
Novembro	4,40	3	4,50	5,72	4,93	54	34,03
Dezembro	3,70	3	3,98	2,97	4,28	47	21,84
<b>Média</b>	<b>2,38</b>	<b>DP3</b>	<b>2,71</b>	<b>2,24</b>	<b>2,84</b>	<b>39</b>	<b>16,20</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	194,45

Na estação de Senador Pompeu, os meses de agosto, setembro, outubro e novembro destacaram-se com máximos de VDP<sub>Prev</sub>, com valores iguais de 1,70 m/s, enquanto a média anual foi de 1,52 m/s. A máxima VDP<sub>Pred</sub> foi detectada no mês de novembro, com 3,87 m/s, e a média anual foi de 2,95 m/s. Essa condição de vento não permite um grande aproveitamento eólico se levado em consideração o sistema de classificação de velocidade de ventos e potência. A direção predominante do vento foi de Leste (DP3) com uma média de ocorrência em torno de 43% durante o período estudado. O potencial eólico total acumulado encontrado foi de 85,82 W/m<sup>2</sup>, e considerando o período úmido, a média foi de 5,39 W/m<sup>2</sup>, enquanto que no período seco a média foi de 8,91 W/m<sup>2</sup>, representando no período úmido 38% e no período seco 62% do total do potencial acumulado. O ganho representativo do período seco para úmido da potência foi de 65,31% (Tabela 6.40).

Tabela 6.40. Valores médios mensais da velocidade do vento direção predominante (VDP<sub>Prev</sub>), velocidade do vento na direção predominante (VDP<sub>Pred</sub>), parâmetros de Weibull (A e B), potência eólica (POT) e frequência relativa do vento (FR) para a estação de Senador Pompeu.

Mês	VDP <sub>Prev</sub> (m/s)	DP <sub>v</sub>	VDP <sub>Pred</sub> (m/s)	A	B	FR (%)	POT (W/m <sup>2</sup> )
Janeiro	1,60	2	3,36	1,88	3,04	37	8,75
Fevereiro	1,50	2	3,33	1,62	2,87	37	8,84
Março	1,60	2	3,18	1,42	2,30	31	4,95
Abril	1,20	4	2,14	1,37	1,88	34	3,19
Mai	1,30	4	2,16	1,60	2,01	37	3,16
Junho	1,20	4	1,91	1,61	2,03	39	3,45
Julho	1,50	4	2,31	1,84	2,33	35	3,80
Agosto	1,70	4	2,89	1,95	2,88	33	6,38
Setembro	1,70	3	3,24	2,22	3,23	34	8,12
Outubro	1,70	3	3,58	2,43	3,54	41	12,06
Novembro	1,70	3	3,87	1,93	3,38	40	12,62
Dezembro	1,60	2	3,47	1,82	3,12	39	10,45
<b>Média</b>	<b>1,52</b>	<b>DP3</b>	<b>2,95</b>	<b>1,81</b>	<b>2,72</b>	<b>37</b>	<b>7,15</b>
Soma	-	-	-	-	-	-	85,82

Com base nos dados de velocidade horária média das PCDs medidas a 10 m de altura das estações localizadas nos Sertões Cearenses, percebe-se o seguinte: (i) pequeno espalhamento na rosa-dos-ventos, praticamente unidirecional: de Nordeste para Sudeste; (ii) do período úmido para o seco a variação é menor do que 100% do total da potência do período; (iii) as diferenças da potência entre as estações não chegaram a ser expressivas; (iv) no cômputo da potência a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull não apresentaram oscilações significativas; (v) dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica foi Senador Pompeu. Por sua vez, a estação de Ibaretama foi a que registrou a maior potência eólica; e (vi) as áreas conservam um ciclo semestral bem definido, como também, as variações de máximas estão entre agosto a novembro e as de mínimas entre março a julho.

Um outro aspecto é que a sazonalidade dos ventos no Estado do Ceará é complementar ao regime hídrico predominante na geração hidrelétrica no Brasil. Como mais de 90% da produção de energia elétrica brasileira é proveniente de usinas

hidrelétricas, o potencial eólico do Estado do Ceará é máximo justamente no período de níveis mínimos de reservatórios, onde os custos associados de geração e os riscos de déficit são máximos. Uma participação de usinas eólicas no sistema elétrico poderá contribuir para a estabilização sazonal da oferta de energia.

Neste trabalho foi utilizada a forma de avaliação de ventos proposta por ASSIS et al. (1996), que considera os ventos com velocidades menores que 3,00 m/s como fracos; entre 3,00 e 5,00 m/s como moderados e aqueles com velocidade maior do que 5,00 m/s como fortes. Assim, com base nesses valores e nos dados expostos no Quadro 3.2., foi estabelecida a seguinte análise: ventos menores que 3,0 m/s não são bons para a produção de energia eólica, os ventos entre 3,0 e 4,4 m/s respondem positivamente às necessidades na implantação de pequenos projetos eólicos e acima de 4,4 m/s são aproveitáveis para grandes projetos eólicos. Com base nesses critérios, a Figura 6.1 (VDP<sub>Prev</sub>) e a Figura 6.2 (VDP<sub>Pred</sub>) exibe a viabilidade do potencial eólico estado do Ceará a 10 m de altura em todas as mesorregiões estudadas. Outras informações relevantes desse estudo são relacionadas a seguir:

- 1) A estação de Jati, localizada na mesorregião do Sul Cearense (1), distinguiu-se das demais, pois apresentou viabilidade para exploração eólica de grandes projetos.
- 2) A mesorregião do Centro-Sul Cearense (2) não apresentou vocação para pequenos projetos, em face das estações terem apresentadas velocidades do vento na direção predominante abaixo de 3,0 m/s.
- 3) A mesorregião dos Sertões Cearense (3) apresenta velocidade de vento apropriada para pequenos projetos. Nessa região, os ganhos de potência entre o período úmido e seco não foram superiores a 100%, demonstrando relativa distribuição de capacidade eólica ao longo do ano.
- 4) A Mesorregião de Jaguaribe (4) apresenta vocação para pequenos projetos, porém, Icapuí e Jaguaruana apresentaram potenciais para exploração eólica de grandes projetos.

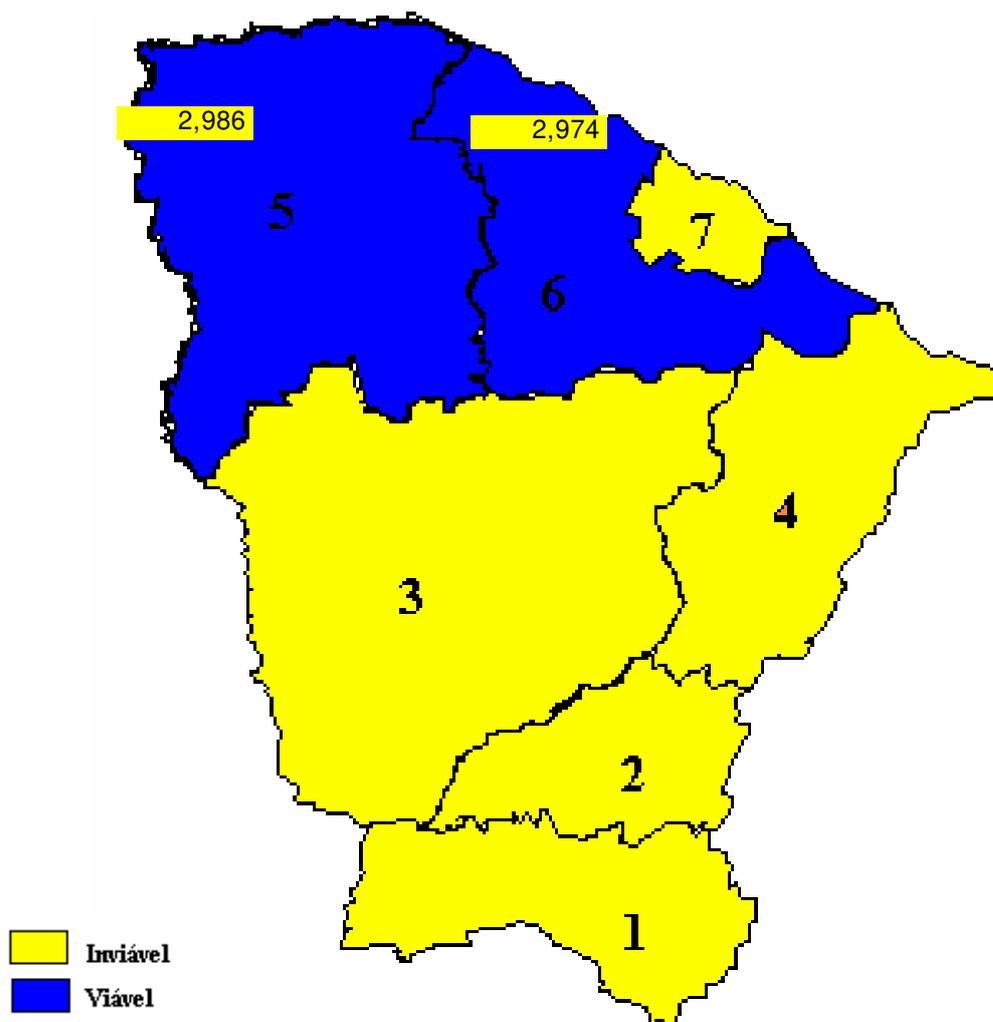


Figura 6.1. Viabilidade do potencial eólico estado do Ceará a 10 m de altura em função do vento médio (VDPrev) nas mesorregiões: (1) Sul Cearense; (2) Centro-Sul Cearense; (3) Sertões Cearenses; (4) Jaguaribe; (5) Noroeste Cearense; (6) Norte Cearense e (7) Metropolitana de Fortaleza.

5) Na Mesorregião do Noroeste Cearense (5), as estações de Acaraú, São Benedito e Ubajara, apresentam condições para grandes projetos, enquanto os demais apresentam condições apenas para pequenos projetos, exceto Santa Quitéria e Groiaras.

