



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

SIDNEY ACIOLE RODRIGUES

**CRESCIMENTO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA
MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**

Campina Grande, Paraíba
Março de 2012

SIDNEY ACIOLE RODRIGUES

CRESCIMENTO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como
parte dos requisitos necessários para a obtenção do
grau de Bacharel em Ciências no Domínio da
Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.

Campina Grande, Paraíba.
Março de 2012

SIDNEY ACIOLE RODRIGUES

CRESCIMENTO DAS FONTES RENOVÁVEIS NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Leimar de Oliveira, M. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, irmãos, familiares, amigos e mestres que de muitas formas me incentivaram e ajudaram para que fosse possível sua concretização.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por me permitir a oportunidade de realizar um curso de excelência. Sobretudo por estar sempre comigo, inclusive nos momentos de maiores dificuldades, não me permitindo retroceder.

Agradeço também à minha mãe, Maria Aciole, e ao meu pai, Joel Rodrigues, por serem exemplos de humildade, garra e perseverança em todos os momentos que desfruto com eles. Além do mais, pela paciência que lhes é peculiar.

Agradeço também aos meus irmãos, Lidiane e Gilson, que estiveram comigo em todos os momentos da minha vida, incluindo minha formação, e que em nenhum momento duvidaram da minha condição de alcançar um de meus maiores objetivos de vida, tornar-me engenheiro eletricitista. Nem mesmo quando duvidei ser possível.

Enfim, agradeço a todos os meus amigos que sempre estiveram comigo e por serem compreensivos, relevarem e até aceitarem minhas inúmeras imperfeições.

*“Aprender é incorporar novas habilidades
que possibilitem alcançar objetivos que
até o momento estavam fora de alcance”*

Wilson Mileris
vi

RESUMO

Este documento apresenta um breve estudo do Plano Decenal de Expansão da Energia no Brasil, PDE 2020. Serão abordados dois temas principais: A perspectiva de consolidação das fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira, mediante a expectativa de sua expansão no período compreendido entre 2011 e 2020. Bem como será apresentada, de uma forma mais detalhada, as principais fontes alternativas, aquelas que apresentam maior expectativa de crescimento, para o Brasil. Serão apresentadas aqui as fontes de energia eólica e Solar, por meio de análise em caráter generalista e posterior ênfase a suas características no território nacional. Maior ênfase será dada a energia eólica, por apresentar uma tendência de maior crescimento para a matriz de energia nacional, com relação à energia solar. A metodologia adotada foi a do estudo do PDE 2020 e posterior estudo das fontes renováveis eólicas e solares.

Palavras-chave: PDE 2020, Matriz Energética Brasileira, Fontes Renováveis, Energias Eólica e Solar.

ABSTRACT

This document presents a brief study of the Ten Year Plan for Energy Expansion in Brazil, EDP 2020. It will examine two main issues: The prospect of consolidation of renewable energy in the Brazilian energy matrix, by the expectation of its expansion in the period between 2011 and 2020. And will be presented in greater detail, the main alternative sources, those with higher expected growth for Brazil. We will present here the sources of wind and solar, by analysis of generalist and further emphasize its features in the national territory. Greater emphasis will be given to wind power, by presenting a trend of higher growth for the national energy matrix, with respect to solar energy. The methodology adopted was the study of PDE 2020 and subsequent study of renewable wind and solar.

Keywords: PDE 2020, Brazilian Energy Matrix, Renewables, Wind and Solar Energy.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.1 – Ciclo do Biocombustível.....	29
Gráfico 2.1 – Aumento da capacidade instalada das fontes alternativas, em MW.....	31
Gráfico 2.2 – Participação das fontes de produção ao final de 2014 e de 2020.....	33
Gráfico 2.3 – Evolução da participação das fontes de energia no SIN.....	34
Gráfico 2.4 – Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (GW e %).....	34
Gráfico 2.5 – Acréscimo de capacidade instalada anual por fonte (MW).....	35
Figura 3.1 – Velocidade Média Anual do vento a 50m de altura.....	38
Figura 3.2 – Turbina eólica moderna.....	39
Mapa 3.3 – Média anual de Insolação diária no Brasil.....	44
Figura 3.4 – Sistema Solar de Aquecimento de Água.....	47
Figura 3.5 – Sistema térmico de geração solar de energia elétrica.....	48
Figura 3.6 – Sistema Fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação.....	50
Figura 3.7 – Sistema Fotovoltaico de bombeamento de água abastecimento.....	51
Figura 3.8 – Sistema Fotovoltaico para atendimento domiciliar - Projeto Ribeirinhas....	52
Figura 4.1 – Foto frontal do BWTC	54
Figura 4.2 – Foto frontal do BWTC em construção.....	55
Figura 4.3 – Vista vertical dos 3 aerogeradores do BWTC.....	55
Figura 4.4 – Imagem do aerogerador acoplado à estrutura horizontal.....	56
Figura 4.5 – Imagem ilustrativa de projeto sustentável em energia	56
Figura 4.6 - Parque piezoeólico na cidade planejada de Masdar	57
Figura 4.7 - Parque piezoeólico na cidade planejada de Masdar	58
Figura 4.8 - Hastes flexíveis de fibra de carbono e base de cerâmica feita com material piezoelétrico.....	59
Figura 4.9 - Utilização do poste autônomo em avenida	61
Figura 4.10 - Partes componentes do poste híbrido.....	62
Figura 4.11 - Micro gerador eólico (Windbelt).....	62
Figura 4.12 - Fenômeno “flutter” no ímã do windbelt	63

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Economia e consumo final energético	23
Tabela 1.2 – Consumo final energético e consumo final por fonte (10^3 tep)	24
Tabela 3.1 – Potência sonora para diferentes modelos de turbinas.....	47
Tabela 3.2 – Níveis de potências sonoras para diversas atividades e fontes.....	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CO₂ - dióxido de carbono

W – Watt

kW – Quilowatt (10^3 W)

MW – Megawatt (10^6 W)

GW – Gigawatt (10^9 W)

TW – Terawatt (10^{12} W)

RPM – Rotações por minuto

m – metro

m² – metro quadrado

MWh - Megawatt (10^6 W) por hora

TWh - Terawatt (10^{12} W) por hora

TWh/ano – Terawatt (10^{12} W) por hora por ano

GWh – Gigawatt (10^9 W) por hora

R\$ - Real Brasileiro

R\$ /MWh – Real Brasileiro / megawatt por hora

UHE – Unidade Hidroelétrica

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

CC - Correntecontínua

WTC - Bahrain World Trade Center

LED – Light Emitting Diode (Tradução: Diodo Emissor de Luz)

PROINFA - Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

CEPEL - Centro de Pesquisas de Energia Elétrica

MME - Ministério de Minas e Energia

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

ONS - Operador Nacional do Sistema Elétrico

SIN - Sistema Interligado Nacional

BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

CHESF - Companhia Hidro-Elétrica do São Francisco

ELETROBRAS – Centrais Elétricas Brasileiras S.A.

NE - Nordeste

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract.....	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	xi
Introdução	14
CAPÍTULO 1	17
1.1 O Plano Decenal de Expansão de Energia, PDE	17
1.2 Cenários de referência	18
1.2.1 Aspectos Demográficos	18
1.2.2 Aspectos Econômicos	19
1.2.3 Aspectos Ambientais	20
1.2.4 Aspectos de Sustentabilidade	22
1.3 Projeções do consumo	22
1.4 Fontes de Energia Elétrica	25
1.5 Ofertas de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis	26
CAPÍTULO 2	27
2.1 Energias Renováveis na Matriz Energética Brasileira	27
2.2 Principais tipos de Energias Renováveis	27
2.2.1 Energia Solar	27
2.2.2 Energia Eólica	28
2.2.3 Energia das Marés	28
2.2.4 Energia da Biomassa	29
2.2.5 Energia dos Biocombustíveis	29
2.3 Expansões de fontes alternativas no PDE 2020	31
2.3.1 Expansão por tipo de fonte	33
3.1 Principais Fontes Renováveis em Expansão do Cenário Decenal, PDE 2020: Eólica e Solar	37
3.2 Energia Eólica	38
3.2.1 Potencial Eólico	38
3.2.2 Turbinas Eólicas	40
3.2.2.1 Pás do Rotor	43
3.2.2.4 Eixo	44
3.2.2.5 Freios	44
3.2.2.6 Caixa Multiplicadora	44
3.2.2.7 Torre	45
3.2.2.8 Sistemas de Controle Aerodinâmico da Potência	45
➤ Estol (Stall) ou Controle Passivo de Perda de Eficiência Aerodinâmica:	45

➤ <i>Passo (Pitch):</i>	46
3.3 Ruído em turbinas Eólicas	46
3.3 Energia Solar	48
3.3.1 Radiação Solar	49
3.3.2 Tecnologias de Aproveitamento	52
➤ Aproveitamentos térmicos	52
➤ Sistemas Fotovoltaicos	54
CAPÍTULO 4	57
4.1 O Estado da Arte	57
4.2 Edifícios Autossuficientes em Energia	57
4.3 Modelos com Hastes Flexíveis	61
4.4 Postes de Iluminação Pública Alimentados por Energias Eólica e Solar	63
4.5 Geradores de Energia Eólica Portáteis	65
CAPÍTULO 5	67
5.1 Conclusão	67
CAPÍTULO 6	69
6.1 Referências Bibliográficas	69

INTRODUÇÃO

É real a preocupação, em escala mundial, com a escassez dos recursos naturais disponíveis no meio ambiente. Antigamente a maior parte de tais recursos era de tal forma abundante que a maioria dos economistas os consideravam ilimitados. Com o passar dos anos e mediante o uso de forma indistinta dos recursos naturais para suportar o crescimento populacional, associado ao desenvolvimento tecnológico que propiciava uma melhor qualidade de vida, estes materiais começaram a dar sinal de esgotamento. Devido a esta constatação é perceptível que o provimento de fontes de energia que suportem a demanda dos gastos associados ao desenvolvimento das sociedades, que cresçam constantemente, precisa ser de tal forma diversificado que o eventual esgotamento de uma matéria prima não implique em fatal estagnação ou mesmo redução nas taxas de crescimento que determinados setores, sejam: industriais, comerciais, de serviço, necessitam alcançar.

A matriz energética brasileira está entre as mais renováveis do mundo, e tem passado por profundas e promissoras mudanças. As fontes renováveis representam 45% da oferta de energia do País, enquanto os países desenvolvidos utilizam em média apenas 14% desse potencial. De acordo com o Plano Nacional de Energia - PNE, este índice deve crescer ainda mais com o passar dos anos. O Brasil dispõe de recursos naturais abundantes e tecnologia avançada para investir na exploração de suas fontes renováveis de energia, como a lenha e o carvão vegetal, produtos da cana de açúcar (etanol, bagaço, caldo e melaço para fins energéticos) e ainda as fontes hidráulica e elétrica, com o maior potencial hidrelétrico do mundo. Hoje, o Brasil investe no desenvolvimento de usinas hidrelétricas nas regiões de fronteiras, em parceria com outros países, e também em novas fontes energéticas limpas e renováveis, como a solar e a eólica. Em agosto de 2011 foi inaugurada no município de Tauá, no sertão do Ceará, a MPX Tauá, primeira usina solar fotovoltaica a gerar eletricidade em escala comercial no Brasil. A usina tem capacidade inicial de geração de 1.0 MW.

Dentre as principais fontes de energias renováveis disponíveis no Brasil daremos enfoque especial à energia eólica, por se tratar de uma forma de energia cujo parque nacional está passando por um período de franco desenvolvimento e cuja perspectiva de consolidação na matriz energética tem sido largamente contemplada no Plano Decenal de Expansão de Energia 2010-2020.

No Brasil, a energia eólica tinha uma capacidade instalada de 1.000 MW em agosto de 2011, suficientes para abastecer uma cidade de cerca de 400 mil residências. Os 36 parques eólicos e fazendas eólicas do país, em 2009, estavam localizados no Nordeste, Sul e Sudeste. Com relação à concentração dos parques eólicos nos estados brasileiros, destacamos a região Nordeste por apresentar clima favorável durante significativa parte do ano. Já o potencial da energia eólica no Brasil é mais intenso de junho a dezembro, coincidindo com os meses de menor intensidade de chuvas. Fazendo com que o vento seja uma potencial fonte suplementar de energia gerada por hidrelétricas. Em 2009, 10 projetos estavam em construção, com uma capacidade de 256 MW, e em 2010, 45 iniciaram sua construção para gerar 2.139 MW, em vários estados. Em 14 de dezembro de 2009, cerca de 1.800 MW foram contratados com 71 usinas de energia eólica programados para serem entregues a partir de 1º de julho de 2012. Até 2014 deve ser atingido uma capacidade instalada de 7.000 MW.

Em 2002 o governo criou o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica-PROINFA para incentivar a utilização de outras fontes renováveis, como eólica, biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas - PCHs. Estas estações podem usar energia hidrelétrica, o carro-chefe da matriz energética do Brasil, que compreende cerca de três quartos da capacidade energética instalada do Brasil. Porém, o alto custo da produção de energia, juntamente com as vantagens da energia eólica como uma fonte de energia renovável, amplamente disponível, tem levado vários países a estabelecer incentivos regulamentando e dirigindo investimentos financeiros para estimular a geração de energia eólica.

Este trabalho tem o principal objetivo de verificar a perspectiva de crescimento da parcela relativa às fontes renováveis de energia na matriz energética brasileira no período decenal 2010 – 2020, mediante dados do setor elétrico brasileiro e em especial daqueles dispostos no Plano Decenal de Expansão de energia 2020.

Propõe-se, ainda, a enfatizar as principais fontes renováveis disponíveis no Brasil e suas importâncias para o planejamento energético decenal, visto sua grande viabilidade para fomentar o desenvolvimento nacional mediante captação dos recursos naturais abundantes, como o sol e os ventos.

Como objetivo específico propõe-se o estudo do plano decenal de expansão de energia 2010 – 2020, no Brasil, focalizando a importância das fontes renováveis na composição da matriz

energética atualmente e sua perspectiva de crescimento. Bem como identificar a importância das energias renováveis comparando-as as demais fontes energéticas disponíveis no Brasil.

Além disso, é proposta uma comparação dos níveis atuais com aqueles que são desejados alcançarem, enfatizando a viabilidade de execução das propostas contidas no plano decenal 2010 – 2020.

O capítulo 1 aborda o Plano Decenal de Expansão da energia no Brasil, dando ênfase ao cenário de referência que o norteia. São explicitados fatores relacionados aos aspectos demográficos, econômicos, ambientais e de sustentabilidade.