6) A mesorregião do Norte Cearense (6) apresenta vocação para pequenos projetos, porém, as estações de Amontada e Beberibe apresentaram viabilidades para exploração eólica em grandes projetos.

7) A Mesorregião Metropolitana de Fortaleza (7) é adequada para pequenos projetos eólicos. Nessa Mesorregião vento flui 100% da direção Leste.

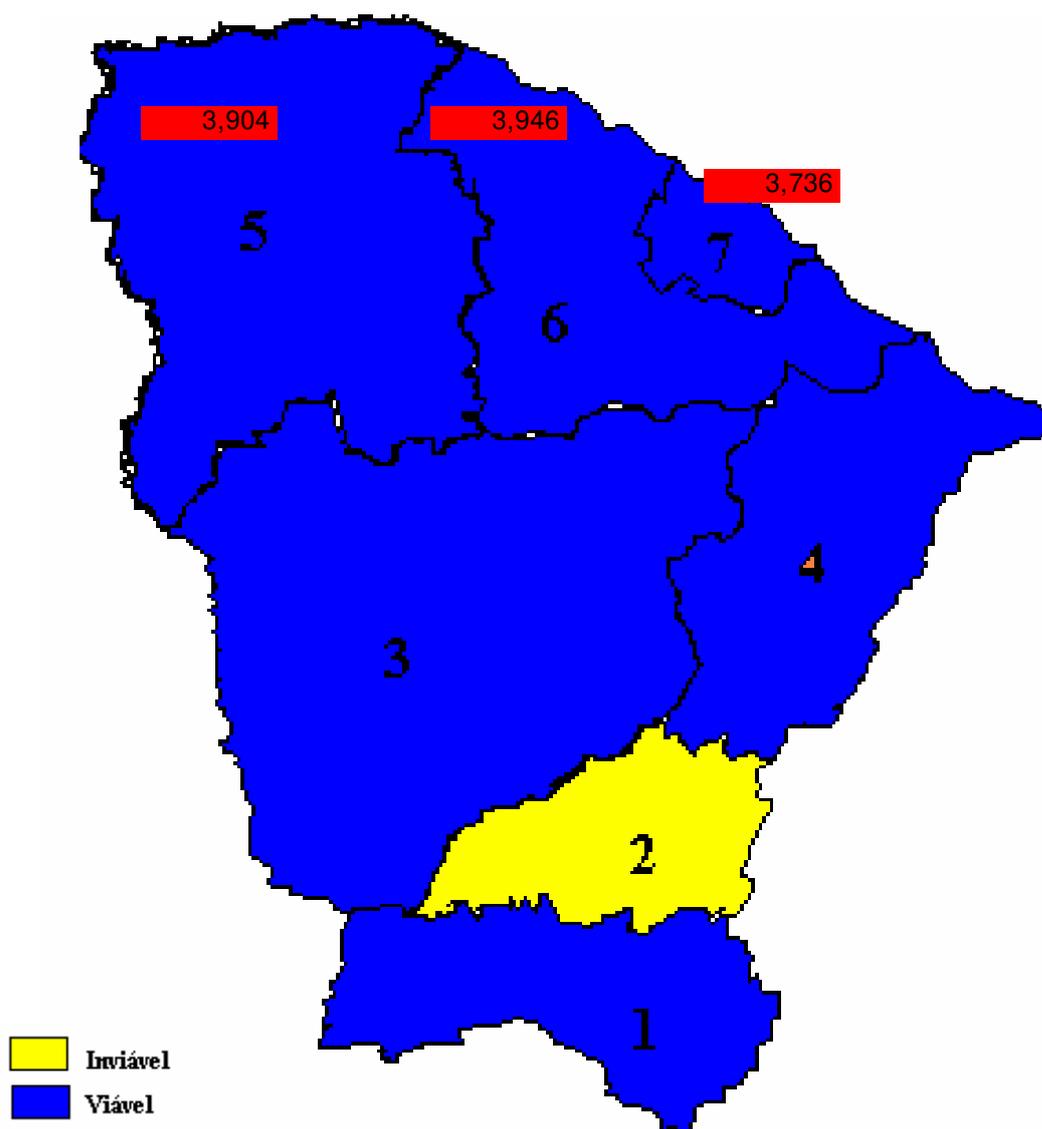


Figura 6.2. Viabilidade do potencial eólico estado do Ceará a 10 m de altura por direção predominante (VDPred) nas mesorregiões: (1) Sul Cearense; (2) Centro-Sul Cearense; (3) Sertões Cearenses; (4) Jaguaribe; (5) Noroeste Cearense; (6) Norte Cearense e (7) Metropolitana de Fortaleza.

O resultado da análise da regionalização expressa nas Figuras 6.1 e 6.2 da potencialidade eólica a 10 m de altura no estado do Ceará identificou apenas duas (02) mesorregiões onde é possível a exploração para pequenos projetos eólicos de acordo com a escala de velocidade utilizada neste trabalho para a condição de VDPred, e seis (06) para a condição de VDPred, ocorrendo em média um aumento da ordem de 32,48% na velocidade média do vento quando levando em conta a direção predominante do vento.

## 6.2. Análise da potência eólica

Com relação à potência eólica identificada com base nos dados de velocidade horária média medidas a 10 m de altura, expostas nas Tabelas 6.1 a 6.30 extraímos as informações que nos permitiram elaborar a distribuição espacial da potência eólica média com relação à direção predominante usando os recursos do Surfe 32. Genericamente, as isolinhas de potência eólica disponível foram denominadas de isodinas (REED apud ALVES, 2001). Para a potência eólica disponível, Figura 6.3, escolheu-se  $16 \text{ W/m}^2$  como incremento básico entre as isodinas, pois foi esta a que melhor delineou as características da região em função do valor da potência eólica média da região dada pela direção predominante do vento.

Os valores da potência existentes como pode ser observado nas Tabelas 6.1 a 6.30, não chegaram a ser expressivas, e entende-se que no cômputo da potência a variação e os valores dos parâmetros de forma e escala de Weibull representam oscilações significativas; é importante observar que a variação da potência não obedece à dinâmica da evolução dos valores de  $a$  e  $b$  determinado por esse trabalho, ou seja, se fosse obedecida essa mesma dinâmica os valores da potência seriam crescentes e decrescentes de acordo com a variação dos valores de  $a$  e  $b$ . O que sucede, é que no cômputo da potência eólica apresentada neste trabalho, à frequência da ocorrência de vento naquela determinada direção estabelecida para o cálculo desse potencial é que vai influenciar na distribuição desses valores de potência.

Dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica para o período estudado foi Icó ( $4,32 \text{ W/m}^2$ ). Por sua vez, a estação que registrou a maior potência eólica para o período estudado foi Amontada ( $71,09 \text{ W/m}^2$ ).

Dando ênfase às estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica mensal dentro da potência máxima foi Icó ( $8,06 \text{ W/m}^2$ ), no mês de julho. Por sua vez, a estação que registrou a maior potência eólica mensal da potência máxima registrada foi Amontada ( $129,56 \text{ W/m}^2$ ), no mês de outubro.

Com o propósito de oferecer uma visão ampla e espacial do potencial eólico do Ceará, calculou-se a densidade de potência média que resultou na Figura 6.3, cuja análise possibilitou as seguintes observações:

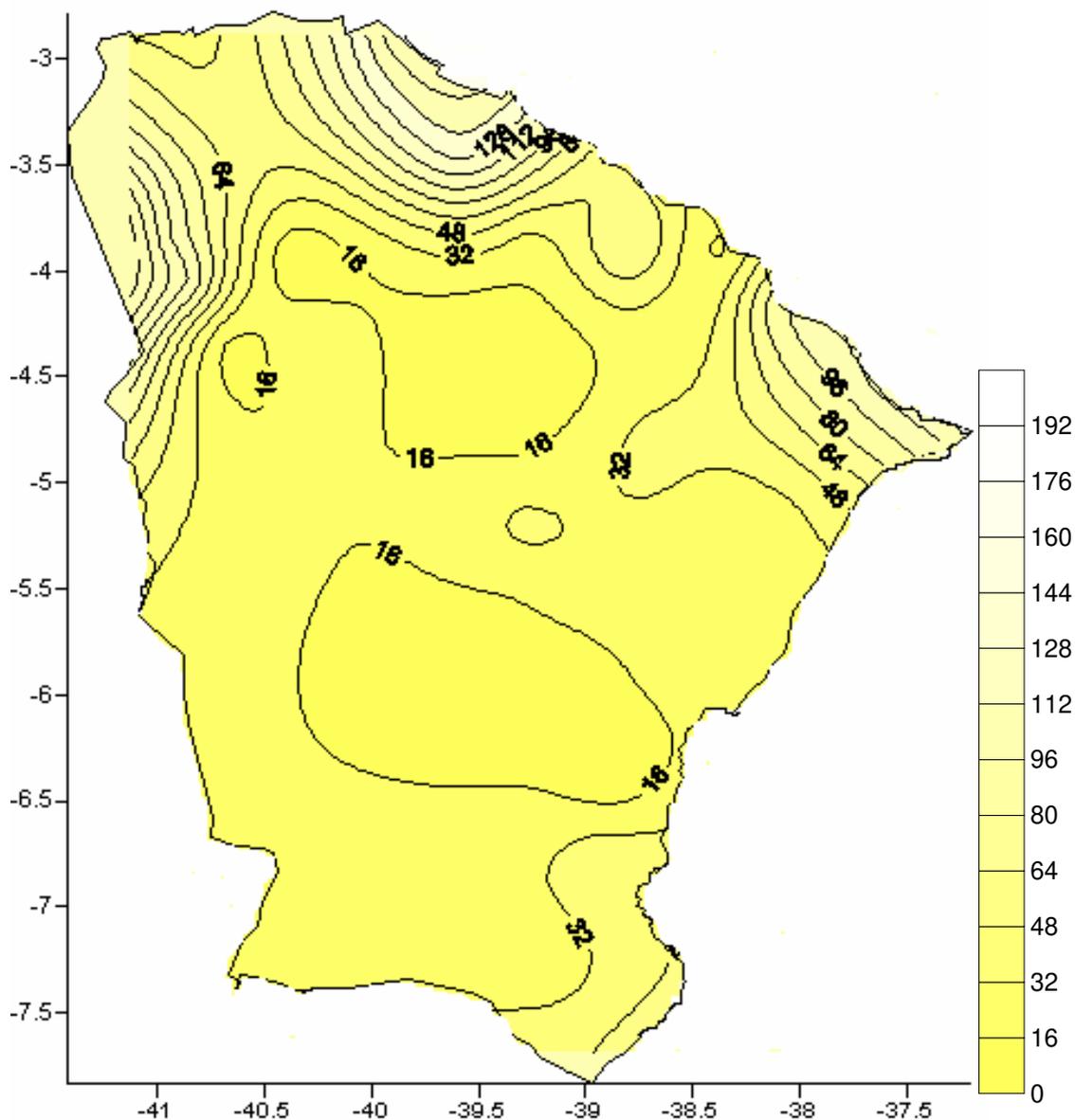


Figura 6.3 – Densidade de potência eólica média em  $W/m^2$  a partir de dados de vento a 10 m para o estado do Ceará

- (i) no Norte Cearense as maiores potências foram todas registradas no mês de outubro;
- (ii) no Centro-Sul Cearense foi em julho;
- (iii) enquanto que as regiões de maior variabilidade foram as Mesorregiões do Noroeste e do Jaguaribe; porém, a tendência de ocorrência das maiores potências foi durante a tríade outubro a novembro (frequência de 61%).