O capítulo 2 descreve a importância das fontes alternativas na matriz energética brasileira, mediante sua importância e perspectiva de consolidação no plano de expansão decenal, PDE 2020.

O capítulo 3 enfatiza as fontes de energia eólica e solar, por serem as fontes alternativas que apresentam maior perspectiva de crescimento no plano decenal. Além disso, a importância de tais fontes é reforçada no Balanço Energético Nacional, BEN 2011.

O capítulo 4 traz uma abordagem do estado da arte para as fontes de energia eólica e solar. Apresenta o que há de mais inovador no mercado, relacionado ao tema, tornando clara a importância do investimento no desenvolvimento destas fontes energéticas. Além disso, é possível verificar os benefícios que têm sido alcançados, com ênfase a diminuição dos impactos ambientais.

O capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho, enfatizando os resultados que serão atingidos ao final do período decenal. Traz, também, um fechamento do estudo aqui apresentado e um direcionamento relacionado às novas perspectivas do objeto de estudo, a expansão das fontes alternativas na matriz energética brasileira.

O capítulo 6 apresenta as referências bibliográficas que foram usadas no decorrer do estudo e que possibilitaram um maior embasamento teórico do tema.

CAPITULO 1

1.1 O PLANO DECENAL DE EXPANSÃO DE ENERGIA, PDE

No Brasil, o desenvolvimento do setor de energia tem sido acompanhado e projetado através de pesquisas que são realizadas em todo o território nacional e que possuem como objetivo principal identificar, bem como viabilizar, os principais meios para que o setor seja fortalecido. Tais resultados são levantados pela Empresa de Pesquisa Energética – EPE, mediante a obtenção dos dados referentes a cada fonte de energia que compõe a matriz energética nacional em um determinado ano e a partir daí é projetado o desenvolvimento de cada fonte de energia para os dez anos seguintes. Tais projeções levam em consideração fatores relacionados à quantidade de matérias primas disponíveis, fatores climáticos, sociais, ambientais etc.

O Estado Brasileiro exerce, na forma da lei, as funções de planejamento, sendo este determinante para o setor público e indicativo para o setor privado. No setor energético, compete ao Conselho Nacional de Política Energética – CNPE o estabelecimento de políticas e diretrizes, visando ao desenvolvimento nacional sustentado.

O Plano Decenal de Expansão de Energia 2020 é um instrumento de planejamento para o setor energético nacional, que define as estratégias de desenvolvimento do país a serem adotadas pelo governo incorporando uma visão integrada da expansão da demanda e da oferta de diversas fontes de energia no período 2011-2020. A elaboração pela EPE dos estudos associados a tal Plano se desenvolveu contando com as diretrizes e o apoio da equipe da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético – SPE/MME e da Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Combustíveis Renováveis – SPG/MME. A participação de técnicos das empresas do setor elétrico ao longo dos trabalhos, bem como as contribuições de diversos órgãos e entidades recebidas durante o processo de Consulta Pública sobre o Plano anterior, possibilitou aprimorar a qualidade das análises efetuadas.

No que se refere ao ambiente econômico, o ano de 2010 foi marcado pela forte expansão do nível de atividade doméstico, consolidando-se a retomada verificada a partir de meados de 2009. Por meio desse bom desempenho, tem se solidificado um relativo consenso entre os diversos analistas de que as perspectivas de crescimento da economia brasileira serão bastante favoráveis nos próximos anos. Somada a essa visão favorável, está à expectativa de que a economia mundial conseguirá evitar um segundo mergulho, porém ao custo de alguns anos de baixo crescimento nas economias desenvolvidas.

No caso dos emergentes, prevalece a perspectiva de que sua expansão deverá ser mais acelerada. Neste cenário, o país, ajudado pela construção de fundamentos macroeconômicos mais sólidos ao longo dos últimos anos, cresce a uma taxa superior à média mundial no horizonte decenal. No que concerne ao setor elétrico, ressalta-se a continuidade dada ao sucesso dos leilões de energia nova e de reserva, por meio dos quais foram comercializados em 2010, em cinco leilões, cerca de 17.000 MW de potência, correspondente a aproximadamente 5.600 MW médios para o mercado regulado. Estão incluídas neste total, vale destacar, a energia proveniente do aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte, com potência de 11.233 MW, e a geração de origem eólica, com uma potência total de cerca de 2.000 MW. Foi também dado prosseguimento ao exitoso processo das licitações de empreendimentos de transmissão, tendo sido licitado em 2010, em três leilões, um total da ordem de 1.600 km de linhas de transmissão. Quanto à expansão da geração no horizonte do presente Plano, foi mantida a significativa participação das fontes renováveis na matriz elétrica a partir do ano de 2014, contribuindo para o desenvolvimento sustentável das fontes de geração, diretriz esta reafirmada pelo preço competitivo destas fontes demonstrado nos últimos leilões de energia.

1.2 CENÁRIOS DE REFERÊNCIA

O PDE 2020 foi desenvolvido levando em consideração alguns aspectos que juntos são de fundamental importância ao setor de energia. Fatores relacionados à densidade demográfica, socioeconômicos e ambientais figuram entre os principais deles.

1.2.1 ASPECTOS DEMOGRÁFICOS

Fatores relacionados à densidade demográfica são muito relevantes para que sejam determinados níveis da demanda de energia para uma determinada região. Quanto maior o número de habitantes de um setor, maior será o gasto energético deste, pois à medida que as cidades crescem trazem consigo a necessidade de expansão de seus recursos energéticos de forma a fomentarem tal desenvolvimento. Com respeito aos aspectos demográficos de uma região é possível também projetar uma demanda energética específica para um determinado setor, por exemplo, o residencial ou mesmo o industrial.

Para o exemplo do setor residencial podemos identificar algumas variáveis de interesse, como população, número de domicílios e número de habitantes por domicílio. Quanto maior o

número de pessoas em uma casa maior será a necessidade de uso de aparelhos elétricos comuns às atividades diárias, fazendo com que o gasto energético aumente. Em uma visão maior, mais generalista, isso fará com que a demanda energética da região aumente e as concessionárias de energia tenham que viabilizar meios para suprir as necessidades impostas. A expansão do fornecimento de uma determinada forma de energia deve levar em consideração, também, se existem perspectivas reais de crescimento populacional, desta forma a região não sofrerá dificuldades para se desenvolver e alcançar maiores níveis de desenvolvimento.

Durante quase todo o seu tempo histórico, o Homem dispôs somente da energia de sua própria força muscular e da tração animal, do calor da lenha e da captação do movimento das águas e dos ventos. A invenção da máquina a vapor há trezentos anos e a utilização do petróleo a partir do século XIX possibilitaram novas condições e qualidade de vida, mas criaram também novas situações econômicas, sociais e ambientais na busca dessa energia. Contudo, associado à descoberta e ao aprimoramento de novas fontes de energia o homem pôde aprimorar-se e alcançar o nível de desenvolvimento social que verificamos hoje, atrelando assim uma alta densidade demográfica nas regiões de maior interesse social, sejam por aspectos econômicos, sociais etc.

1.2.2 ASPECTOS ECONÔMICOS

O setor energético é extremamente sensível aos fatores econômicos, pois o desenvolvimento de todos os setores de uma sociedade está intimamente ligado ao poder de compra desta. Se em uma sociedade o capital passa a circular de uma forma mais retraída as pessoas terão menos condições de comprarem e assim aumentarem seus gastos energéticos que em uma visão mais abrangente fará com que o setor energético não se desenvolva de uma forma eficaz. O cenário de referência do PDE 2020 considerou que as perspectivas de crescimento da economia brasileira serão favoráveis nos próximos anos.

Um aspecto relevante a ser considerado são as baixas que ocorrem no cenário econômico, por exemplo, a crise econômica de 2008 que afetou de uma forma bastante negativa a economia mundial e que teve desdobramentos em diversos setores por um período prolongado. Tais crises podem vir a desestabilizar o ritmo de crescimento de uma região de tal forma que isto influencie diretamente o setor de energia.

A evolução da demanda por energia é estabelecida a partir do estudo de cenários de longo prazo no qual são delineadas as principais condições de contorno, especialmente as do

contexto econômico. A partir dessa visão de longo prazo, recortes temporais de horizontes menores podem ser determinados, obtendo-se, dessa maneira, trajetórias consistentes ao longo do tempo para as variáveis de interesse. Nesse sentido, o cenário de interesse do PDE 2020 pode ser visto como um recorte de menor horizonte do cenário de interesse dos estudos de longo prazo que a EPE elabora. Desta feita, modificações em quaisquer variáveis do sistema econômico serão estudadas de forma a serem determinadas alternativas que minimizem ou mesmo contornem os danos associados a estas, resultando em ajustes consecutivos no planejamento e no desenvolvimento das ações, de forma que os resultados alcançados ao final do período de interesse, neste caso 2020, apresentem pequenos erros.

Contudo, as perspectivas para os próximos anos indicam um crescimento econômico moderado nos países avançados, afastando momentaneamente uma crise mais profunda, enquanto os países emergentes continuam a puxar o ritmo de atividade mundial. A recuperação observada nas economias desenvolvidas, obtida com ampla atuação dos governos nacionais, evitou o aprofundamento da crise financeira. No entanto, permanecem dúvidas com relação à intensidade e ao ritmo de recuperação dessas economias por conta de suas relativamente elevadas taxas de desemprego e de seus níveis de endividamento público.

As pesquisas energéticas contribuem para profundas modificações no nosso sistema energético com a abertura dos mercados, o fim dos monopólios públicos, novas regras sobre preços, taxas, especificações ambientais e especificações técnicas dos produtos energéticos. O objetivo central da política energética é, obviamente, o de responder às necessidades em energia induzidas pelo desenvolvimento socioeconômico, estimulando a escolha de opções mais eficientes e racionais, num quadro equilibrado, jogando na segurança, diversificação e concorrência das fontes, na flexibilidade e clareza do sistema energético e na minimização dos custos.

1.2.3 ASPECTOS AMBIENTAIS

As características ambientais de uma região são muito importantes para o estabelecimento de seu setor energético. Como é sabido, existem várias fontes de energia disponíveis na natureza, estas relacionadas aos aspectos ambientais das diversas regiões e de certa maneira particulares de forma a identificarem as regiões relacionando-as a implantação de determinadas formas de fornecimento energético em detrimento de outras. No Brasil, em decorrência de um abundante manancial hídrico, é natural encontramos fontes energéticas que

se utilizem deste recurso para o provimento energético de boa parte da demanda de energia nacional, mais de 70% da demanda energética é suprida por **UHE**¹.

A matriz energética brasileira encontra-se entre as mais diversificadas do mundo, muito disso deve-se as características ambientais do nosso território que por ser de dimensões continentais acarreta mudanças climáticas e topográficas em níveis acentuados, verificáveis quando do levantamento das características entre regiões. A região Nordeste, por exemplo, tem por característica preponderante o clima seco que é mais favorável a ventos intensos e ocorrência de sol forte em demasiada parcela do ano. Mediante a tais características o desenvolvimento e o conseqüente fortalecimento de formas de captação energéticas relacionadas às energias eólicas e solares tem se apresentado como de altíssima relevância para o suprimento de demandas de energia nessas regiões.

Por um lado a energia é fundamental para o desenvolvimento de qualquer sociedade, sendo o principal insumo para o crescimento econômico e social, por outro lado abrange um grande número de complexos impactos ao meio ambiente, indo desde impactos locais até problemas de ordem universal. Especificamente com relação à hidroeletricidade, as usinas hidrelétricas, de uma forma geral, produzem grandes impactos sobre o meio ambiente, que são verificados ao longo e além do tempo de vida da usina e do projeto, bem como ao longo do espaço físico envolvido. Os impactos mais significativos e complexos ocorrem nas fases de construção e de operação da usina, os quais poderão afetar o andamento das próprias obras. Os principais impactos referem-se ao alagamento de áreas rurais, cobertas, dependendo do caso, por matas ou com ocupações humanas. Outro aspecto que deve ser considerado é que a base hidráulica da matriz energética no Brasil tem a sua razão de ser. Esta energia está entre as mais utilizadas em todo o mundo devido principalmente ao seu baixo custo, o que faz com que seja aproveitada em todos os países que tem a sua disposição extensas redes hidrográficas com capacidade de gerar energia, como Brasil e Canadá.

Segundo ROSA² (1995), a hidroeletricidade, para a situação brasileira, é considerada a melhor solução técnica e econômica, em face dos riscos ambientais e dos custos, se comparada com a energia nuclear. Sendo também a melhor alternativa de geração elétrica quando comparada com a termoeletricidade a combustíveis fósseis, pois tem como vantagens o fato de ser renovável e disponível no país.

Pelos pontos abordados é conclusivo que o desenvolvimento regional é fortemente sensível aos recursos de energia que a compõem e que estes estão relacionados às

¹ **UHE** é a abreviação para usinas hidroelétricas.

² ROSA, L.P., SIGAUD, L., LA ROVERE, E.L., MAGRINI, A., POOLE, A., FEARNSIDE, P., 1995, Estado, Energia Elétrica e Meio Ambiente: O Caso das Grandes Barragens. COOPE/UFRJ.

características ambientais que as englobam. A escolha por qual forma de energia que será desenvolvida deve levar em conta os recursos disponíveis e a perspectiva de renovação destes, de forma que tais recursos não sejam esgotados e o desenvolvimento regional seja prejudicado em decorrência de tal ocorrência.

1.2.4 ASPECTOS DE SUSTENTABILIDADE

Com relação à análise socioambiental, em razão das particularidades de cada fonte, o estudo abordou de forma individualizada cada uma, tanto na produção e transmissão de energia elétrica, como na produção e oferta de petróleo, gás natural e biocombustíveis. A avaliação socioambiental dos projetos de energia elétrica compreendeu três etapas: a análise de um conjunto de indicadores de desenvolvimento sustentável por projeto, resultando em um índice de sustentabilidade; a análise processual; e a indicação de diretrizes e ações para aumentar a sustentabilidade dos projetos e do plano como um todo.

Na análise dos aspectos socioambientais para petróleo, gás natural e biocombustíveis líquidos, etanol e biodiesel, foram aplicados critérios e procedimentos, e avaliados indicadores específicos para cada energético. Assim, foi feita uma avaliação da sensibilidade ambiental das regiões onde se localizam as reservas de petróleo e gás natural, cuja exploração é planejada, e uma avaliação temporal do respectivo licenciamento ambiental. Com relação à geração hidrelétrica dos 24 projetos avaliados todos obtiveram no mínimo a classificação de “média sustentabilidade”, sendo que sete deles (29%) foram avaliados como de “alta sustentabilidade”. Dos 109 projetos de linhas de transmissão analisados, sete (6%) foram classificados como de “muito alta sustentabilidade”, 91 (84%) como de “alta sustentabilidade” e 11 (10%) como de “média sustentabilidade”.