Em termos gerais, pode-se dizer que essas áreas se conservam num ciclo semestral bem nítido, sendo as variações de máximas estão entre junho e dezembro e as de mínimas entre março e maio.

---

## **7. Resultados e Discussão (3<sup>o</sup> parte)**

No Ceará, o potencial eólico é reconhecidamente favorável ao aproveitamento na área litorânea, de relevo mais plano e auxiliado pelas brisas marinhas. No entanto, o relevo na parte interior do Estado apresenta uma situação bastante rica para a possibilidade de existência de áreas de aceleração de ventos. Em outros locais, brisas de montanhas - causadas por ciclos térmicos diurnos entre montanha/vale - podem apresentar sinergias com os ventos alísios, dominantes na escala sinótica. Infelizmente, ainda inexistem medições anemométricas em quantidade e qualidade suficiente no interior do Estado para referenciar tais possibilidades, e os fenômenos de mesoescala estão além do alcance dos recursos metodológicos empregados neste estudo.

A pronunciada sazonalidade dos ventos no Estado do Ceará apresenta notável contraste na comparação dos períodos úmido (janeiro-junho) (Figura 7.1) e Seco (julho-dezembro) (Figura 7.2).

No período úmido o Estado do Ceará também apresenta condições favoráveis à operação de turbinas eólicas no Estado-da-arte mundial, com velocidades médias semestrais entre 5,5m/s e 7,5m/s em grande extensão de seu território. No período Seco, com velocidades mensal superiores a 7,0m/s em significativa percentagem de seu território, superando 10,0m/s em muitos locais - com constância também excepcional.

O cálculo do fluxo de potência eólica semestral considerou os seguintes parâmetros de forma de Weibull: no período Úmido, 2,76 para o interior e 3,49 para a área litorânea; no período Seco, 4,12 para o interior e 5,85 para a área litorânea, a partir de amostragens de estações representativas de respectivas regiões, e distribuídas geograficamente.

O potencial eólico anual foi calculado para as alturas de 50m e 70m. A altura típica de 50m corresponde às atuais turbinas eólicas no Estado-da-arte, com capacidades entre 500 e 750kW. Na medida em que se consolidam no mercado as novas turbinas de

1.000 - 2.000 kW, com alturas de torre no entorno de 70m e até 100m, expande-se também a sua utilização nas áreas interiores dos continentes.

Nota-se que o aumento da altura traz ganhos de potencial mais significativos no interior do Estado (Figura 7.3). Este fato ocorre nas áreas de baixíssima rugosidade (areia de dunas) existe pequeno aumento nas velocidades de vento entre estas duas alturas; no caso de áreas com maior rugosidade (vegetação no interior do Estado), os ganhos são significativos quando se aumenta a altura de captação eólica de 50m para 70m de altura.

O fluxo de potência eólica foi calculado a partir do mapa de densidade e das velocidades médias anuais. A integração dos valores cúbicos de velocidade foi realizada considerando parâmetros médios de forma de Weibull de 3,44 para o interior, e 4,67 para o litoral do Ceará, distribuídos conforme o Mapa de Correlação. Estes valores foram obtidos através de amostragem das estações mais representativas das respectivas regiões.

Apesar da filtragem dos efeitos locais realizadas por *software*, julga-se necessário comentar os resultados para a área litorânea: as torres anemométricas com 40m-50m de altura e instaladas em locais otimizados, revelaram velocidades médias anuais superiores ao que seria previsível pelas extrapolações por *software*, dentro das margens conservativas usuais em cálculos de engenharia e avaliações de potenciais energéticos.

## 7.1 Comparação dos resultados

O potencial eólico é reconhecidamente favorável ao aproveitamento na área litorânea, de relevo mais plano e auxiliado pelas brisas marinhas. No entanto, o relevo na parte interior do Estado apresenta uma situação bastante rica para a possibilidade de existência de áreas de aceleração de ventos. Em outros locais, brisas de montanhas - causadas por ciclos térmicos diurnos entre montanha/vale - podem apresentar sinergias com os ventos alísios, dominantes na escala sinótica.

No período úmido o Estado do Ceará também apresenta condições favoráveis à operação de turbinas eólicas no Estado-da-arte mundial, com velocidades médias semestrais entre 5.5m/s e 7.5m/s em grande extensão de seu território. No período Seco, com velocidades mensais superiores a 7m/s em significativa percentagem de seu território, superando 10m/s em muitos locais - com constância também excepcional.

Nota-se que o aumento da altura traz ganhos de potencial mais significativos no interior do Estado (Figura 7.3). Este fato ocorre nas áreas de baixíssima rugosidade (areia de dunas) existe pequeno aumento nas velocidades de vento entre estas duas alturas; no caso de áreas com maior rugosidade (vegetação no interior do Estado), os ganhos são significativos quando se aumenta a altura de captação eólica de 50m para 70m de altura.

Com base nas Figuras (7.1., 7.2. e 7.3.) do Atlas Eólico, regionalizou-se em cinco (05) faixas distintas para classificação dos ventos, e serão aplicadas tanto na fotointerpretação como na sobreposição das figuras em análise da validação do modelo em comparação aos resultados dos dados extrapolados das PCDs para 50 m, sendo as mesmas, a saber:

Faixa A = representada pela cor cinza, com variação de ventos médios entre 3,5 m/s a 4,5 m/s;

Faixa B = representada pela cor branca, com variação de ventos entre 5,0 m/s a 5,5 m/s;

Faixa C = representada pela cor verde, com ventos da ordem de 6 m/s;

Faixa D = representada pela cor amarela, com ventos em torno de 7 m/s; e,

Faixa E = representada pela cor vermelha, com ventos variando em média de 7,5 m/ a 8 m/s.

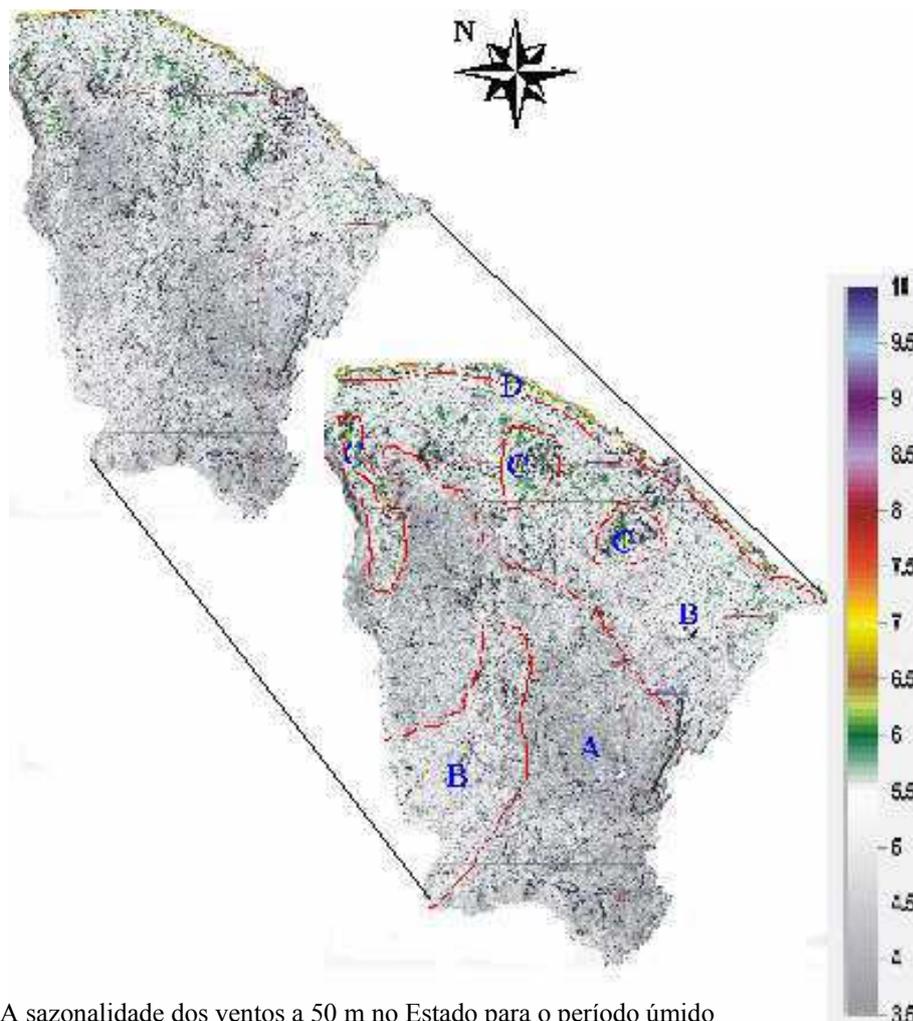


Figura 7.1. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período úmido (janeiro-junho)

Começando com a fotointerpretação da sazonalidade dos ventos no Estado do Ceará no período úmido (janeiro-junho), podemos caracterizar com base na Figura 7.1.: quatro faixas (04) distintas da velocidade média de janeiro a junho a 50 m, a saber:

Faixa A = representada pela cor cinza, com variação de ventos médios entre 3,5 m/s a 4,5 m/s;

Faixa B = representada pela cor branca, com variação de ventos entre 5,0 m/s a 5,5 m/s, corresponde à classe 1 para 50 m de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 200 W/m<sup>2</sup>.