1.3 PROJEÇÕES DO CONSUMO

Após o estabelecimento do cenário de referência que norteia o desenvolvimento do PDE 2020, foi possível fazer uma previsão do consumo para o setor de energia do Brasil na perspectiva de abranger, de forma coerente, todo período de interesse, os próximos dez anos. No entanto, trata-se de uma tendência e não podemos inferir que tais dados de projeção sejam necessariamente atingidos, o que leva a repetidas atualizações dos dados obtidos com sentido a reduzir incongruências. A projeção consolidada do consumo final energético para o horizonte de 2020 é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1.1 – Economia e consumo final energético

Discriminação	2011	2015	2020	Variação anual (%)*		
				2010/ 2015	2015/ 2020	2010/ 2020
PIB (10 ⁹ R\$ [2008])	3.360	4.084	5.212	5,0	5,0	5,0
População Residente (10 ³ habitantes)	193.176	198.921	205.003	0,8	0,6	0,7
PIB per capita (R\$ [2008]/hab/ano)	17.393	20.531	25.426	4,2	4,4	4,3
Consumo Final Energético (10 ³ tep)	237.697	292.418	372.004	5,6	4,9	5,3
Consumo Final de energia per capita (tep/hab/ano)	1,23	1,47	1,81	4,8	4,3	4,6
Intensidade Energética da Economia (tep/10 ³ R\$ [2008])	0,071	0,072	0,071	-	-	-
Elasticidade-renda do consumo de energia ²	-	-	-	1,12	0,99	1,05

(1) Os valores de consumo final incluem o consumo do setor energético.

(2) O valor de elasticidade-renda refere-se à sua média no período indicado.

(*) Variações médias no períodos indicados a partir de 2010 e 2015.

Fonte: EPE

Como podemos verificar na tabela 1, o PIB tende a crescer no período de interesse do plano chegando a atingir R\$ 5.212 bilhões no ano de 2020. Quanto à população brasileira a perspectiva é de um expressivo crescimento de forma que venhamos a passar de uma população de 193,176 milhões em 2011 para 205,003 milhões ao final do período decenal.

Ponto de grande relevância na tabela nos mostra a projeção do crescimento do consumo energético no Brasil para o período, que deve passar de 237,697 milhões para 372,004 milhões, medidos em **tep**³, o que nos revela a tendência de um forte crescimento no consumo energético nacional, fazendo com que as diferentes fontes que compõem a matriz energética brasileira sejam cada vez mais consolidadas de forma a absorver as fontes de energia que apresentam menos desequilíbrios ao meio ambiente, as energias renováveis.

Ainda segundo o PDE 2020, no primeiro quinquênio do período decenal, a demanda de energia deverá crescer a um ritmo mais acelerado do que o consumo de eletricidade, principalmente em função das especificidades do cenário de expansão da indústria nesse horizonte. Algumas das premissas que justificam esse comportamento são:

- O consumo de gás natural cresce acentuadamente em razão da expansão do refino e da indústria de insumos para fertilizantes (produção de amônia e uréia), que não encontra paralelo no passado recente;

³ A **tonelada equivalente de petróleo (tep)** é a unidade comum na qual se convertem as unidades de medida das diferentes formas de energia utilizadas no BEN. Os fatores de conversão são calculados com base no poder calorífico superior de cada energético em relação ao do petróleo, de 10800 kcal/kg.

- É expressivo o crescimento do consumo de carvão mineral e de coque de carvão, devido à expansão da indústria siderúrgica concentrada na rota tecnológica constituída por usinas integradas a coque, para as quais a eletricidade representa, em média, pouco mais de 3% do consumo total de energia, enquanto o carvão mineral, juntamente com o coque e finos de carvão, responde por quase 70% desse consumo. Além disso, boa parte da expansão será composta por usinas destinadas à exportação de placas, não contemplando, portanto, a fase de laminação, que é eletro intensivo;
- Na cadeia do alumínio, há forte expansão da extração de bauxita e da produção de alumina, em contraste com uma modesta expansão da produção de alumínio primário. A produção de alumínio primário é eletro intensivo, enquanto as de alumina e bauxita demandam mais de outras fontes de energia, como o óleo combustível e o gás natural. A Tabela 2 apresenta as projeções do consumo final energético brasileiro desagregado por fonte.

Tabela 1.2 – Consumo final energético e consumo final por fonte (10³ tep)

Discriminação	2011		2015		2020		Variação anual (%)*		
	10 ³ tep	%	10 ³ tep	%	10 ³ tep	%	2010/ 2015	2015/ 2020	2010/ 2020
Gás natural	19.103	8,0	28.044	9,6	42.000	11,3	11,1	8,4	9,8
Carvão mineral e coque	10.432	4,4	15.317	5,2	18.467	5,0	9,3	3,8	6,5
Lenha	17.563	7,4	19.429	6,6	21.528	5,8	2,4	2,1	2,2
Carvão vegetal	5.607	2,4	7.237	2,5	7.736	2,1	7,0	1,3	4,2
Bagaço de cana	31.930	13,4	40.001	13,7	50.698	13,6	6,5	4,9	5,7
Eletricidade	41.197	17,3	49.980	17,1	62.786	16,9	5,1	4,7	4,9
Etanol	12.291	5,2	20.931	7,2	32.336	8,7	12,5	9,1	10,8
Biodiesel	2.093	0,9	2.563	0,9	4.581	1,2	5,3	12,3	8,8
Outros	7.570	3,2	10.256	3,5	13.217	3,6	7,0	5,2	6,1
Derivados de petróleo	89.910	37,8	98.660	33,7	118.656	31,9	3,1	3,8	3,4
Óleo diesel	39.776	16,7	48.694	16,7	60.857	16,4	5,3	4,6	4,9
Óleo combustível	6.540	2,8	7.787	2,7	8.953	2,4	3,9	2,8	3,4
Gasolina	19.009	8,0	13.993	4,8	16.690	4,5	-4,0	3,6	-0,3
GLP	8.186	3,4	9.038	3,1	10.087	2,7	2,5	2,2	2,4
Querosene	3.674	1,5	4.524	1,5	5.834	1,6	5,3	5,2	5,3
Outros derivados de petróleo	12.724	5,4	14.624	5,0	16.234	4,4	3,7	2,1	2,9
Consumo final energético	237.697	100,0	292.418	100,0	372.004	100,0	5,6	4,9	5,3

(*) Variações médias no períodos indicados a partir de 2010 e 2015.

Fonte: EPE

Mediante a tabela 2 podemos verificar quais as fontes energéticas que contribuem mais enfaticamente para o consumo energético. Podemos destacar o Etanol e o Biodiesel que juntos devem passar de 6,1% em 2011 para 9,9% em 2020. Além disso, o PDE 2020 destaca que com relação aos derivados de petróleo, observa-se expressiva queda de participação no consumo final energético nacional, de 38,1%, em 2010, para 31,9%, em 2020. A principal

razão para isso é a maior penetração do etanol, em detrimento da gasolina, cuja parcela no consumo final energético brasileiro reduz-se de 7,7% para 4,5%. O GLP também contribui para a perda da importância dos derivados de petróleo, passando de 3,6% para 2,7% na participação, em parte devido à substituição pelo gás natural, em parte devido à saturação do consumo nas residências. E o óleo diesel (mineral) ainda registra queda de participação no período em questão, passando de 16,9% para 16,4%, em razão da maior utilização do biodiesel. Com efeito, se for considerada a adição do biodiesel, o diesel praticamente mantém a sua participação relativa, passando de 17,8% para 17,6% entre 2010 e 2020.

1.4 FONTES DE ENERGIA ELÉTRICA

No setor de energia elétrica o PDE 2020 prevê que a capacidade instalada no Sistema Interligado Nacional sairá de 110 GW, registrada em dezembro de 2010, para 171GW em dezembro de 2020, com priorização das fontes renováveis: hidráulica, eólica e biomassa. A participação das hidrelétricas cairá de 76% para 67% e a geração oriunda de fontes alternativas, como a de usinas eólicas, de térmicas à biomassa e de PCH, sairá de 8% para 16%. A geração eólica será a principal aposta, aumentando sua participação atual de 1% para 7%. Para tanto será necessário um investimento da ordem de R\$ 190 bilhões. Assim, a representatividade de fontes renováveis na matriz elétrica brasileira se manterá em torno de 83% ao final do decênio. Apesar da forte intenção de priorização das usinas hidrelétricas e das fontes alternativas, estas dependem, para participarem dos leilões de energia nova, da obtenção de Licenças Ambientais Prévias. Por isso, em caso de atrasos, a alternativa apontada no PDE é de expansão por meio de projetos termelétricos, preferencialmente aqueles movidos a gás natural. Com relação ao sistema de transmissão interligado, que em 2010 estava na ordem de 100.000 km, a previsão é que seja expandido para cerca de 142.000 km em 2020. Grande parte dessa expansão virá com os grandes troncos de transmissão associados às interligações das usinas da região Norte, entre as quais Jirau e Santo Antônio, no Rio Madeira, e Belo Monte, com o resto do país. A estimativa total de investimentos no período decenal atinge cerca de R\$ 46,4 bilhões, sendo R\$ 30 bilhões em linhas de transmissão e R\$ 16,4 bilhões em subestações, incluindo as instalações de fronteira.

1.5 OFERTAS DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS

Segundo o estudo a grande expectativa é de que com a exploração do **Pré-sal**⁴ o país praticamente triplique sua produção, que passará dos 2,1 milhões de barris diários em 2010 para 6,1 milhões de barris por dia em 2020. Outra projeção é de que 50% da produção brasileira seja destinada ao mercado externo. Com relação ao gás natural, projeta-se uma forte ampliação dos atuais 58 milhões de m³/dia para 142 milhões de m³/dia em 2020. Para tanto devem ser investidos cerca de R\$ 510 bilhões para as atividades de exploração e produção de petróleo e gás natural no Brasil. Na esfera dos biocombustíveis calcula-se que o aumento significativo da frota de veículos flex-fuel e à competitividade do preço do etanol hidratado em relação à gasolina triplicará a demanda atual, atingindo 73 bilhões de litros em 2020, dos quais 6,8 bilhões de litros destinados à exportação. Com relação aos investimentos a expectativa é de que sejam investidos R\$ 97 bilhões até o final desta década, concentrados quase que integralmente na oferta de etanol.

⁴O **PRÉ-SAL** é uma camada de petróleo localizada em grandes profundidades, sob as águas oceânicas, abaixo de uma espessa camada de sal. No final de 2007, foi encontrada uma extensa reserva de petróleo e gás natural nessa camada, em uma faixa que se estende por 800km entre o Espírito Santo e Santa Catarina.

CAPÍTULO 2

2.1 ENERGIAS RENOVÁVEIS NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A denominação energia renovável faz referência a um conjunto de fontes energéticas que possuem a característica de não poluírem o meio ambiente. Como exemplo de energia renovável temos a energia eólica que é produzida através de correntes de ventos, a energia solar que é obtida pelos raios solares, a hidrelétrica que é fornecida através da movimentação da água, entre outras. São classificadas como energias renováveis, porque são produzidas com o uso de recursos renováveis, movimento da água, luz solar, vento etc.

Para o desenvolvimento de técnicas que possibilitem a geração de energia proveniente de recursos naturais renováveis é necessário um investimento específico para cada tipo de técnica, tanto científico, no custeio a pesquisas de interesse que se relacionam com as fontes de energia, bem como na aquisição de materiais e instrumentos que possibilitarão a captação de tais recursos naturais para a posterior conversão energética em formas compatíveis ao uso requerido, independente das características dos usuários finais. Setores residenciais ou industriais, por exemplo.

A seguir os principais exemplos de fontes de energias renováveis, acompanhadas de seus pontos mais positivos e também os mais negativos.

2.2 PRINCIPAIS TIPOS DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

A seguir uma breve descrição das cinco fontes renováveis consideradas como as principais, a saber: Energia solar; Energia eólica; Energia das marés; Energia da biomassa e a Energia dos biocombustíveis.

2.2.1 ENERGIA SOLAR

A energia luminosa do sol é transformada em eletricidade por um dispositivo eletrônico, a célula fotovoltaica. Os principais produtores mundiais de energia solar são Japão e EUA. Como fator mais positivo podemos evidenciar o fato de ser uma fonte inesgotável de energia, além do mais sua implantação é conseguida por meio de equipamentos de baixa manutenção. Quanto a sua usabilidade podemos destacar o abastecimento de locais aonde a rede elétrica

comum não chega. A energia solar possui como principal fator limitante o fato de que sua produção é interrompida à noite e diminuída em dias de chuva, neve ou em locais com poucas horas de sol.

2.2.2 ENERGIA EÓLICA

A geração da energia eólica se dá segundo o seguinte princípio: O vento gira as pás de um gigantesco cata-vento, que aciona um gerador, produzindo corrente elétrica. Os maiores produtores mundiais são Alemanha, Espanha e EUA. Trata-se, também, de uma fonte inesgotável de energia e como maior requisito de usabilidade também é usada para abastecer locais aonde a rede elétrica comum não chega. Apresenta como fatores inconvenientes a poluição visual, um parque eólico pode ter centenas de cata-ventos e, às vezes, sonora, alguns cata-ventos são muito barulhentos, morte de pássaros que, muitas vezes, se chocam com as pás dos cata-ventos.

2.2.3 ENERGIA DAS MARÉS

A energia das mares é a energia que se obtém a partir do movimento das ondas, das marés, ou da diferença de temperatura entre os níveis da água do mar. Ocorre devido à força gravitacional entre a Lua, a Terra e o Sol, que causam as marés, ou seja, a diferença de altura média dos mares de acordo com a posição relativa entre estes três astros. As águas do mar movimentam uma turbina que aciona um gerador de eletricidade, num processo similar ao da energia eólica. A diferença de altura que determina as marés pode ser explorada em locais estratégicos como os golfos, baías e estuários que utilizam turbinas hidráulicas na circulação natural da água, junto com os mecanismos de canalização e de depósito, para avançar sobre um eixo. Através da sua ligação a um alternador, o sistema pode ser usado para a geração de eletricidade, transformando, assim, a energia das marés, em energia elétrica, uma energia mais útil e aproveitável.

Como fator de maior relevância destaca-se como uma fonte de energia abundante capaz de abastecer milhares de cidades costeiras. Por outro lado a diferença de nível das marés ao

longo do dia deve ser de ao menos 5 metros e a produção energética é irregular devido ao ciclo da maré, que dura 12h30.

2.2.4 ENERGIA DA BIOMASSA

A energia da biomassa é a energia que se obtém durante a transformação de produtos de origem animal e vegetal para a produção de energia calorífica e elétrica. Na transformação de resíduos orgânicos é possível obter biocombustíveis, como o biogás, o bioálcool e o biodiesel. O Biogás é obtido da transformação de excrementos animais e lixo orgânico, como restos de alimentos, em uma mistura gasosa, que substitui o gás de cozinha, derivado do petróleo. A matéria-prima é fermentada por bactérias num biodigestor, liberando gás e adubo. A formação de biomassa a partir de energia solar é realizada pelo processo denominado fotossíntese, pelas plantas que, por sua vez, estarão acionando a cadeia biológica. Através da fotossíntese, plantas que contêm clorofila transformam o dióxido de carbono e a água mineral a partir de produtos sem valor energético, em materiais orgânicos com alto teor energético e, por sua vez, servem de alimento para os outros seres vivos. A biomassa através destes processos armazena, em curto prazo, a energia solar sob a forma de hidrocarbonetos. A energia armazenada no processo fotossintético pode ser posteriormente transformada em calor a partir de plantas, liberando novamente o dióxido de carbono e a água armazenados. Esse calor pode ser usado para mover motores à explosão ou esquentar água para gerar vapor e mover uma turbina, gerando energia elétrica.

Em síntese, podemos listar como mais positivo o fato da biomassa substituir diretamente o petróleo, dá um fim ecológico ao lixo orgânico, gerar fertilizante, os produtores rurais podem produzir e até vender o gás, em vez de pagar por ele. Negativamente destacamos o fato de o gás ser de difícil armazenamento.

2.2.5 ENERGIA DOS BIOCOMBUSTÍVEIS

Os biocombustíveis são obtidos a partir da cana-de-açúcar, do milho, de oleaginosas, resíduos agropecuários, dentre outras fontes. Além disso, compreendem a geração de etanol e biodiesel para veículos automotores a partir de produtos agrícolas, como semente de mamona e cascas, galhos e folhas de árvores, que sofrem processos físico-químicos. O Brasil está entre

os maiores produtores mundiais. Os biocombustíveis substituem diretamente o petróleo e os vegetais usados na fabricação absorvem CO₂ em sua fase de crescimento. Um ponto negativo é que a produção da matéria-prima ocupa terras destinadas a plantio de alimentos.

Por outro lado existem as fontes não renováveis, como petróleo, que mais cedo ou mais tarde ficará extinto. Este acontecimento seria visto como um bem para a nação, uma vez que os mais perigosos poluentes provêm da queima de combustível oriundo de fonte não renovável. O carvão mineral também é um exemplo de fonte não renovável, considerando a matéria-prima necessária para sua obtenção como objeto de exploração. Se milhares de árvores são cortadas diariamente, o plantio de novas para tornar o processo renovável é praticamente inútil.

Ciclagem do gás carbônico – CO₂:



Figura 2.1 – Ciclo do Biocombustível

Como se pode ver na figura 1, o CO₂ eliminado pelo veículo é reutilizado pelas plantas para a produção de mais biomassa, através da fotossíntese⁵. Parte dessa matéria orgânica produzida é usada para a produção de mais biocombustível, com devolução de CO₂ para a atmosfera. Dessa forma, o equilíbrio consumo-liberação de CO₂ pode ser estabelecido e a concentração do CO₂ pode estabilizar. Com os combustíveis fósseis (gasolina, óleo diesel, carvão, gás natural) esse equilíbrio não acontece.

⁵ **Fotossíntese** é um processo físico-químico realizado pelos seres vivos clorofilados, em que eles utilizam dióxido de carbono, CO₂, e água, H₂O, para obter glicose, C₆H₁₂O₆, através da energia da luz.

2.3 EXPANSÕES DE FONTES ALTERNATIVAS NO PDE 2020

O PDE 2020 prevê crescimento médio anual de 12% para as fontes alternativas. Isso faz com que sua participação no parque de geração da energia nacional passe dos atuais 8%, 9,0 GW, para 16%, 27,0 GW, no ano de 2020. Para se ter uma ideia da importância das fontes alternativas, esse crescimento equivalerá a construção de uma usina 50% maior que Itaipu.

A previsão do PDE 2020 é que o crescimento das fontes alternativas seja bem superior ao das hidrelétricas e termelétricas. A principal matriz brasileira, embora continue crescendo, terá sua participação reduzida dos atuais 75% (83 GW) para 67% (115 GW), e a participação das termelétricas diminuirá de 16% (16 GW) para 15% (25 GW) em 2020. É importante registrar que o poder público tem se mostrado disposto em subsidiar essas fontes de energia, apesar da alta carga tributária que reduz a competitividade brasileira. Isso fica claro na participação exclusiva de usinas de biomassa e eólica no 4º Leilão de Energia de Reserva em agosto de 2011 e no Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA⁶, prorrogado por mais um ano. Além do mais, a existência de um setor específico no BNDES⁷ para financiamento de empreendimentos relacionados às energias alternativas e sua previsão de liberar nesse ano para atividades relacionadas à energia eólica o triplo do anterior, atingindo a quantia de R\$ 2,5 bilhões, corroboram a disposição federal para incentivar o setor. Alguns governos estaduais também estão adotando medidas de incentivo às fontes alternativas. É o caso de São Paulo, que reduziu os tributos que incidem sobre equipamentos para geração de energia solar e eólica. Nessa perspectiva, as oportunidades de negócios envolvendo as fontes alternativas de energia são extraordinárias, razão pela qual o setor atrai bilhões de reais em investimentos por ano. Quanto aos incentivos da maioria dos entes públicos, os empreendedores devem estar atentos à ausência de um marco regulatório quanto às exigências ambientais prévias à instalação de novos empreendimentos, cercado-se de cuidados jurídicos que reduzam os riscos do investimento. A complexa legislação ambiental, embora ampla, não preenche lacunas fundamentais, como a falta de regras claras para definição do órgão competente para o licenciamento ambiental, conferindo pouca sustentação legal aos projetos de desenvolvimento energético. Essa realidade não só acarreta conflitos entre empreendedor, Ministério Público, ONGs⁸ e entre os próprios órgãos públicos, como

⁶O Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica - PROINFA, conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN).

⁷O Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social - BNDES é uma empresa pública federal brasileira, vinculada ao Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, que tem por objetivo apoiar empreendimentos que visem o desenvolvimento nacional.

⁸ONG é a sigla para Organizações Não Governamentais.

estimula uma excessiva judicialização do licenciamento ambiental. Por sua vez, a duvidosa qualidade dos estudos técnicos contribui pouco para suprir a falta de profissionais qualificados nos órgãos públicos. O resultado de tudo pode ser um procedimento caro, moroso, burocrático e – o pior de tudo – imprevisível, prejudicial aos interesses de empreendedores e do país. O PDE 2020 traz a perspectiva de expansão das fontes de energia renováveis por região, conforme podemos analisar no gráfico 1 a seguir.

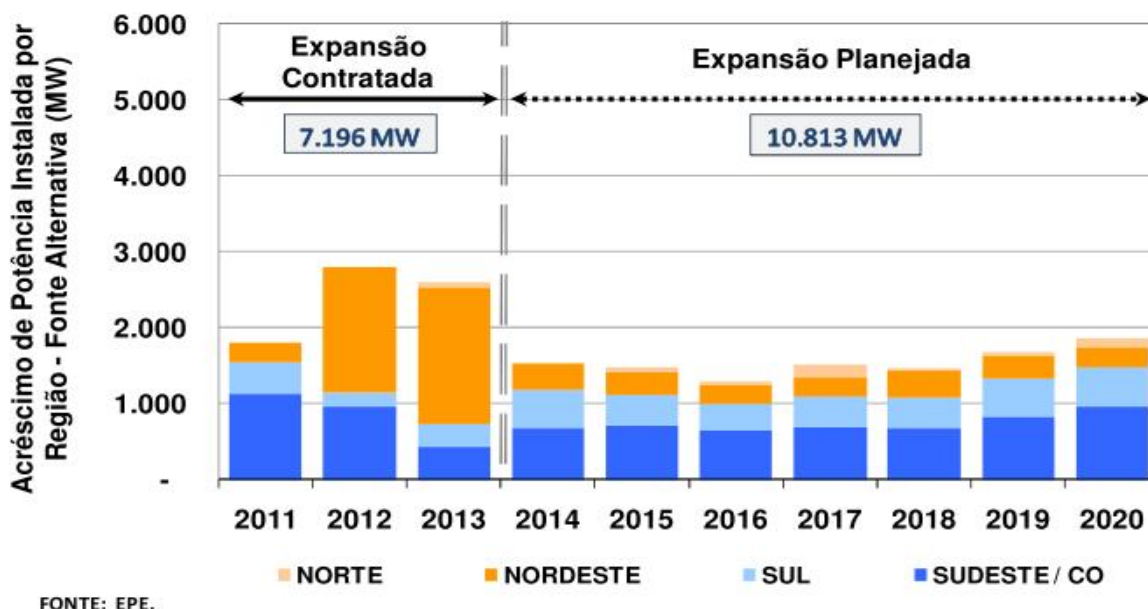


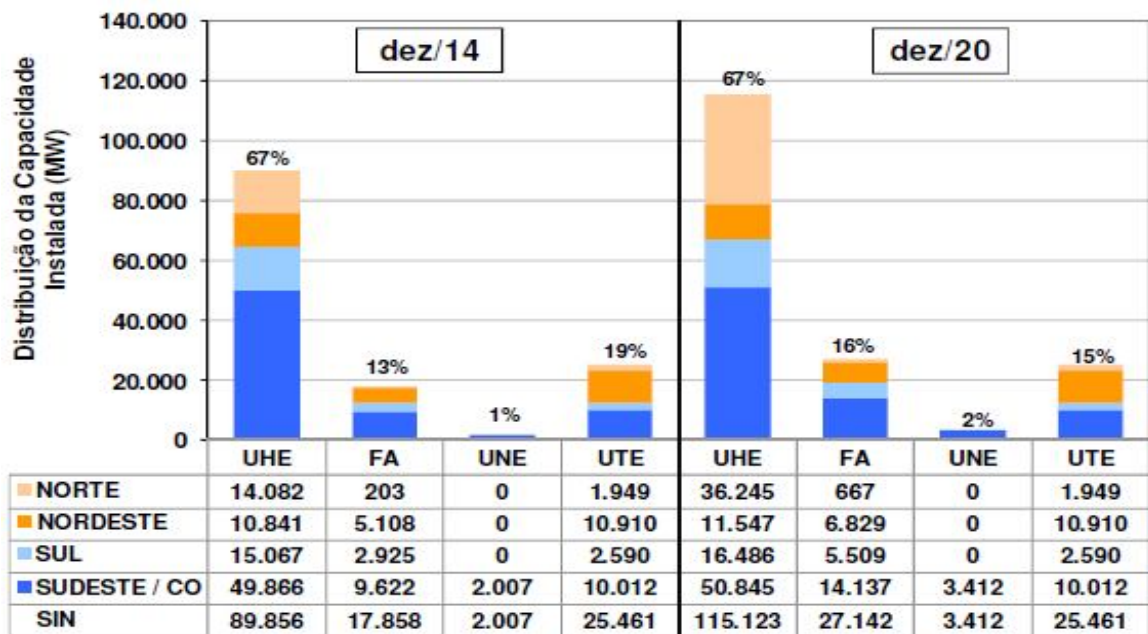
Gráfico 2.1 – Aumento da capacidade instalada das fontes alternativas, em MW

No gráfico 1 podemos observar a tendência de crescimento e consolidação das energias renováveis na região Nordeste e Sudeste/Centro-Oeste. O maior acréscimo da potência instalada relacionada no período da expansão instalada dar-se-á no biênio 2012/2013 em que a média anual será de um incremento de 2.000 MW. Ao final do período de expansão já contratada o incremento energético será de 7.196 MW.

Ainda no gráfico 1 podemos verificar que o incremento anual de energia renovável para o período de expansão planejada dar-se-á de uma forma mais uniforme, sendo maior na região Sudeste/Centro-Oeste, atingindo ao final do período, 2020, um incremento de 10.813 MW.

2.3.1 EXPANSÃO POR TIPO DE FONTE

No PDE 2020 também foi realizado um levantamento para determinação dos dados relacionados às fontes de energia por tipo e associadas às distintas regiões do país, de forma a identificar as regiões que possuem maior desenvolvimento, por tipo de fonte energética, instalada. Foi feito, também, um resumo da participação das fontes de produção de energia no início do ano de 2015, que coincidem com os valores de dezembro - 2014, e no final de 2020, como mostrado no Gráfico 2. Observa-se que a expansão das fontes alternativas – biomassa, PCH e eólica – fazem a sua participação no parque de geração do SIN passar de 13%, em 2014, para 16%, em 2020, distribuídos basicamente entre as regiões Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e Sul. Também se observa a manutenção da participação das usinas hidrelétricas de grande porte ao longo do período decenal, em relação ao montante total de oferta de geração, apesar do aumento significativo de capacidade instalada, superior a 25 GW. As usinas nucleares manterão sua representatividade, variando de 1% a cerca de 2% do SIN, percentual assegurado com a entrada em operação da usina de Angra 3, prevista para o ano de 2016.



Legenda: UHE-usinas hidrelétricas; FA-fontes alternativas; UNE-usinas nucleares; UTE-usinas termelétricas

FONTE: EPE.

Gráfico 2.2 – Participação das fontes de produção ao final de 2014 e de 2020 (MW)

Ao analisarmos o gráfico 2 e ao particularizarmos as fontes alternativas de energia, onde estão inclusas as fontes de energia eólica e solar, podemos ver a importância da região Nordeste e

Sudeste/Centro-Oeste, contribuindo de forma maciça para o alcance do percentual de 16% das fontes alternativas na matriz energética ao final do período decenal, 2020.

Podemos, ainda, verificar os fatores de participação das principais fontes de energia na capacidade instalada do SIN⁹ mediante os dados no gráfico 3. Neste gráfico, destaca-se a retomada da participação das fontes renováveis na matriz elétrica a partir do ano de 2014, em detrimento das fontes baseadas em combustíveis fósseis.