Faixa C = representada pela cor verde, com ventos da ordem de 6 m/s, corresponde à classe 2 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 300 W/m<sup>2</sup>;

Faixa D = representada pela cor amarela, numa faixa muito fina nas proximidades do litoral apenas, com ventos em torno de 7 m/s, corresponde à classe 3 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 400 W/m<sup>2</sup>.

Analisando agora a sazonalidade dos ventos no Estado do Ceará no período seco (julho-dezembro) podemos caracterizar com base na Figura 7.2.:

Interpretando os resultados espaciais do Figura 7.2. para o período de julho a dezembro, detectamos quatro faixas (04) distintas da velocidade média de julho a dezembro a 50 m, a saber:

Faixa B = representada pela cor branca, com variação de ventos entre 5,0 m/s a 5,5 m/s, corresponde à classe 1 para 50 m de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 200 W/m<sup>2</sup>.

Faixa C = representada pela cor verde, com ventos da ordem de 6 m/s, corresponde à classe 2 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 300 W/m<sup>2</sup>;

Faixa D = representada pela cor amarela, com ventos em torno de 7 m/s, corresponde à classe 3 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 400 W/m<sup>2</sup>.

Faixa E = representada pela cor vermelha, com ventos variando em média de 7,5 m/ a 8 m/s ou mais, corresponde à classe 5 e 6 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência variando em torno de 600 a 800 W/m<sup>2</sup>.

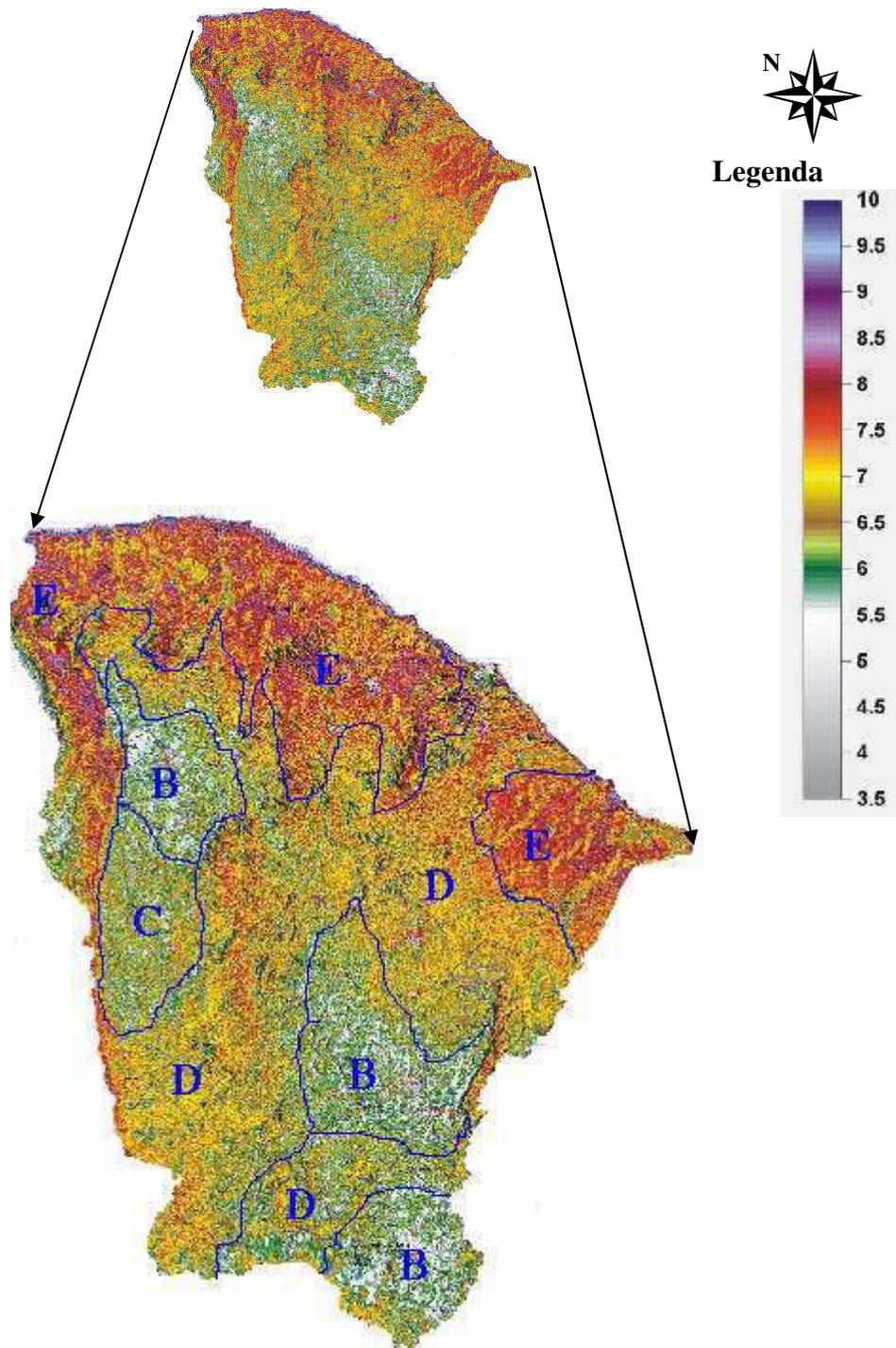


Figura 7.2. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período seco (julho-dezembro)

Analisando agora a sazonalidade dos ventos no Estado do Ceará com base no período anual, podemos caracterizar com base na Figura 7.3. com aumento da altura, os ganhos de velocidade a 50 m:

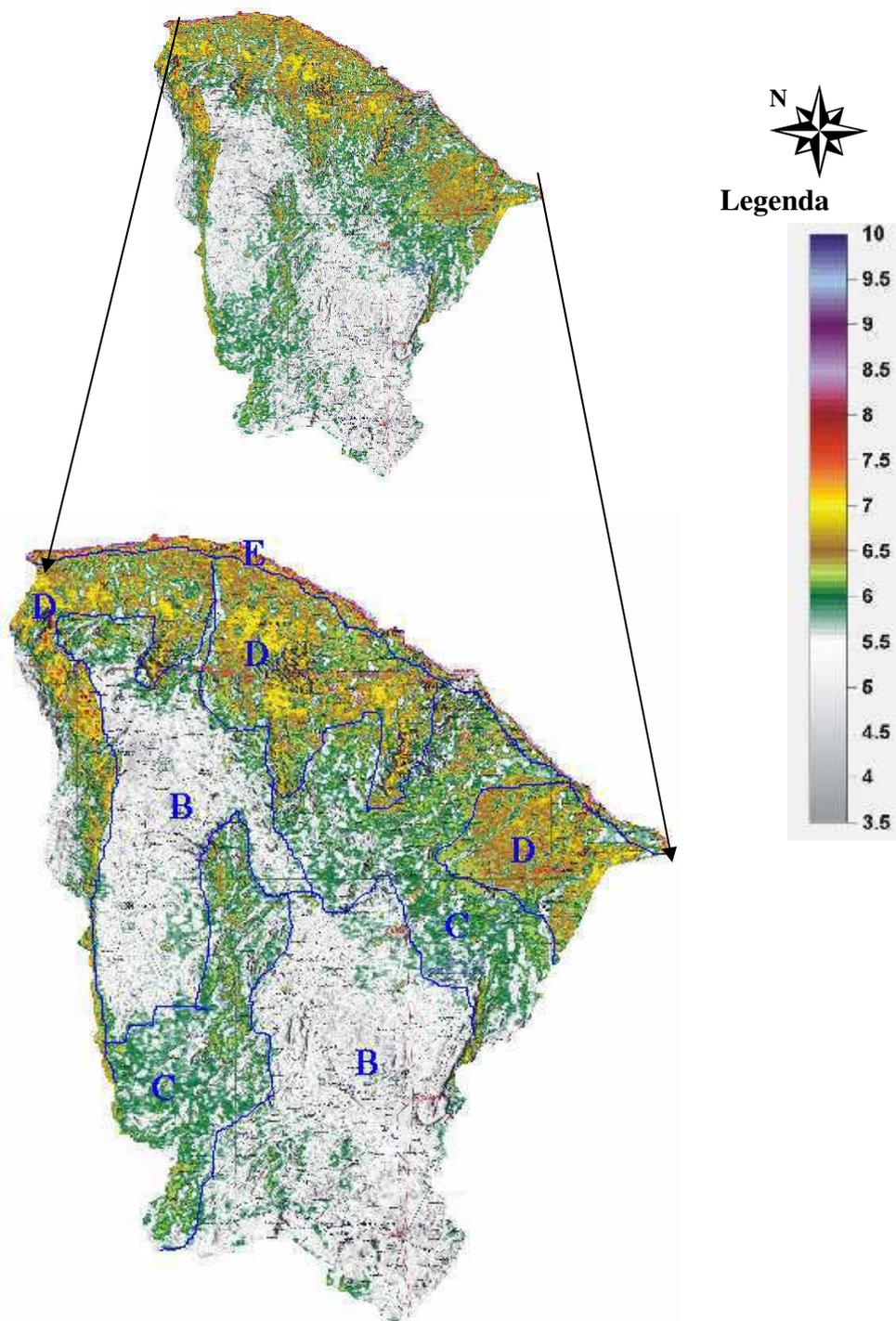


Figura 7.3. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período Anual

Interpretando os resultados espaciais da Figura 7.3. para o período anual, detectamos quatro faixas (04), a saber:

Faixa B = representada pela cor branca, com variação de ventos entre 5,0 m/s a 5,5 m/s, corresponde à classe 1 para 50 m de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 200 W/m<sup>2</sup>.