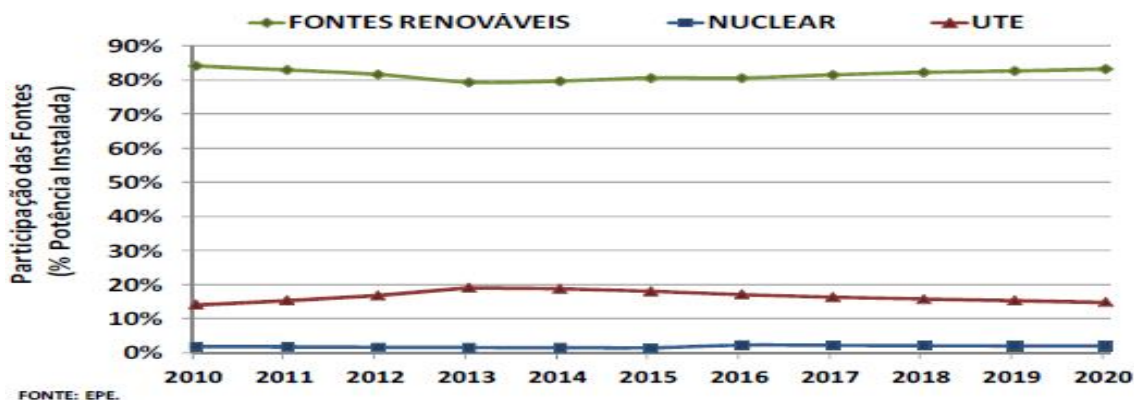


Gráfico 2.3- Evolução da participação das fontes de produção na capacidade instalada do SIN

O gráfico acima demonstra a tendência de composição da matriz energética nacional para todo o período decenal. Percebemos que as fontes energéticas de naturezas renováveis continuarão representando uma parcela extremamente significativa. Cabe ressaltar a importância das fontes eólicas e solar nesta composição.

A evolução da capacidade instalada para diferentes fontes de geração ao longo do período de estudo é apresentada no plano de forma a evidenciar os valores que eram encontrados ao fim do ano de 2010 de forma a estabelecer o cenário do período em que o plano se desenvolvia e relacionar os mesmos dados, por fonte, em período intermediário e ao final do decênio. Em complementação, o Gráfico 4 ilustra esta evolução no final dos anos 2010, 2014 e 2020, agregando as fontes em 4 blocos: geração hidrelétrica, termelétrica, nuclear e de fontes alternativas (PCH, BIO e EOL).

⁹SIN é a abreviatura para Sistema Interligado Nacional.

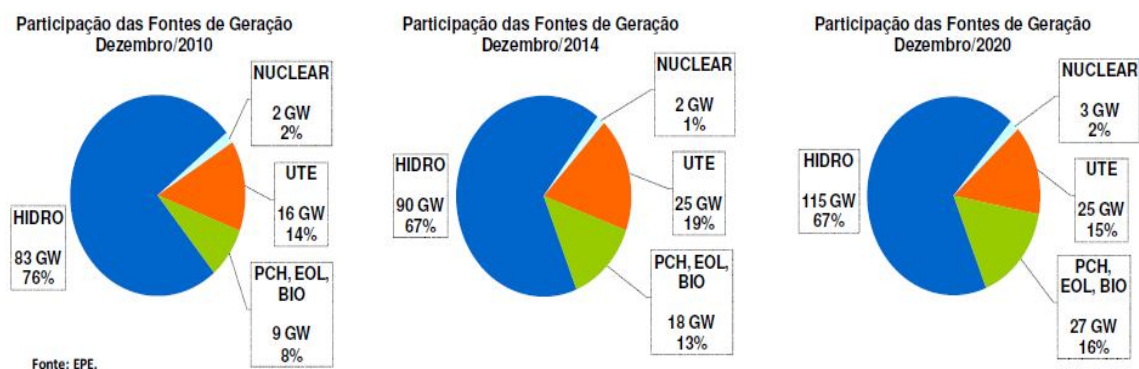


Gráfico 2.4 – Evolução da capacidade instalada por fonte de geração (GW e %)

Particularmente as fontes alternativas, podemos verificar que sua evolução será bastante acentuada. De início passará de 9GW em 2010 para 18 GW em 2014, o que representa um aumento percentual na matriz energética brasileira da ordem de 5%, ao sair de 8 % em 2010 para 13% em 2014. Ressalta-se que 7,196 GW, dos 9GW que aumentará já constam no cenário de expansão contratada a serem desenvolvidas até o final de 2013. A partir de 2014 entraremos em um período em que a expansão já está planejada e a capacidade instalada deve alcançar ao final de 2020 o valor de 27 GW, que representam um percentual de 16% na matriz energética nacional.

No Gráfico 2.5 é apresentada a expansão contratada e a planejada por tipo de fonte energética de forma que é possível verificar a tendência do incremento potencial para cada tipo de fonte. Desta forma evidenciam-se que algumas das fontes energéticas não tem uma boa perspectiva de crescimento, notadamente aquelas de caráter não renovável. Conforme apresentado nas premissas do PDE 2020, observa-se a priorização das usinas hidrelétricas e das fontes alternativas no horizonte de planejamento, não sendo indicada nenhuma nova fonte utilizando combustível fóssil neste horizonte.

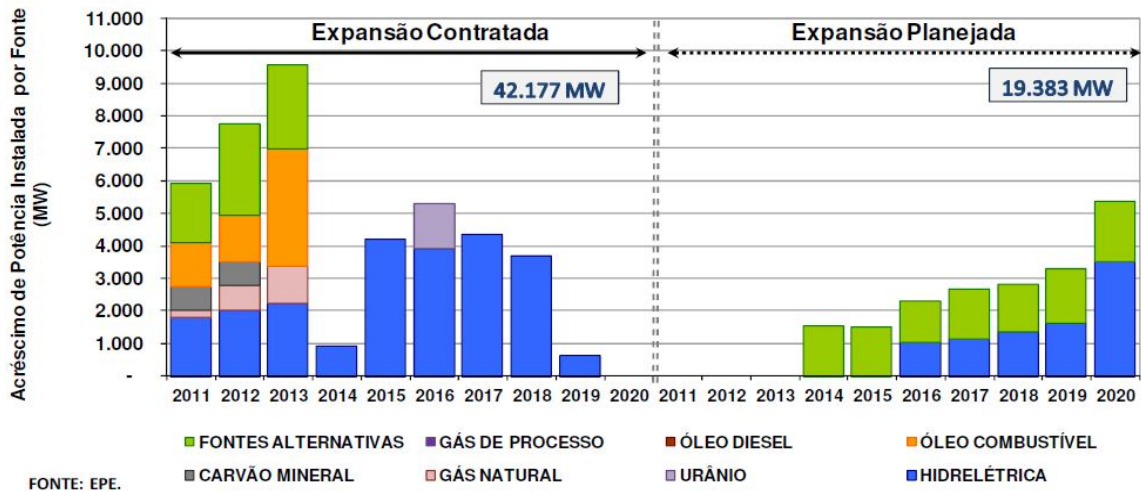


Gráfico 2.5 – Acréscimo de capacidade instalada anual por fonte (MW)

No período decenal, na expansão contratada, o incremento potencial será de 42,177 GW. Destes, verificamos uma maior uniformidade para as hidrelétricas que são, e continuarão a serem, as principais fontes de energia que compõem a matriz energética brasileira. Enfatizamos que até o fechamento dos estudos do plano não havia sido contratada a expansão de nenhuma fonte energética.

Com respeito à expansão planejada verificamos que a tendência de incremento energética dar-se-á através das fontes hidrelétricas e das fontes alternativas. Faz-se relevante o destaque para as fontes alternativas que crescerão de forma uniforme, ano a ano, possibilitando o aumento em 8% que enfatizamos anteriormente. Ao final do período decenal a expectativa de incremento energético planejado é de 19,383 GW.

CAPÍTULO 3

3.1 PRINCIPAIS FONTES RENOVÁVEIS EM EXPANSÃO DO CENÁRIO DECENAL, PDE 2020: EÓLICA E SOLAR

Desde o início do século XX, o mundo tem sofrido com a exploração de seus recursos naturais, com a poluição da atmosfera e com a degradação do solo. O petróleo, por exemplo, considerado uma fonte tradicional de energia, foi tão continuamente extraído que seus poços já começam a se esgotar, pouco menos de 100 anos após o início de sua utilização efetiva. O carvão, um recurso ainda mais antigo, também é considerado esgotável. A energia nuclear, da mesma forma, nos alerta para o perigo dos resíduos radioativos. O uso das fontes tradicionais traça sua trajetória ao declínio.

A energia alternativa, por sua vez, é uma energia sustentável que deriva do meio ambiente natural. São obtidas através de fontes que são essencialmente inesgotáveis, ao contrário dos combustíveis fósseis, dos quais há uma provisão finita e que não pode ser repostas. As energias alternativas são recursos de energia sustentáveis, o que significa que evitam a degradação de recursos naturais das futuras gerações. As energias alternativas evitam e reduzem emissões de óxido de nitrogênio, emissões de óxido de enxofre bem como emissões de dióxido de carbono. Limitam o efeito adverso dos preços elevados e flutuantes do gás natural. Reduzem a dependência de fontes de combustível estrangeiras e energia nuclear. As energias alternativas podem evitar e reduzir essas emissões para o ar bem como o consumo de água, poluição termal, resíduos, ruído e impactos adversos do uso de terra. A maior parte de medidas convencionais de redução de emissões em todos os sectores impõe preços sem compensação econômica; as energias alternativas, por outro lado, produzem economia de combustível em detrimento das suas vidas operacionais que cobrem parte ou completamente os custos iniciais, melhoram a qualidade do ar e a visibilidade devido à combustão reduzida de combustíveis fósseis, evitando custos de conformidade. Esses benefícios ambientais podem reduzir os custos do cumprimento da futura regulação ambiental e as organizações podem beneficiar estrategicamente de uma vantagem ao serem pioneiras ou de um posicionamento em relação à competição.

3.2 ENERGIA EÓLICA

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento, ventos. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores¹⁰, para a geração de eletricidade, ou cata-ventos e moinhos, para trabalhos mecânicos como bombeamento d'água.

Assim como a energia hidráulica, a energia eólica é utilizada há milhares de anos com as mesmas finalidades, a saber: bombeamento de água, moagem de grãos e outras aplicações que envolvem energia mecânica. Para a geração de eletricidade, as primeiras tentativas surgiram no final do século XIX, mas somente um século depois, com a crise internacional do petróleo, década de 1970, é que houve interesse e investimentos suficientes para viabilizar o desenvolvimento e aplicação de equipamentos em escala comercial. A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 30 mil turbinas eólicas em operação no mundo. Recentes desenvolvimentos tecnológicos, sistemas avançados de transmissão, melhor aerodinâmica, estratégias de controle e operação das turbinas, têm reduzido custos e melhorado o desempenho e a confiabilidade dos equipamentos. O custo dos equipamentos, que era um dos principais entraves ao aproveitamento comercial da energia eólica, reduziu-se significativamente nas últimas duas décadas.

3.2.1 POTENCIAL EÓLICO

A avaliação do potencial eólico de uma região requer trabalhos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime de ventos. Geralmente, uma avaliação rigorosa requer levantamentos específicos, mas dados coletados em aeroportos, estações meteorológicas e outras aplicações similares podem fornecer uma primeira estimativa do potencial bruto ou teórico de aproveitamento da energia eólica. Para que a energia eólica seja considerada tecnicamente aproveitável, é necessário que sua densidade seja maior ou igual a 500 W/m^2 , a uma altura de 50 m, o que requer uma velocidade mínima do vento de 7 a 8 m/s. No Brasil, os primeiros anemógrafos¹¹ computadorizados e sensores especiais para

¹⁰Aerogerador é um gerador elétrico integrado ao eixo de um cata-vento e que converte energia eólica em energia elétrica.

¹¹Um Anemógrafo é o instrumento que registra continuamente a direção (em graus) e a velocidade instantânea do vento (em m/s), a distância total (em km) percorrida pelo vento em relação ao instrumento e as rajadas (em m/s).

energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha (PE), no início dos anos 1990. Os resultados dessas medições possibilitaram a determinação do potencial eólico local e a instalação das primeiras turbinas eólicas do Brasil.

Embora ainda haja divergências entre especialistas e instituições na estimativa do potencial eólico brasileiro, vários estudos indicam valores extremamente consideráveis. Até poucos anos, as estimativas eram da ordem de 20.000 MW. Hoje a maioria dos estudos indica valores maiores que 60.000 MW. Essas divergências decorrem principalmente da falta de informações (dados de superfície) e das diferentes metodologias empregadas. De qualquer forma, os diversos levantamentos e estudos realizados e em andamento (locais, regionais e nacionais) têm dado suporte e motivado a exploração comercial da energia eólica no País. Os primeiros estudos foram feitos na região Nordeste, principalmente no Ceará e em Pernambuco. Com o apoio da ANEEL e do Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT, o Centro Brasileiro de Energia Eólica – CBEE, da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, publicou em 1998 a primeira versão do Atlas Eólico da Região Nordeste. A continuidade desse trabalho resultou no Panorama do Potencial Eólico no Brasil, conforme Figura 3.1.

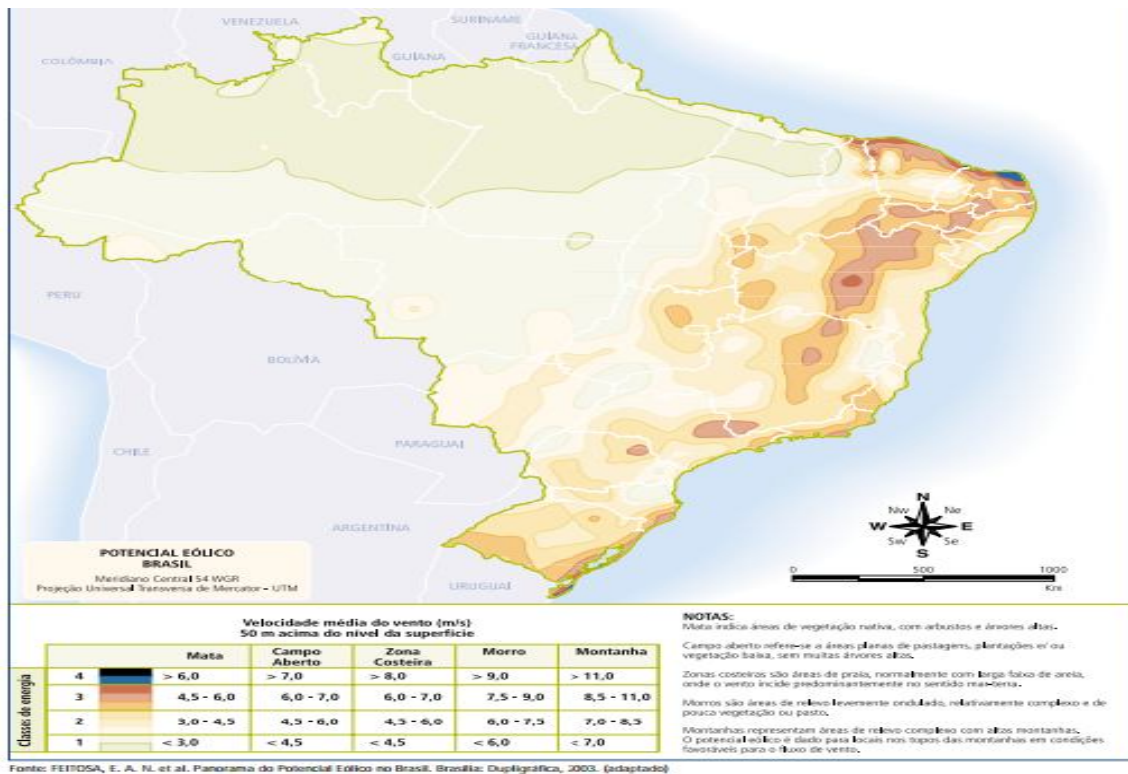


Figura 3.1 – Velocidade Média Anual do vento a 50m de altura

3.2.2 TURBINAS EÓLICAS

A função principal da turbina eólica é converter a energia cinética dos ventos em energia mecânica rotacional. Quando acoplada a um gerador elétrico, essa energia é transformada em eletricidade através de uma conversão eletromecânica. A energia cinética do vento por unidade de volume para uma dada velocidade do vento V_v pode ser calculada por:

$$E_c = \frac{1}{2} \rho * V_v^2 \quad (1)$$

Em (1), " ρ " é a massa específica do ar (aproximadamente 1,2 Kg/m³).

A potência eólica disponível é, portanto:

$$P_E = \frac{1}{2} \rho * A * V_v^3 \quad (2)$$

Em (2), " A " é a área da circunferência que é varrida pelas pás da turbina conforme a Figura 3.2.

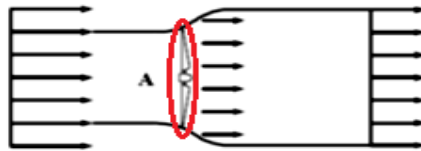


Figura 3.2 - Velocidade do vento através do rotor da turbina.

Apenas parte da energia cinética do vento é realmente convertida em energia mecânica rotativa. O rendimento da turbina é fortemente influenciado por sua curva de coeficiente de potência $C_p(\lambda, \beta)$. Esta curva é função dos valores do ângulo de passo das pás β (*Pitch angle*) e da razão entre a velocidade de ponta de pá e a velocidade do vento λ (*Tipspeedratio*), como descrito na Eq.(3):

$$C_p(\lambda, \beta) = c_1 * \left(\frac{c_2}{\lambda} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{-\frac{c_5}{\lambda}} + c_6 \lambda \quad (3)$$

Em(3), c_1 , c_2 , c_3 , c_4 , c_5 e c_6 dependem das características aerodinâmicas da turbina. As variáveis λ e β se relacionam de acordo com a Eq. (4). Essa expressão pode ter seus

coeficientes alterados dependendo da turbina eólica. Para uma turbina com três pás e de eixo horizontal tem-se:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\lambda + 0,08\beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1} \quad (4)$$

Logo, a potência extraída do vento por uma turbina é dada por:

$$P_m = P_E C_p(\lambda, \beta) = \frac{1}{2} \rho * A * C_p(\lambda, \beta) * V_v^3 \quad (5)$$

3.2.2.1 LIMITE DE BETZ:

Pode ser mostrado que no máximo 59,3% da energia cinética do vento que atravessa a área varrida pelas pás da turbina eólica pode ser aproveitada como energia mecânica. Esta razão de 0,593 é conhecida como *limite de Betz*. Este limite pode ser justificado pelo fato de que o vento continua com certa velocidade após atravessar um aerogerador, ou seja, parte de sua energia cinética é conservada (Figura 3.2). Na prática o *limite de Betz* nunca é atingido por uma turbina eólica. O valor de $C_p(\lambda, \beta)$ geralmente fica em torno de 0,48 devido às perdas por turbulência e arrasto. Mesmo que estas perdas sejam desconsideradas, o *limite de Betz* nunca é alcançado, pois sempre haverá imperfeições no design das pás.

Para uma turbina moderna, os valores de c_1, c_2, c_3, c_4, c_5 e c_6 são definidos empiricamente:

$$c_1 = 0,5176, c_2 = 116, c_3 = 0,4, c_4 = 5, c_5 = 21 \text{ e } c_6 = 0,0068.$$

A Figura 3.3 mostra o comportamento de $C_p(\lambda, \beta)$ em função de λ para alguns valores de β de acordo com os parâmetros de c definidos acima e com modelo definido pelas Equações (3) e (4). Neste caso específico, o máximo valor de C_p , ($C_{p\text{mám}} = 0,48$) é encontrado para $\lambda = 8,1$. Este valor de λ é definido como λ nominal (λ_{nom}).

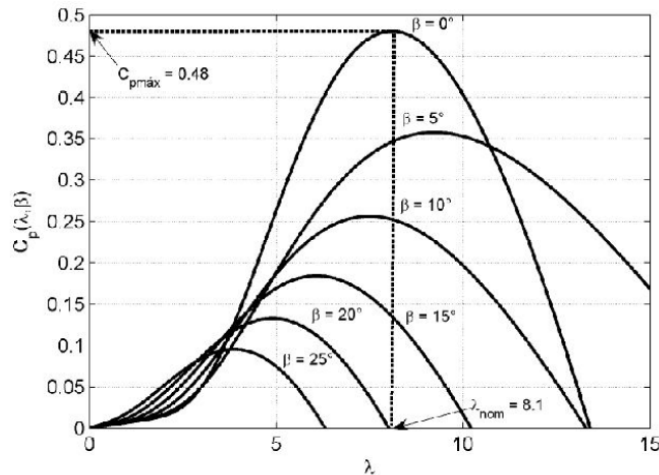


Figura 3.3 – Curvas de C_p em função de λ e β .

No início da utilização da energia eólica, surgiram turbinas de vários tipos – eixo horizontal, eixo vertical, com apenas uma pá, com duas e três pás, gerador de indução, gerador síncrono etc. Com o passar do tempo, consolidou-se o projeto de turbinas eólicas com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução e estrutura não flexível, como ilustrado na Figura 3.4. Entretanto, algumas características desse projeto ainda geram polêmica, como a utilização ou não do controle do ângulo de passo (pitch) das pás para limitar a potência máxima gerada. A tendência atual é a combinação das duas técnicas de controle de potência (stall e pitch) em pás que podem variar o ângulo de passo para ajustar a potência gerada, sem, contudo, utilizar esse mecanismo continuamente.

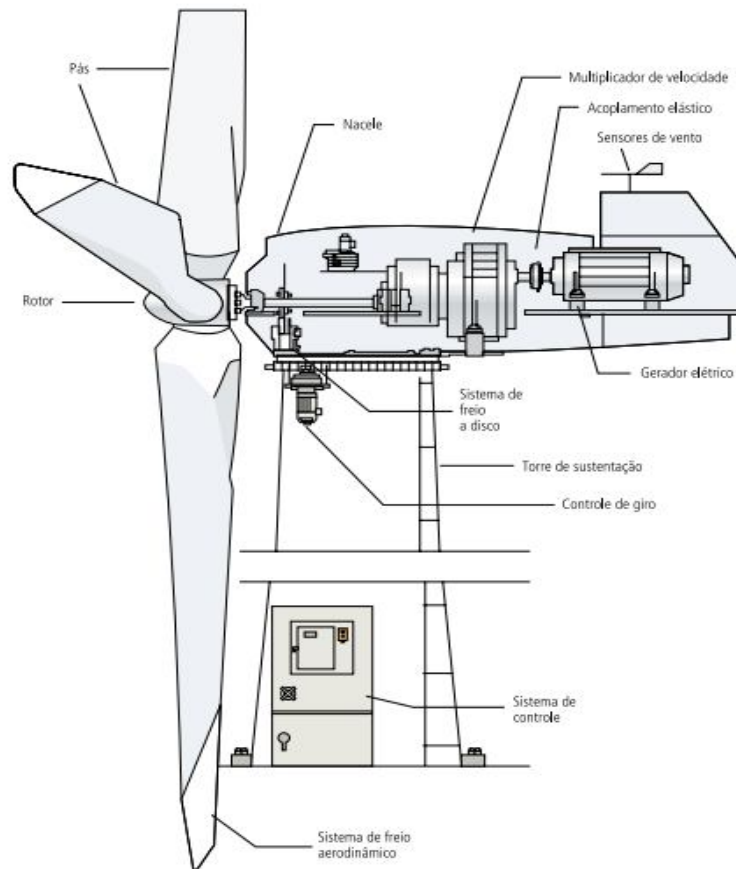


Figura 3.4 – Turbina eólica moderna

A seguir uma breve descrição das partes que compõem a turbina eólica disposta na figura 3.4.

3.2.2.1 PÁS DO ROTOR

As pás são perfis aerodinâmicos responsáveis pela interação com o vento, convertendo parte de sua energia cinética em trabalho mecânico rotacional no eixo. Inicialmente fabricadas em alumínio, atualmente são fabricadas em fibras de vidro reforçadas com epóxi. Nos aerogeradores que usam controle de velocidade por passo, a pá dispõe de rolamentos em sua base para que possa girar, modificando assim seu ângulo de ataque. As pás são fixadas através de flanges em uma estrutura metálica na frente do aerogerador, denominada cubo. Esta estrutura é construída em aço ou liga de alta resistência. Para os aerogeradores que utilizam o controle de velocidade por passo, o cubo, além de apresentar os rolamentos para fixação das

pás, também acomoda os mecanismos e motores para o ajuste do ângulo de ataque de todas as pás.

3.2.2.4 NACELE

É uma carcaça montada sobre a torre que abriga as partes componentes do sistema de geração de energia como gerador e caixa multiplicadora, além do eixo e dos freios do sistema.

3.2.2.4 EIXO

O eixo da turbina eólica é conectado ao cubo do rotor. Quando o rotor gira, o eixo gira junto. Desse modo, o rotor transfere sua energia mecânica rotacional para o eixo, que está conectado a um gerador elétrico na outra extremidade. No caso da existência de uma caixa de engrenagens, a rotação é a mesma tanto numa ponta do eixo como na outra. Se não existir a caixa multiplicadora, a rotação do eixo é menor na extremidade do rotor e depois do sistema de engrenagens a rotação do eixo é elevada e adaptada à rotação do gerador elétrico.

3.2.2.5 FREIOS

Os freios detêm a rotação do eixo do rotor em caso de sobrecarga de energia ou algum outro tipo de falha no sistema. Esses freios podem ser acionados de maneira manual, ou mais comumente, pelos acionadores dos sistemas de controle.

3.2.2.6 CAIXA MULTIPLICADORA

O sistema de transmissão, que engloba a caixa multiplicadora, possui a finalidade de transmitir a energia mecânica entregue pelo eixo do cubo do rotor até o gerador. É composta por eixos, mancais, engrenagens de transmissão e acoplamentos. Como a velocidade angular dos rotores das turbinas, em regra geral, varia entre 20 e 150 RPM¹², e os geradores têm velocidade de trabalho entre 1200 e 1800 RPM, é necessário, comumente, um sistema de engrenagens para a multiplicação da velocidade entre os eixos do rotor e do gerador. Entretanto, existem aerogeradores em que não há a presença dessa caixa multiplicadora. Nesse caso, o eixo do rotor é acoplado diretamente à carga utilizando-se geradores multipolos de baixa velocidade e grandes dimensões.

¹²RPM significa rotação por minuto, que é uma medida de velocidade.

3.2.2.7 TORRE

Item necessário para sustentar e posicionar o rotor em sua correta posição, a uma altura onde as pás possam girar com segurança e distantes do solo, e capaz de sustentar o grande peso das partes componentes do sistema de geração de energia que ficam na nacela. É responsável por grande parte do custo final da instalação do sistema eólico. Nos primeiros sistemas, foram utilizadas torres de metal treliçado. Porém, com geradores mais potentes e nacelas de maior dimensão, ocorre um grande incremento no peso. Para maior mobilidade e segurança, passou-se a utilizar torres de metal tubular ou de concreto, cuja sustentação pode ser auxiliada por cabos tensores.

3.2.2.8 SISTEMAS DE CONTROLE AERODINÂMICO DA POTÊNCIA

As turbinas eólicas são projetadas de maneira que atinjam e consigam manter a potência nominal o máximo de tempo possível. Para isso é necessário obter uma mesma potência de saída para diversos valores distintos de velocidades do vento. Da mesma forma devem ser previstos dispositivos de limitação das forças aerodinâmicas geradas nas pás da turbina para se evitar esforços excessivos nos componentes mecânicos para ventos de velocidade elevada. Para isto, o atual estágio de desenvolvimento das turbinas eólicas oferece três formas construtivas que permitem o controle da potência gerada no rotor:

➤ ***Estol (Stall) ou Controle Passivo de Perda de Eficiência Aerodinâmica:***

Sistema passivo que reage à velocidade do vento. As pás são montadas no rotor em um ângulo fixo, mas esse ângulo é projetado de modo que a torção das próprias pás aplique a frenagem quando os ventos excederem a velocidade nominal. As pás estão dispostas em um dado ângulo, assim os ventos acima de certa velocidade causarão turbulência no lado contrário da pá, induzindo à perda da eficiência aerodinâmica. Em termos simples, a perda da eficiência aerodinâmica ocorre quando o ângulo da pá voltado para a chegada do vento se torna tão acentuado que começa a eliminar a força de empuxo, diminuindo a velocidade das pás. Antigamente, a maioria dos aerogeradores utilizava esse controle;

➤ **Passo (Pitch):**

Sistema ativo que reage em obediência à informação do controlador eletrônico do sistema que monitora a geração de potência. Com velocidades do vento acima da nominal, a geração de potência será excessiva a ponto de o controlador ordenar que as pás alterem seu ângulo de passo, de modo que fiquem desalinhadas com o vento. Isto diminui as forças aerodinâmicas atuantes e conseqüentemente a rotação das pás e a potência gerada. Os sistemas de controle de passo requerem que o ângulo de montagem das pás no rotor seja ajustável. Atualmente, com o aumento do tamanho dos rotores, os fabricantes estão optando pelo controle de passo que oferece maior flexibilidade na operação das turbinas eólicas;

3.3 RUÍDO EM TURBINAS EÓLICAS

O ruído gerado em turbinas eólicas tem sido um dos impactos ambientais mais estudados no contexto das energias eólicas. No entanto, o avanço tecnológico no desenvolvimento das turbinas tem feito com que elas sejam cada vez menos barulhentas. O ruído é um som indesejável que ocasiona incomodo de diversas naturezas, sendo estas normalmente subjetivas. É medido em decibéis (dB), que é uma medida do nível de pressão sonora. No caso de questões ambientais, como é o caso das turbinas eólicas, o ruído é medido em dB (A), que é uma medida que inclui uma correção para a sensibilidade humana.