Faixa C = representada pela cor verde, com ventos da ordem de 6 m/s, corresponde à classe 2 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 300 W/m<sup>2</sup>;

Faixa D = representada pela cor amarela, com ventos em torno de 7 m/s, corresponde à classe 3 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência em torno de 400 W/m<sup>2</sup>.

Faixa E = representada pela cor vermelha, numa faixa muito fina nas proximidades do litoral apenas, com ventos variando em média de 7,5 m/ a 8 m/s ou mais, corresponde à classe 5 e 6 de acordo com o Quadro 3.2., com uma densidade de potência variando em torno de 600 a 800 W/m<sup>2</sup>.

A sazonalidade dos ventos dos dados extrapolados no período úmido (janeiro-junho), com base na Figura 7.4.: identifica-se: (i) com verde lodo, com variação de ventos médios entre 1,5 m/s a 3,0 m/s; (ii) com cinza, ventos entre 3,0 m/s a 4,5 m/s; (iii) cor marrom, com ventos 4,5 a 6,0 m/s; (iv) cor azul, com ventos entre 6,0 e 7,5 m/s; (v) representada pela cor branca, numa faixa muito fina nas proximidades do litoral apenas, com ventos superior a 7,5 m/s.

A sazonalidade dos ventos dos dados extrapolados no período seco (julho-dezembro), com base na Figura 7.5.: encontra-se: (i) com amarelo, com variação de ventos médios entre 1,5 m/s a 4,5 m/s; (ii) com vermelho, ventos entre 4, 5,0 m/s a 8,0 m/s; (iii) representada pela cor branca, numa faixa muito fina nas proximidades do litoral apenas, com ventos superior a 8,0 m/s.

A sazonalidade dos ventos dos dados extrapolados no período anual, com base na Figura 7.6.: determina-se que: (i) com branco, com variação de ventos médios entre 1,5 m/s a 3,0 m/s; (ii) com verde, ventos entre 3,0 m/s a 5,5 m/s; (iii) com a cor amarela, com ventos superior a 5,5 m/s.

Comparando esses resultados com os resultados da modelagem, permite as seguintes considerações: (i) as zonas de vento forte estão evidenciadas em ambos os resultados; (ii) destaca-se, em ambos os resultados tanto o litoral como uma faixa do Noroeste cearense com ventos fortes; (iii) o Sul, Centro-Sul e Nordeste cearense, aparecem como ventos moderados nos dados extrapolados e como ventos médio no dados da modelagem; (iv) em ambos os casos os ventos do litoral são da ordem de 7,5 m/s. (v) a modelagem, começa sua escala entre 3,5 e 5,0 m/s, enquanto que os dados extrapolados entre 1,5 e 3,0 m/s, essa constatação, não invalida nem o modelo, nem tampouco os resultados, pois na aplicação do modelo para determinar o vento a 50 m se leva em consideração a rugosidade, orografia, entre outros elementos que podem influenciar nos resultados, enquanto que a extrapolação feita a partir dos dados de PCDs, foram expressos apenas por uma equação exponencial simples.

Sabe-se que o Estado do Ceará está imerso na contínua circulação atmosférica subequatorial dos ventos alísios, intensificados pelas brisas marinhas ao longo de 640 km de seu perímetro litorâneo com o Oceano Atlântico. Superpondo-se a estes fatores, a movimentação da Zona de Convergência Intertropical induz uma pronunciada sazonalidade nos regimes de vento.

A alternância de períodos chuvoso e seco, causada pela migração da ZCIT, coincide com a pronunciada sazonalidade nas velocidades de vento na região, atingindo variações máximas de aproximadamente  $\pm 30\%$  em torno do valor médio anual. No período seco (Agosto-Dezembro) os ventos alísios e as brisas marinhas atingem máxima intensidade e constância no Ceará.

Regionalmente, existe defasagem quanto ao período chuvoso e sua duração: no interior ele é mais breve e abrange Fevereiro-Abril, no litoral se prolonga até Maio; foi visto que esta defasagem se reflete regionalmente nas velocidades de vento.

O período de ventos mais intensos, Setembro-Dezembro, apresenta uma maior regularidade interanual. Em Março-Abril, ápice do período chuvoso, predominam ventos de Sudeste ao longo do dia.

Para tal tendência estatística, não é exagero estudar créditos de energia firme para um significativo percentual de capacidade eólica instalada no Estado do Ceará. Eventuais pequenas discrepâncias na análise acima podem ser atribuídas ao fato de se estar comparando médias climatológicas com medições em um ano particular.

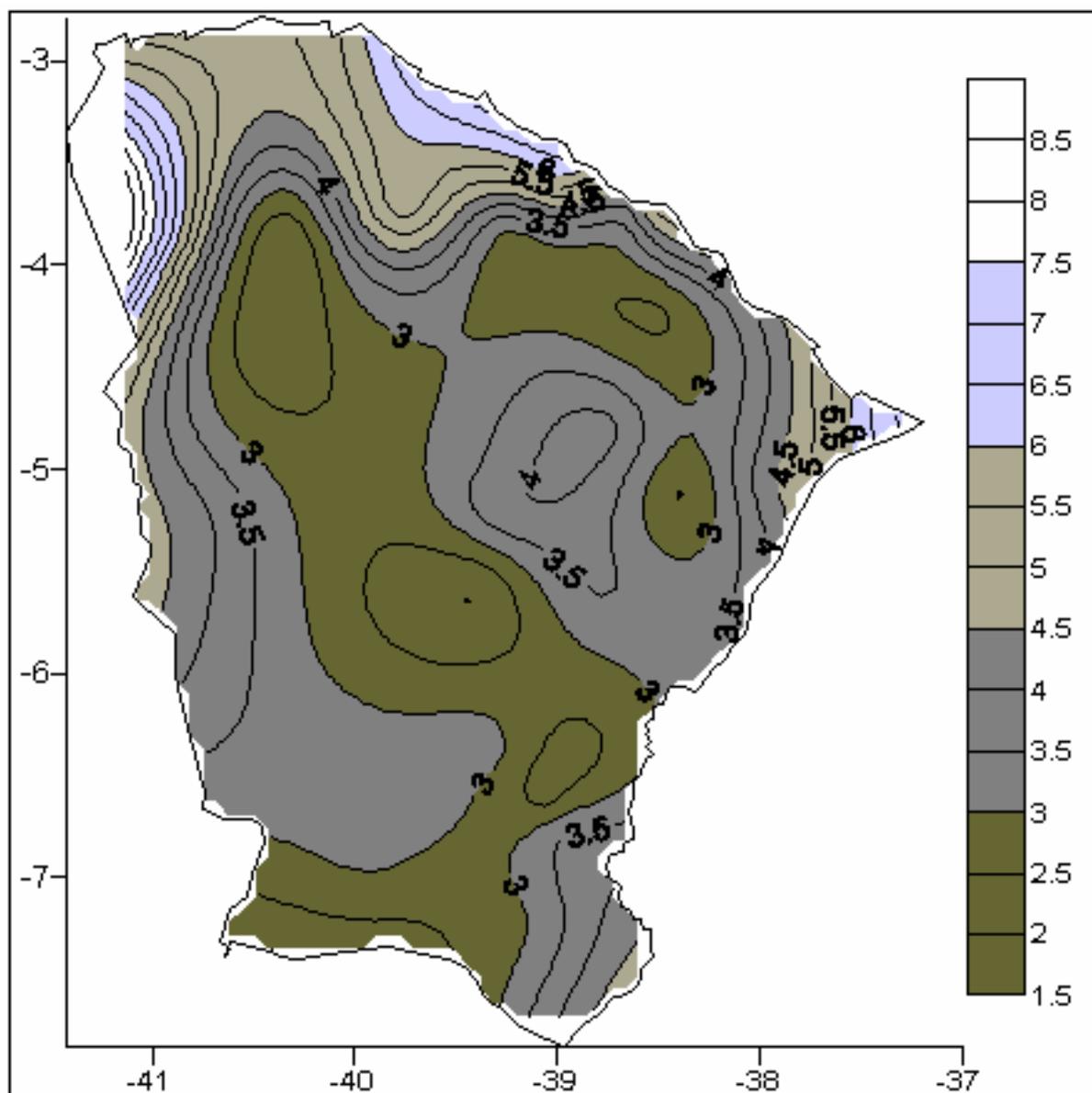


Figura 7.4. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período úmido (janeiro-junho)

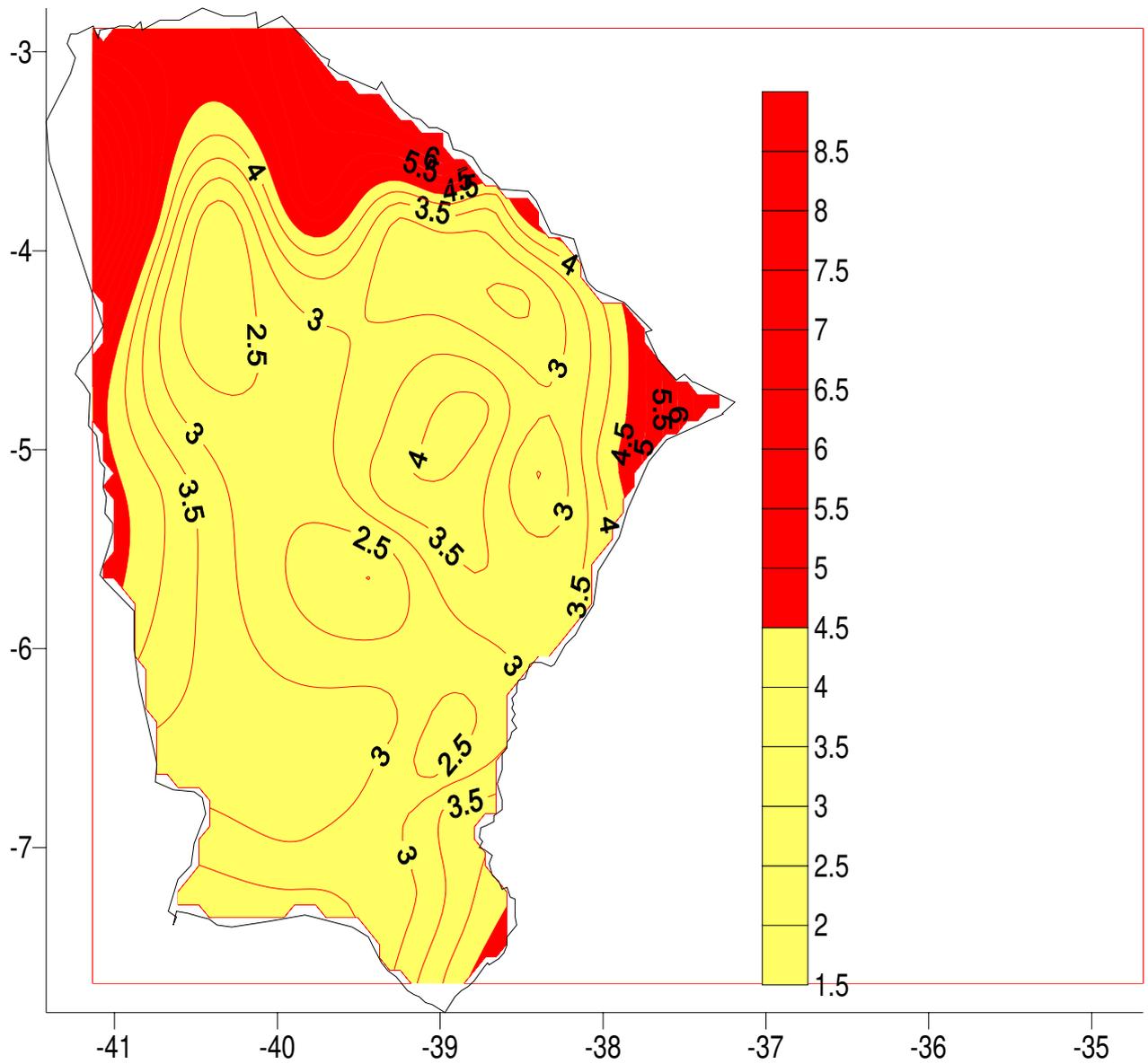


Figura 7.5. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período seco (julho-dezembro)

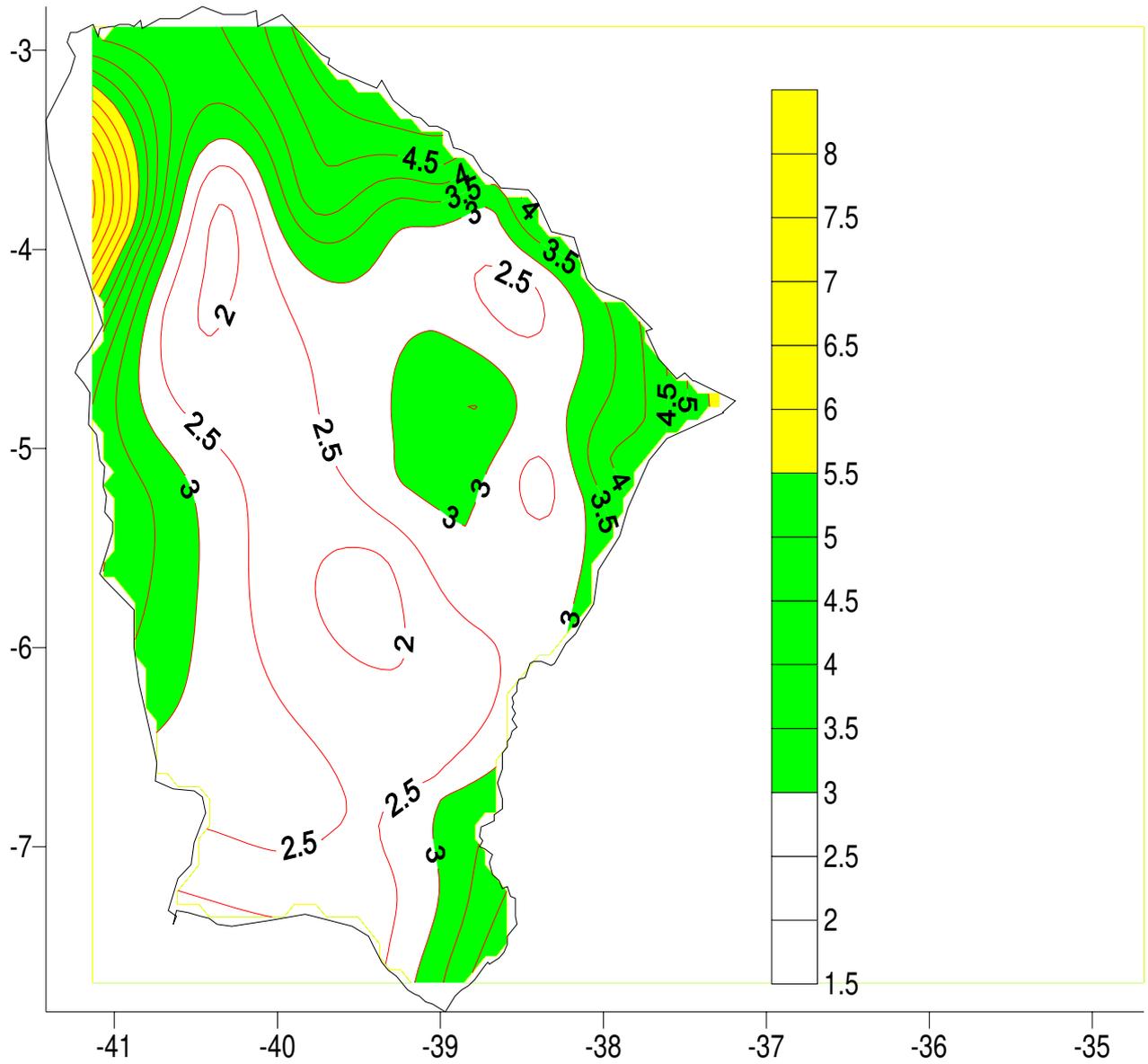


Figura 7.6. - A sazonalidade dos ventos a 50 m no Estado para o período Anual

## CAPÍTULO VIII

---

### 8. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Neste trabalho apontou-se a viabilidade e os benefícios de usar as energias renováveis, como estudo de caso a energia eólica e a regionalização do potencial eólico, como prática necessária para incentivar uma política de sustentabilidade.

Verificou-se que as fontes renováveis de energia respondem por 73% da produção, sendo aproximadamente 70%, referente ao grande potencial hidráulico brasileiro, o que a eólica representa apenas 0,03%.

Sobre a energia eólica encontra-se em 3º lugar entre os empreendimentos que deveria ter começado sua construção, em 4º lugar daqueles que estão ainda em construção e 5º lugar daqueles que estão em operação. Entende-se, assim, que ocorreu certa diminuição dos empreendimentos de energia eólica que deveria já se encontrar em operação. A propósito da Potência em kW, o quadro se agrava muito mais dentre as renováveis, pois a defasagem em relação aos que já estão em operação é de 4.564.093 kW, o que representa 2,8% apenas da potência atual em operação.

O Brasil, necessariamente, deveria produzir um aumento em média de 0,70% ao ano de potência eólica inserida na sua matriz. É pouco provável alcançar esse patamar, pois os estudos revelaram que certa queda nos interesse em investir na energia eólica, como por exemplo, os altos índices de empreendimentos que foram contemplados pela outorga, mais que ainda não começaram a ser construídos.

Apenas acrescenta que se todos os empreendimentos em energia eólica outorgada se encontrassem em operação, o Brasil teria hoje uma participação de 19,2% de energia eólica em sua matriz renovável.

Uma outra conclusão desse estudo está relacionado à análise de 48 atos legislativos, em que se conclui que a política do setor elétrico brasileiro se volta mais para a Flexibilização (41%) e o Incentivo (40%), enquanto que o P& D (6%) e Responsabilidade Ambiental (13%) foram menos favorecidos.

Com base nos dados de velocidade horária média das PCDs medidas a 10 m de altura, a avaliação do comportamento do vento e do seu potencial eólico nas

mesorregião do Ceará conclui-se que: (i) a estação de Jati, localizada na mesorregião do Sul Cearense, distinguiu-se das demais, pois apresentou viabilidade para exploração eólica de grandes projetos. (ii) a mesorregião do Centro-Sul Cearense não apresentou vocação para pequenos projetos, em face das estações terem apresentadas velocidades do vento na direção predominante abaixo de 3,0 m/s; (iii) a mesorregião dos Sertões Cearense apresenta velocidade de vento apropriada para pequenos projetos. Nessa região, os ganhos de potência entre o período úmido e seco não foram superiores a 100%, demonstrando relativa distribuição de capacidade eólica ao longo do ano; (iv) a Mesorregião de Jaguaribe apresenta vocação para pequenos projetos, porém, Icapuí e Jaguaruana apresentaram potenciais para exploração eólica de grandes projetos; (v) na Mesorregião do Noroeste Cearense as estações de Acaraú, São Benedito e Ubajara, apresentam condições para grandes projetos, enquanto os demais apresentam condições apenas para pequenos projetos, exceto Santa Quitéria e Groiarias; (vi) a mesorregião do Norte Cearense apresenta vocação para pequenos projetos, porém, as estações de Amontada e Beberibe apresentaram viabilidades para exploração eólica em grandes projetos; (vii) a Mesorregião Metropolitana de Fortaleza é adequada para pequenos projetos eólicos. Nessa Mesorregião vento flui 100% da direção Leste.