Uma turbina eólica emite ruídos provenientes de duas fontes distintas que podem ser classificadas em duas categorias, ruídos mecânicos e ruídos aerodinâmicos. As principais fontes de ruído mecânico são a caixa de engrenagem e o gerador, em contrapartida a maior contribuição do ruído aerodinâmico está relacionada ao fluxo de ar sobre as pás da turbina.

Foram realizados estudos, na Universidade de Massachusetts, para o projeto de uma turbina eólica com uma torre de 50 metros de altura e a fonte com nível de potência sonora de 102 dB (A), resultando nos dados expostos no gráfico abaixo, em que se destacam os níveis de ruído, no nível da base da torre, na ordem de 45 dB (A) a uma distância de 250 metros da torre.

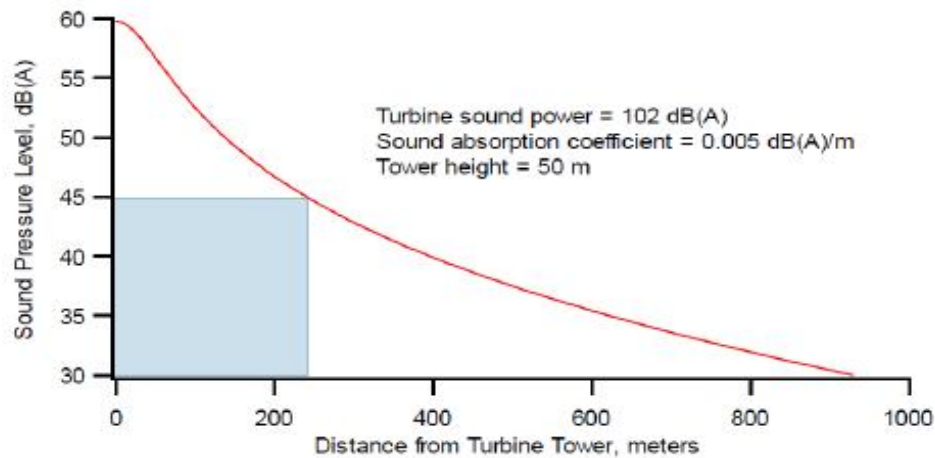


Figura 3.5 – Relação entre o nível de potência sonora e a distancia da turbina.

A tabela 3.1 apresenta alguns valores de potências sonoras para diferentes tipos de turbinas.

Tabela 3.1 – Potência sonora para diferentes modelos de turbinas

Marca e Modelo	Tamanho da Turbina	Potência sonora
Vesta V80	1,8 MW	98 - 109 dB(A)
Enercon E70	2,0 MW	102 dB(A)
Enercon E112	4,5 MW	107 dB(A)

Uma forma imediata de verificar o potencial de dano dos níveis de ruído que são gerados pelas turbinas é compará-los com os níveis de ruído que são tolerados pela audição humana. Para isso, analisaremos a tabela 3.2, que mostra a potência sonora para alguns locais e atividades.

Tabela 3.2 – Níveis de potências sonoras para diversas atividades e fontes

Fonte/Atividade	dB(A)
Limite da Audição	0
Fundo rural noturno	20 - 40
Ambiente calmo, dormitório	35
Turbina eólica a 250m	45
Conversa normal a 1m	50
Restaurante	60
Rua com muito tráfego	80
Prensas automáticas a 7m	95
Avião a Jato a 250m	105
Limiar da dor	140

Da tabela 3.2 podemos concluir que o ruído proveniente da turbina a uma distância de 250 metros está dentro da faixa aceitável quando comparamos aos valores relacionados às atividades comuns do nosso cotidiano, de forma que não é considerada agressiva a audição dos seres humanos. No entanto, existe uma preocupação em desenvolver novas turbinas que diminuam ao máximo as fontes de ruído já detectadas. Por exemplo, empregando materiais mais macios que proporcionem menores níveis de vibrações para as turbinas.

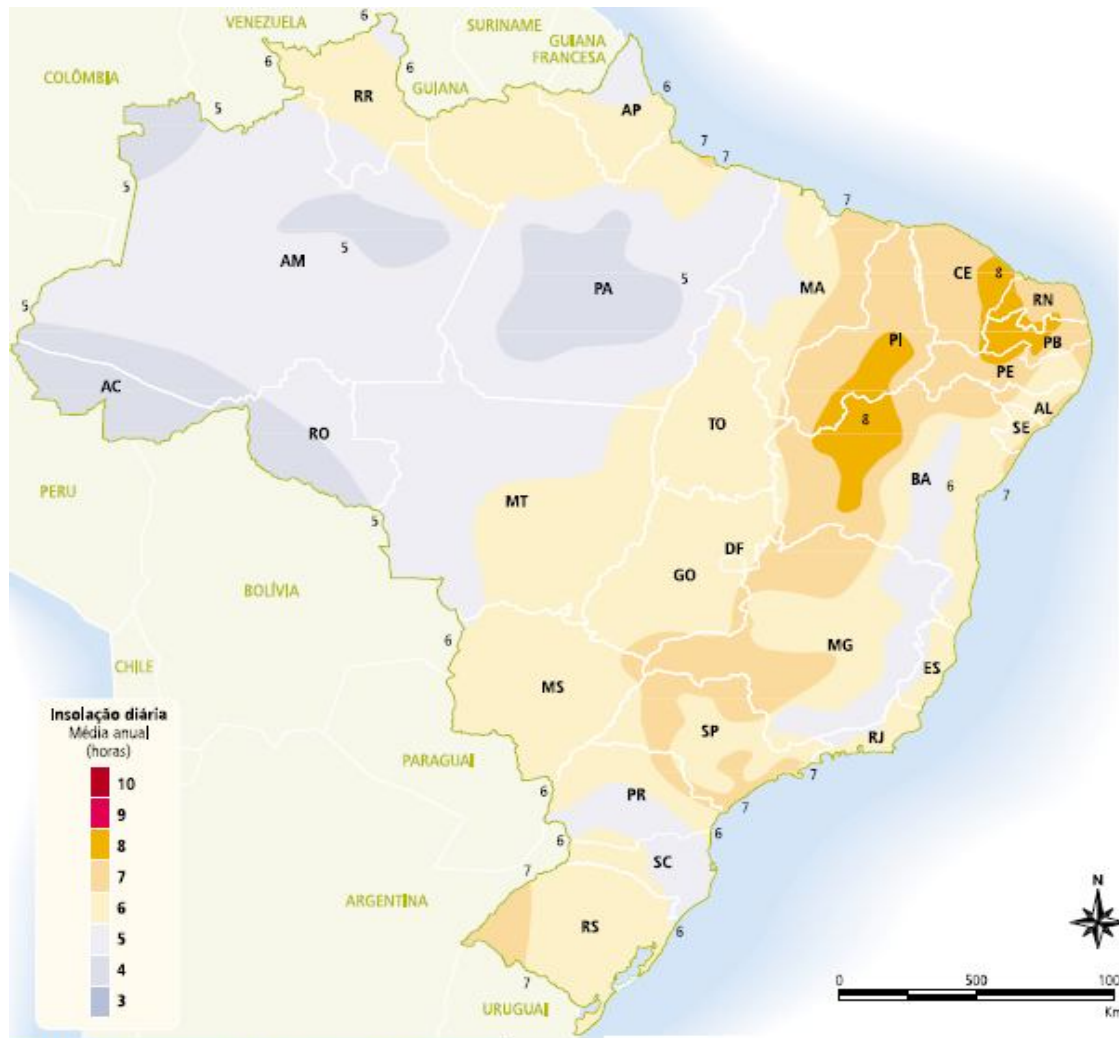
3.3 ENERGIA SOLAR

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, por meio de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico. O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas mais sofisticadas de arquitetura e construção. O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor. Neste último caso, pode-se gerar energia mecânica com o auxílio de uma turbina a vapor, e, posteriormente, eletricidade, por meio de um gerador. A conversão direta da energia solar em energia elétrica ocorre pelos efeitos da radiação (calor e luz) sobre determinados materiais, particularmente os semicondutores. Entre esses, destacam-se os efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O primeiro caracteriza-se pelo surgimento de uma diferença de potencial, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas. No segundo, os fótons contidos na luz solar são convertidos em energia elétrica, por meio do uso de células solares. Entre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

3.3.1 RADIAÇÃO SOLAR

Além das condições atmosféricas: nebulosidade, umidade relativa do ar, a disponibilidade de radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície terrestre, depende da latitude local e da posição no tempo, hora do dia e dia do ano. Isso se deve à inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente, movimento de rotação, e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol, translação ou revolução. De forma que a duração solar do dia – período de visibilidade do Sol ou de claridade – varia, em algumas regiões e períodos do ano, de zero hora, Sol abaixo da linha do horizonte durante o dia todo, há 24 horas, Sol sempre acima da linha do horizonte.

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não se observam grandes variações na duração solar do dia. Contudo, a maioria da população brasileira e das atividades socioeconômicas do País se concentra em regiões mais distantes do Equador. Em Porto Alegre, capital brasileira mais meridional, a duração solar do dia varia de 10 horas e 13 minutos a 13 horas e 47 minutos, aproximadamente, entre 21 de junho e 22 de dezembro, respectivamente. Desse modo, para maximizar o aproveitamento da radiação solar, pode-se ajustar a posição do coletor ou painel solar de acordo com a latitude local e o período do ano em que se requer mais energia. No Hemisfério Sul, por exemplo, um sistema de captação solar fixo deve ser orientado para o Norte, com ângulo de inclinação similar ao da latitude local. A seguir o mapa 3.3 mostra a média anual de insolação diária no Brasil.



Mapa 3.3 – Média anual de Insolação diária no Brasil

Como indicado anteriormente, a radiação solar depende também das condições climáticas e atmosféricas. Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Mesmo assim, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10 mil vezes o consumo energético mundial.

No Brasil, entre os esforços mais recentes e efetivos de avaliação da disponibilidade de radiação solar, destacam-se os seguintes:

a) Atlas Solarimétrico do Brasil:

Trata-se de uma iniciativa da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE e da Companhia Hidroelétrica do São Francisco – CHESF, em parceria com o Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB; Apresenta uma estimativa da radiação solar incidente no país, resultante da interpolação e extrapolação de dados obtidos em estações solarimétricas distribuídas em vários pontos do território nacional. Devido, porém, ao número relativamente reduzido de estações experimentais e às variações climáticas locais e regionais.

b) Atlas de Irradiação Solar no Brasil:

Foi elaborado pelo Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e pelo Laboratório de Energia Solar – LABSOLAR, da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. O Atlas de Irradiação Solar no Brasil faz estimativas da radiação solar a partir de imagens de satélites. Como lembrado por pesquisadores do Centro de Pesquisas de Eletricidade – CEPTEL.

Ambos os modelos apresentam falhas e limites e não devem ser vistos como concorrentes. Ao contrário, devem ser complementares, na medida em que reúnem o máximo possível de dados e podem, dessa forma, melhorar as estimativas e avaliações da disponibilidade de radiação solar no Brasil. É importante ressaltar que mesmo as regiões com menores índices de radiação apresentam grande potencial de aproveitamento energético. Como se poderá observar nos próximos itens, existe uma infinidade de pequenos aproveitamentos da energia solar no Brasil, mas isso ainda é pouco significativo, diante do grande potencial existente.

3.3.2 TECNOLOGIAS DE APROVEITAMENTO

➤ Aproveitamentos térmicos

A energia solar pode ser aproveitada de uma forma que sua captação seja direcionada a prover energia térmica que será útil em processos específicos. A seguir uma breve descrição dos principais componentes de um sistema de aquecimento solar térmico.

Boiler: Os reservatórios empregados convencionalmente são nomeados boiler, e são normalmente feitos de aço inoxidável, cobre ou aço carbono, para volumes de até 15mil litros. Possuem duas superfícies, uma interna e outra externa, separadas por um isolante térmico que em geral é a lã de vidro. Podem ser horizontais ou verticais.

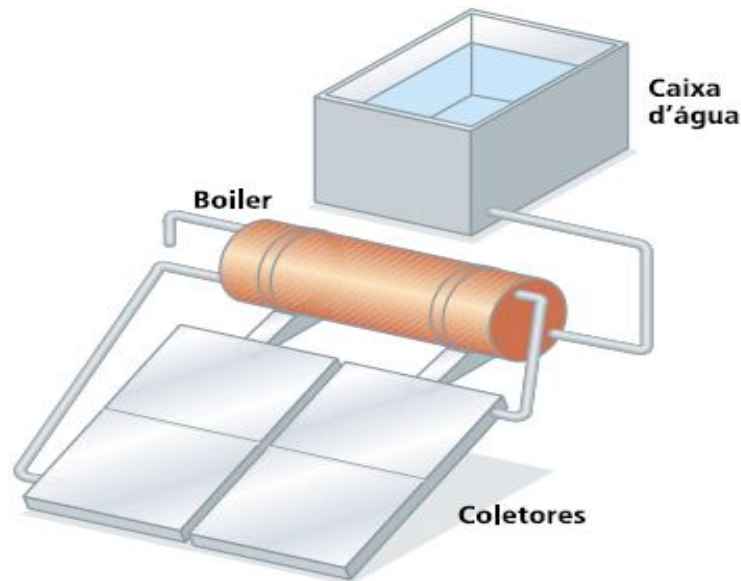
Dividem-se em baixa pressão ou alta pressão:

- Os de baixa pressão são mais econômicos e mais apropriados para construções onde a caixa de água fria estiver pouco acima do boiler, com no máximo 2 metros de desnível para os de cobre e 5 para os de aço inox. Não podem ser pressurizados ou ligados na rede pública;
- Os de alta pressão são mais apropriados para sistemas pressurizados ou onde a caixa de água fria estiver muito acima do boiler, com no máximo 40 metros de desnível.

O reservatório térmico é o elemento mais custoso em um sistema de aquecimento solar, custando, por exemplo, R\$ 1.000,00 para 200 litros, o volume mais utilizado em residências de pequeno porte. Deve ser instalado, se possível, no interior das habitações (para protecção atmosférica e térmica) a um nível superior aos colectores, por forma a que a canalização seja o mais vertical possível, dispensando assim a bomba de circulação.