Com relação à potência eólica identificada os resultados não chegaram a ser expressivos, dentre as estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica para o período estudado foi Icó (4,32 W/m<sup>2</sup>). Por sua vez, a estação que registrou a maior potência eólica para o período estudado foi Amontada (71,09 W/m<sup>2</sup>). Dando ênfase às estações estudadas aquela que apresentou a menor potência eólica mensal dentro da potência máxima foi Icó (8,06 W/m<sup>2</sup>), no mês de julho. Por sua vez, a estação que registrou a maior potência eólica mensal da potência máxima registrada foi Amontada (129,56 W/m<sup>2</sup>), no mês de outubro. Já no Norte Cearense as maiores potências foram todas registradas no mês de outubro; no Centro-Sul Cearense foi em julho; enquanto que as regiões de maior variabilidade foram as Mesorregiões do Noroeste e do Jaguaribe; porém, a tendência de ocorrência das maiores potências foi durante a tríade outubro a novembro (frequência de 61%).

Em relação à comparação da extrapolação com a modelagem, concluímos que: (i) as zonas de vento forte estão evidenciadas em ambos os resultados; (ii) destaca-se, em ambos os resultados tanto o litoral como uma faixa do Noroeste cearense com ventos fortes; (iii) o Sul, Centro-Sul e Nordeste cearense, aparecem como ventos moderados nos dados extrapolados e como ventos médio no dados da modelagem; (iv)

em ambos os casos os ventos do litoral são da ordem de 7,5 m/s. (v) a modelagem, começa sua escala entre 3,5 e 5,0 m/s, enquanto que os dados extrapolados entre 1,5 e 3,0 m/s, essa constatação, não invalida nem o modelo, nem tampouco os resultados, pois na aplicação do modelo para determinar o vento a 50 m se leva em consideração a rugosidade, orografia, entre outros elementos que podem influenciar nos resultados, enquanto que a extrapolação feita a partir dos dados de PCDs, foram expressos apenas por uma equação exponencial simples.

### **8.1 – Recomendações**

Como trabalhos futuros utilizando essa linha de pesquisa em recursos energéticos, seria importante:

1) continuar a estudar a viabilidade energética dos ventos com intuito de manter a perspectiva da importância da participação dessa energia na matriz energética para o desenvolvimento sustentável principalmente no Nordeste do Brasil;

2) comparar os atuais resultados dentro da escala trabalhada com a potência atual já produzida em diversos parques eólicos no estado do Ceará para compor um conjunto de banco de dados que venha auxiliar no planejamento energético no Estado e que sirva de base para tomada de decisão;

3) fazer um re-estudo do problema utilizando modelagem que incorpore a função custo-benefício ambiental de acordo com a capacidade eólica encontrada em cada localidade dentro dos três principais enfoques apresentados na revisão de literatura desta tese.

4) incorporar aos estudos de implantação de parques eólicos, as possibilidades de impactos com as rotas migratórias de aves provenientes dos EUA, e que tem como parada central o litoral cearense;

Como consideração final desta tese, enfatizamos o pensamento feito por BRÜSEKE (1994) ressaltando que, necessitamos de uma perspectiva multidimensional, que envolva economia, ecologia e política ao mesmo tempo. Isso, no fundo, é o ponto de partida da teoria do desenvolvimento sustentável. Apesar da sua estrutura ainda inacabada, aponta este conceito na direção certa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

---

AGUIAR, Wilson Mansur de. **O Uso de Fontes Alternativas de Energia como Fator de desenvolvimento Social para Segmentos Marginalizados da Sociedade** (Rio de Janeiro) 2004 V, 91 pp. COPPE/UFRJ, M.Sc., Planejamento Energético, 2004.

ALIER, Joan Martínez. **De la economia ecológica al ecologismo popular**. 2. ed. Barcelona: Icaria, 1994.

ALMEIDA, F. **O bom negócio da sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 2002.

ALVES, J. J. A. XI Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada., Geografia, Tecnociência, Sociedade e Natureza. 2005, São Paulo/SP, **Anais...** São Paulo/SP: USP, 2005, 5 a 9 de setembro, pp. 1842 - 1852. ISBN: 85-904082-9-9.

ALVES, Jose Jakson Amancio. **Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste do Brasil**. Campina Grande. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 125pp. 2001.

AMARAL, S.P. **Indicadores de Sustentabilidade Ambiental, Social e Econômica: Uma Proposta para a Indústria de Petróleo Brasileira**. Meio Ambiente Industrial – Edição 39 – número 38, 2002.

ANDERSON, D. Energy and economic prosperity. In: UNDP, UNDESA, WEC. **World energy assessment: energy and the challenge of sustainability**. New York: United Nations Development Programme, United Nations Department of Social and Economic Affairs, and World Energy Council, 2000, pp.392-413.

ANEEL, **Capacidade de Geração do Brasil**. Disponível em: <<http://www.anel.gov.br>> Acessado em: 28 abr. 2003.

**Atlas Eólico do Estado do Ceará**. 2000. Disponível em: [www.seinfra.ce.gov.br/publicações.php](http://www.seinfra.ce.gov.br/publicações.php). Acesso em: 13 abril de 2006.

AMARANTE, O.A.C., BROWER, M., ZACK, J., SÁ, A.L., 2001, **Atlas do Potencial Eólico Brasileiro**, Brasília, Brasil.

BANDEIRA, M. M. **Regionalização do regime eólico no Nordeste do Brasil**. Campina Grande. Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba, Dissertação (Mestrado em Meteorologia), 1990, 62pp.

BROWN, Lester R. **Eco-Economia: construindo uma economia para a terra**. Lester R. Brown. - Salvador: UMA. 2003. 368pp. ISBN 85-87616-08-0.

BARNARD, J.C. – **An Evaluation of There Models Designed for Siting Wind Turbines in Áreas of Complex Terrain.** Solar Energy, Vol. 46. No. 5 pp 283-294, 1991.

BITTENCOURT, Rogério Motta et al., 2000. **Sistemas Complementares de Energia Eólica e Hidráulica no Brasil.** Comisione de Integración Eléctrica Regional. Comité Nacional Área de Generación & Transmisión. Congreso CIER, Buenos Aires.

BNDES. **50 anos de desenvolvimento.** São Paulo, Câmara Brasileira do Livro, 2002.

BORHAN, Y. Mesoscale interactions on wind energy potential in the northern Aegean region: a case study. **Renewable e Sustainable Energy Reviews**, v. 2, pp. 353 – 360, 1998.

BROWN, Lester R. **Eco-Economia: construindo uma economia para a terra.** Lester R. Brown. - Salvador: UMA. 2003. 368pp. ISBN 85-87616-08-0.

CE - Comissão EUROPÉIA. 2001. **“Para uma Estratégia Européia de Segurança do Aproveitamento Energético”.** In: Livro Verde, Bruxelas.

CEBALLOS, J. C BASTOS, E. J. Brito; SOBRAL, Z. R; SIMÕES, F. **Distribuição estatística da energia eólica no Nordeste.** Relatório Final CHESF/BRASCEP/ATECEL/UFPB/NMA. Campina Grande, 1987, 48pp.

COELINGH, J. P; WIJK, A. J. M. Van; HOLTSLAG, A. A. M. Analysis of wind speed observations over the North Sea. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 61, pp. 51 - 69, 1996.

COPEL - COMPANHIA PARANAENSE DE ELETRICIDADE, 1997, Estudos Energéticos para a Usina Eólica de Palmas. In: **Relatório CNPG 22/97**, Paraná.

CORSON, Walter H. **Manual global de ecologia: o que você pode fazer a respeito da crise do meio ambiente.** Trad. Alexandre Gomes Camaru. 2. ed. São Paulo: Augustus, 1996.

SPERA, D. A. **Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering.** U.S. Department of Energy, 1994.

D'ARAUJO, Roberto Pereira. 2001. **Previsibilidade, Razões e Desafios da Crise de Suprimento de Energia Elétrica no Brasil.** In: O Brasil a Luz do Apagão, Organizado por Carlos Lessa, Editora Palavra e Imagem, Rio de Janeiro, pp. 141-162.

DEBEIR, J. C. et al. **Uma história da energia.** Brasília: Editora da UNB, 1993.

DENA. **Manuel de Exportação Brasil – Chances de Mercado para Energias Renováveis.** Agência Alemã de Energia. 2004.

CPTEC/INPE. Disponível em: <http://tempo.cptec.inpe.br:9080/PCD/pcd>. Acesso em: fevereiro de 2006.

ELETROBRÁS – “**Plano 2015** – estudo de Oferta e Demanda: Estratégia de Expansão do Sistema”. Rio de Janeiro, 1996.

ENZENSBERGER, N., 2002, “**Policy Instruments Fostering Wind Energy Projects** – A Multi-perspective Evaluation Approach”, *Energy Policy*, v. 30, pp. 93-801.

ESPEY, SIMONY, 2001, “**Renewable Portfolio Standard: A Means for Trade with Electricity from Renewable Energy Sources?**”, *Energy Policy*, v. 29, pp. 557-566.

FERREIRA, LEILA C.; FERREIRA, LÚCIA C. **Limites ecossistêmicos: novos dilemas e desafios para o estado e para a sociedade**. In: *Dilemas Socioambientais e Desenvolvimento Sustentável*. Campinas: Editora da UNICAMP, pp. 13-35, 1992.

FITZGERALD, JHON, 2000, **Strategy for Intensifying Wind Energy Deployment**, Government of Ireland, Dublin.

GARCIA, A. et al. Fitting wind speed distributions: a case study. *Solar Energy*, v. 62, n. 2, pp. 139 – 144, 1998.

GOLDEMBERG, José. The case for renewable energies. **Relatório Temático**, Secretaria da Conferência Internacional para Energias Renováveis, janeiro, 2004.

GTEE – Grupo de Trabalho de Energia Eólica – “**Folhas ao Vento**”, Informativo N0 03 – novembro 1997

GUERRA, SINCLAIR M. GUY, 2002, “Energias Alternativas e a Liberação do Mercado no Brasil”. In: **Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção Para uma Política Energética Sustentável no Brasil**, Coalizão Rios Vivos, pp. 89-96, Campo Grande.

HENESSEY, Jr. JP. A comparison of the Weibull and Rayleigh distributions for estimating wind power potential. *Wind Engineering*. USA. V. 2, n. 3, pp. 156 – 163, 1978.

HENESSEY, Jr. JP. Some aspects of wind power statistic. *Journal Applied Meteorology*. USA. V. 16, n. 2, pp. 119 – 128, 1977.

HOLDREN, J.P., Smith, K.R. **Energy, the environment, and health**. In: UNDP, UNDESA, WEC. *World energy assessment: energy and the challenge of sustainability*. New York: United Nations Development Programme, United Nations Department of Social and Economic Affairs, and World Energy Council, 2000, pp.61-110.

HOLTTINEN, H., et al, 2004, “**The Effect of Wind Power on CO2 Abatement in Nordic Countries**”, *Energy Policy*, v. 32, pp. 1639-1652.

ICONS - **Conferência Internacional Indicadores de Desenvolvimento Sustentável e Qualidade de Vida**. , Curitiba (PR), entre 26 e 29 de outubro. 2003.

IDAE - INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACION Y AHORO DE LA ENERGÍA, 2000, **Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica: Análisis de Ciclo de Vida de Ocho Tecnologías de Generación Eléctrica**, IDEA, Madrid.

IEA - GHG INTERNATIONAL ENERGY AGENCY GREENHOUSE GAS R&D.

IHA - INTERNATIONAL HYDROPOWER ASSOCIATION. **The Hole of Hydropower in the Sustainable Development**, 162 pp. London: 2003.

J. F. Walker and N. Jenkins, "**Wind Energy Technology**", Wiley & Sons Ltda, 1997.

JARASS, L.; HOFFMANN, L.; JARASS e OBERMAIR, G. **Wind Energy An Assessment of the Technical and Economic Potential** (International Energy Agency), Library of Congress Cataloging in Publication Data, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, 1981.

JUSTUS, C. G; HARGRAVES, W. R; MIKAIL, A; GRABER, D. Methods for estimating wind speed frequency distributions. **Journal Applied Meteorology**. USA, v. 17, n. 3, pp. 350 – 353, 1978.

JUSTUS, C. G; MIKAIL, A. **Height variation of wind speed and wind distribution**. **Geophys. Res. Lett.** USA, v. 3, pp. 261 – 264, 1976.

LOMBORG, Bjorn. **O ambientalista cético: medindo o verdadeiro estado do mundo**. Trad. Ivo Korytowski, Ana Beatriz Rodrigues. Rio de Janeiro: Elsevier, 2002.

LORA, E. E. S. **Prevenção e Controle da Poluição nos Setores Energético, Industrial e de Transporte**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2002. Revista EDUCAÇÃO & TECNOLOGIA Periódico Técnico Científico dos Programas de Pós-Graduação em Tecnologia dos CEFETs-PR/MG/RJ

LOVINS, Amory B. **Mais lucro com menos carbono**. Scientific American. Edição especial – Brasil. São Paulo, n. 41, pp. 66-75, out. 2005.

LUN, Isaac Y. F; LAM, Joseph C. A study of Weibull parameters using long-term wind observations. **Renewable Energy**, v. 20, pp. 145 – 153, 2000.

MACEDO, P. **Estudo das estratégias de controle de um SCEE de pequeno porte para geração elétrica, aplicada ao carregamento de bateria**. Campina Grande. Núcleo de Energia, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Dissertação de Mestrado, 1989, 151pp.

MARTINS, D. Congresso Brasileiro de Eng. Agrícola, 22, 1993, Ilhéus, BA. **Anais... Soc. Bras. de Eng. Agrícola**, Ilhéus, BA: CEPLAC, 1993, p815 – 824, 1413 pp.

MAYHOUB, A. B; AZZAM, A. A survey on the assessment of wind energy potential in Egypt. **Renewable Energy**, v. 11, n. 2, pp. 235 – 247, 1997.

McRAE, Hamish. **O mundo em 2020**. Trad. Luiz Carlos do Nascimento Silva. Rio de Janeiro: Record, 1998.

MEIBOM, P.; SVENDSEN, T.; SORENSEN, B. **Trading Wind in a hydro-dominated power pool system**. International Journal of Sustainable Development 1999 – vol. 2, No. 4, pp. 458-483.

MERZOUK, N. Kasbadji. Wind energy potential of Algeria. **Renewable Energy**, v. 21, p 553 – 562, november, 2000.

MEYER, NIELS I., 2003, “**European Schemes for Promoting Renewable in Liberalised**”

MIHALAKAKOU, G. a.; B. Psiloglou b.; M. Santamouris a.; D. Nomidis c a. Application of renewable energy sources in the Greek islands of the South Aegean Sea. Central Institution for Energy Efficiency Education, of Meteorology and Physics of the Atmospheric Environment. **National Observatory of Athens**. 2001.

MME – **MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA**, 2001, Atlas do Potencial Eólico Brasileiro. Brasília 2001.

MME - **MINISTÉRIO DAS MINAS E ENERGIA**, 2005, Portaria no 45 de 30 de março de 2004, Brasília.

MÜLLER, A. C. **Hidrelétricas – Meio Ambiente e Desenvolvimento**. São Paulo: Makron Books, 1995.

NAKICENOVIC, N. **Energy Scenarios for Sustainable Development**. Seminário Sustentabilidade na Geração e Uso de Energia. UNICAMP, fev. 2002. Disponível em <<http://www.rau-tu.unicamp.br>> . Acessado em 11 set. 2003.

NFAQUI, H; BURET, J; SAYIGH, A. A. M. Wind characteristics and wind energy potential in Marrocos. **Solar Energy**, v. 63, n. 1, pp. 51 –60, july 1998.

PENNA, Carlos Gabaglia. **O estado do planeta: sociedade de consumo e degradação ambiental**. Rio de Janeiro: Record, 1999.

PROGRAMME, 2000, The potential of Wind Energy to Reduce CO<sub>2</sub>, Emissions. In: Reddy, A.K.N. Energy and social issues. In: UNDP, UNDESA, WEC. **World energy assessment: energy and the challenge of sustainability**. New York: United Nations Development Programme, United Nations Department of Social and Economic Affairs, and World Energy Council, 2000, pp.39-60.

RIBEIRO, M. A. **Ecologizar - Pensando o Ambiente Humano**. Disponível em <<http://www.ecologizar.com.br>> Acessado em 24 abr. 2003.

SACHS, I.; 1993. **Estratégias de transição para o século XXI – desenvolvimento e meio ambiente**. Studio Nobel/FUNDAP, São Paulo, 1993.

SACHS, Ignacy. O exemplo da Suécia. **Panorama**. Agroenergia. Julho/agosto, pp.35. Rumos. Ano 30 – No. 228, 2006.

SAHIN, A. Z; AKSAKAL, A.. Wind Power energy potential at the northeastern region of Saudi Arabia. **Renewable Energy**, v. 14, pp. 435 – 440, 1998.

SAWIN, J. Estado do Mundo 2003 – Trançando um novo futuro energético: Sumário do cap. 5.. Disponível em <http://www.wwiuma.org.br>. Acessado em 14 de abril de 2006.

SCERRI E; FARRUGIA, R. Wind data evaluation in the Maltese Island. **Renewable Energy**, v. 7, pp. 109 – 114, 1996.

SEGURO, J. V; LAMBERT, T. W. Modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy analysis. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 85, pp. 75 – 84, 2000.

SEINFRA - **Secretaria da Infra-Estrutura do Estado do Ceará**, Atlas do Potencial Eólico.

SILVA, B. B. da; ALVES, J. J. A; AZEVEDO, F. G. B. de. Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12 / Reunião latino-americana de Agrometeorologia, 3, 2001, Fortaleza/CE, **Anais...** Fortaleza/CE: Funcene, 2001, v. 2, pp. 577 – 578.

SILVA, B. B. da; ALVES, J. J. A; CAVALCANTI, E. P.; DANTAS, R. T. Potencial eólico na direção predominante do vento no Nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Vol. 6, pp. 431 – 439, 2002.

SILVA, B. B. da; ALVES, J. J. A; CAVALCANTI, E. P.; VENTURA, E. D. Variabilidade espacial e temporal do potencial eólico da direção predominante do vento no Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**. Vol. 19, pp. 189 – 202, 2004.

SILVA, J. B. da; LARROZA, E. Gonçalves. Probalidade de ocorrência de diferentes velocidades dos ventos em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 7, n. 1, pp. 91 – 99, 1999.

SILVA, NEILTON FIDELIS. Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: **O Caso da Energia Eólica** [Rio de Janeiro] 2006. VIII, 263 pp. (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2006). Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

SOPIAN, K; OTHMAN, M. Y. H; WIRSAT, A. The wind energy potential of Malaysia. **Renewable Energy**, v. 6, pp. 1005 - 1016, 1995.

SOUZA, A; GRANJA, S. C. Estimativa dos parâmetros “C” e “K” do modelo de Weibull e da direção dos ventos para Campo Grande e Dourados/MS, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n.1, pp. 109 – 114, 1997.

STEVEN, M. J. M; SMULDERS, P. T. The estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind energy utilization purposes. **Wind Engineering**, v. 3, n. 2, pp. 132 – 145, 1979.

SAGAR, A.D., Holdren, J.P. **Assessing the global energy innovation system: some key issues**. Energy Policy, v.30, (6), pp.465-469, 2002.

TOLUN, S; MENTS, S; ASLAN, Z; WÜKSELEN, M. A. The wind energy potential of Gokçeada in the northern aegean sea. **Renewable Energy**, v. 6, pp. 679 – 685, 1995.

TORRES, J. L; GARCÍA, A; PRIETO, E; FRANCISCO, A. Characterization of wind speed data according to wind direction. **Solar Energy**, v.66, n.1, pp.57 – 64,1999.

UNDP (United nations Development Programme), 1999, **Human Development Report 1999**. Oxford University Press, Oxfor, New York.

VIANELLO, R. L; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: Imprensa Universitária – UFV, 1991, 449pp.

VON BERTALANFFY, L. **Teoria Geral dos Sistemas**. Petrópolis: Vozes,1973.

WELKE, MEREIKE, 2002, “Energias Renováveis em Mercados Liberalizados In: **Fontes Alternativas de Energia e Eficiência Energética: Opção Para uma Política Energética Sustentável no Brasil**, Coalizão Rios Vivos, pp. 69-88, Campo Grande.