Coletor solar: A radiação solar pode ser absorvida por coletores solares, principalmente para aquecimento de água, a temperaturas relativamente baixas, inferiores a 100°C. O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Esse sistema de aproveitamento térmico da energia solar, também denominado aquecimento solar ativo, envolve o uso de um coletor solar discreto. O coletor é instalado normalmente no teto das residências e edificações. Devido à baixa densidade da energia solar que incide sobre a superfície terrestre, o atendimento de uma única residência

pode requerer a instalação de vários metros quadrados de coletores. Para o suprimento de água quente de uma residência típica, três ou quatro moradores, são necessários cerca de 4 m² de coletor. Um exemplo de coletor solar plano é apresentado na Figura 3.6.



Fonte: GREEN, M. A. et al. Solar cell efficiency tables: version 16. Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Sydney, v. 8, p. 377-384, 2000 (adaptado).

Figura 3.6 – Sistema Solar de Aquecimento de Água

Concentrador solar: O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentrá-la numa área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente. A superfície refletora dos concentradores tem forma *parabólica ou esférica*, de modo que os raios solares que nela incidem sejam refletidos para uma superfície bem menor, denominada foco, onde se localiza o material a ser aquecido.

Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas e índices de eficiência que variam de 14% a 22% de aproveitamento da energia solar incidente, podendo ser utilizada para a geração de vapor e, conseqüentemente, de energia elétrica. Contudo, a necessidade de focalizar a luz solar sobre uma pequena área exige algum dispositivo de orientação, acarretando custos adicionais ao sistema, os quais tendem a ser minimizados em sistemas de grande porte. A figura 3.7 mostra um exemplo de concentradores parabólicos no sul da Califórnia, EUA, com tamanhos que variam entre 14 MW e 80 MW,

totalizando 354 MW de potência instalada. Trata-se de sistemas híbridos, que operam com auxílio de gás natural, de modo a atender a demanda em horários de baixa incidência solar.



Foto: NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY (EUA) – NREL. 2000.
Disponível em: www.nrel.gov/energy_resources.

Figura 3.7 – Sistema térmico de geração solar de energia elétrica

➤ **Sistemas Fotovoltaicos**

Existem muitos pequenos projetos nacionais de geração fotovoltaica de energia elétrica, principalmente para o suprimento de eletricidade em comunidades rurais ou isoladas do Norte e Nordeste do Brasil. Esses projetos atuam basicamente com quatro tipos de sistemas:

- i) Bombeamento de água, para abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura;
- ii) Iluminação pública;
- iii) Sistemas de uso coletivo, tais como eletrificação de escolas, postos de saúde e centros comunitários;
- iv) Atendimento domiciliar.

Entre outros, estão às estações de telefonia e monitoramento remoto, a eletrificação de cercas, a produção de gelo e a dessalinização de água. A Figura 3.8 apresenta um exemplo de sistema flutuante de bombeamento de água para irrigação, instalado no Açude Rio dos Peixes,

Município de Capim Grosso – BA. O sistema é formado por 16 painéis M55da Siemens e uma bomba centrífuga de superfície de 1 HPDC.

Em época de cheia, o sistema fica a 15 m da margem do açude e bombeia água a uma distância de 350 m, com vazão de 12 m³ por dia.



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2000. Disponível em: www.cresesb.cepel.br/cresesb.htm.

Figura 3.8 – Sistema Fotovoltaico de bombeamento de água para irrigação

Para reforçar a usabilidade outro exemplo de bombeamento fotovoltaico de água, este na região do Pontal do Paranapanema, Estado de São Paulo, é apresentado na Figura 3.9. O reservatório tem capacidade de armazenamento de 7.500 litros e altura manométrica de 86 m, abastecendo 43 famílias. O sistema fotovoltaico é constituído de 21 módulos MSX 70, com potência nominal de 1.470 W.



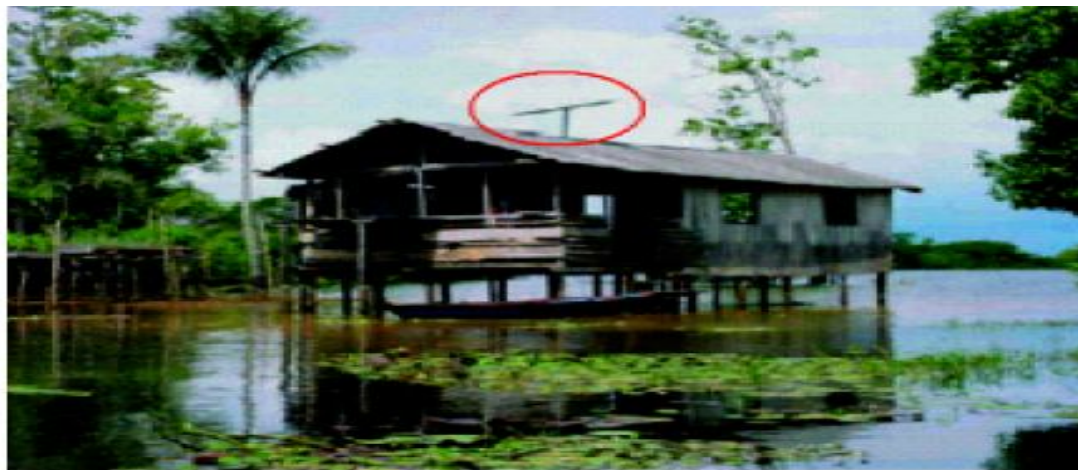
Fonte: UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO – USP. Instituto de Eletrotécnica e Energia – IEE. Formação técnica. São Paulo: 2000.

Figura 3.9 – Sistema Fotovoltaico de bombeamento de água abastecimento

Na figura 3.9 podemos perceber a disposição das placas solares que são responsáveis pela captação da energia solar que é convertida em energia elétrica de forma a alimentar o sistema que faz o bombeamento da água a ser armazenada no reservatório, caixa de água, que por sua vez irá prover o abastecimento de água para os fins de irrigação das lavouras ou mesmo para uso doméstico.

No Vale do Ribeira, situado no litoral Sul de São Paulo, foram instalados diversos sistemas de eletrificação de escolas, postos de saúde e unidades de preservação ambiental, além de atendimento a pequenas comunidades rurais.

A Figura 3.10 exemplifica um sistema de atendimento domiciliar instalado no âmbito do projeto Ribeirinhas. Esse projeto constitui uma ação estratégica do Programa Nacional de Eletrificação *Luz no Campo*¹³ e tem como objetivo a implantação, em localidades ribeirinhas na região amazônica, de sistemas baseados em fontes alternativas para geração de energia elétrica.



Fonte: CENTRO DE REFERÊNCIA PARA A ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO - CRESESB. 2002.

Figura 3.10 – Sistema Fotovoltaico para atendimento domiciliar - Projeto Ribeirinhas

Na figura 3.10 é importante ressaltar que não haveria outra forma de prover energia a esta comunidade, ou seja, pelos meios de fornecimento de energia elétrica mais utilizada de forma convencional, visto que não seria viável a construção de uma rede elétrica na região, por questões ambientais e até mesmo por pouca demanda de energia.

130 Programa Luz no Campo foi o programa de universalização da rede rural de energia elétrica do Governo Federal que antecedeu ao programa Luz Para Todos. Lançado em 2000 por Fernando Henrique Cardoso e inicialmente estimado em R\$ 2,3 bilhões, o programa tinha como meta levar energia elétrica a 1 milhão de famílias rurais em 3 anos. Atingiu 42% da meta em junho de 2002, com 419 mil unidades consumidoras atendidas.

CAPÍTULO 4

4.1 O ESTADO DA ARTE

O Estado da Arte é uma das partes mais importantes de todo trabalho científico, uma vez que faz referência ao que já se tem descoberto sobre o assunto pesquisado, evitando que se perca tempo com investigações desnecessárias. Além disso, auxilia na melhoria e desenvolvimento de novos postulados, conceitos e paradigmas. É, ainda, o nível mais alto de desenvolvimento, seja de um aparelho, de uma técnica ou de uma área científica, alcançado em um determinado tempo. O estado da arte indica, portanto, o ponto em que o produto em questão deixa de ser um projeto técnico para se tornar uma obra-prima.

Além das primeiras utilizações da energia eólica com moinhos de vento para bombeamento de água e moagem de grãos, movimentação dos navios e embarcações de antigamente e, mais recentemente com a descoberta da eletricidade, a utilização do ar como “combustível” à geração de energia elétrica pelas turbinas eólicas, existem diversas outras aplicações a partir dos ventos.

4.2 EDIFÍCIOS AUTOSSUFICIENTES EM ENERGIA

Nos parques de diversões da arquitetura contemporânea, a corrida tecnológica flerta agora o discurso ecológico e sustentável. E os fortes ventos trocados entre o Golfo Pérsico e o deserto levaram a uma escolha óbvia em países da Península Arábica: turbinas eólicas incorporadas na edificação. No caso de arranha-céus, pode haver um grande potencial de aproveitamento. Trata-se de edifícios com mais de 100 m de altura, onde a velocidade do vento no topo tende a ser bem maior do que no solo. Desde abril de 2008 três turbinas unidirecionais de 29 m de diâmetro giram entre as duas torres gêmeas de 240 m de altura e em forma de vela do Bahrain World Trade Center (BWTC), criado pelo escritório britânico Atkins. O objetivo era que a brisa do Golfo Pérsico suprisse até 15% da energia consumida pelo prédio. Isso representaria 1,3 GWh por ano, suficientes para deixar de emitir 55 toneladas de carbono anuais. Segundo a Atkins, o custo de até 30% do valor do projeto tornaria inviável a integração de turbinas de larga escala, tanto por conta da adaptação do projeto do prédio quanto das pesquisas de turbinas especiais. A solução foi usar turbinas convencionais sustentadas cada uma por um

eixo horizontal de 50 toneladas. No entanto, o potencial da região aliado à criatividade da empresa fez com que sua incorporação custasse menos de 3% do projeto.

A solução não foi a ideal, melhor para esse projeto seria que tivessem eixo vertical. As turbinas eólicas de eixo vertical têm a vantagem da facilidade de manutenção e normalmente funcionam com o vento vindo de todas as direções, sem a necessidade de possuírem mecanismos como leme para colocarem as pás na direção dos ventos. Para resolver o fato de a turbina ser fixa, a Atkins projetou para as torres um perfil elíptico que afunila o vento. Testes em túnel de vento mostraram que o desenho não apenas forma pressão negativa na parte de trás do prédio, o que acelera o vento entre as torres em até 30%, como também o desvia num percurso em formato de "S" cujo centro permanece quase perpendicular à turbina dentro de um azimute de 45°. As Figuras 4.1, 4.2 , 4.3 e 4.4 ilustram essas torres de Bahrain.



Figura 4.1 – Foto frontal do BWTC.



Figura 4.2 – Foto frontal do BWTC em construção.



Figura 4.3 – Vista vertical dos 3 aerogeradores do BWTC.

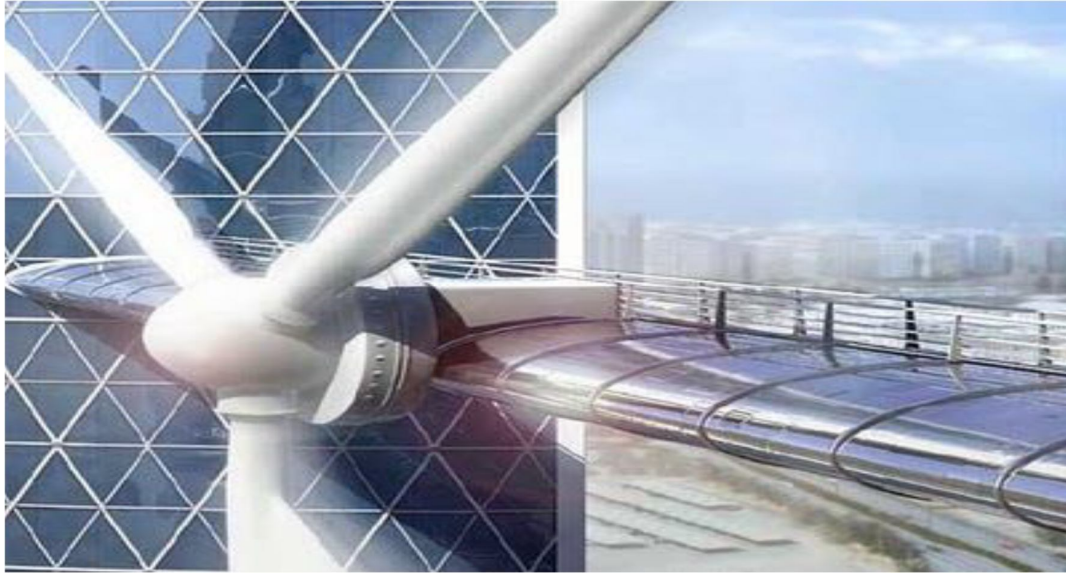


Figura 4.4 – Imagem do aerogerador acoplado à estrutura horizontal.

Em outro projeto de Dubai, a ideia é gerar energia elétrica bem além do que o edifício consome. O arranha-céu de 50 andares será equipado com três sistemas de captação de energia que, ao todo, produzem 10 MW. Pela Figura 4.5 se tem uma ideia desse projeto.



Figura 4.5 – Imagem ilustrativa de projeto sustentável em energia.

O primeiro é uma turbina eólica de 5 MW localizada no topo do edifício. Em seguida, há a cobertura de espelhos especiais capazes de concentrar a luz do Sol num único ponto, gerando outros 3 MW. O restante vem de um sistema que capta o movimento do ar quente ascendente nas paredes externas e o transforma em energia. Segundo a StudiedImpact, que fez o projeto, esse valor gerado é dez vezes o consumo do edifício, o que significa que o prédio ainda poderia fornecer energia aos vizinhos. Baseado em previsões meteorológicas, os projetistas acreditam que a torre poderá operar 2.400 horas por ano, num total de 20 GWh liberados em 365 dias.

4.3 MODELOS COM HASTES FLEXÍVEIS

O projeto “Windstalk” ficou em segundo lugar na competição "Land ArtGenerator" (2010), que foi criada pela cidade planejada de Masdar (ainda em construção, seguindo os princípios da sustentabilidade, dentro de Abu Dhabi - capital dos Emirados Árabes Unidos). Esta competição tem por objetivo premiar o projeto que ofereça a mais limpa, criativa e funcional utilização de energia alternativa.



Figura 4.6 - Parque piezoelétrico na cidade planejada de Masdar, próximo a Abu Dhabi.



Figura 4.7 - Parque piezoelétrico na cidade planejada de Masdar, próximo a Abu Dhabi.

A proposta do projeto solicita 1203 hastes, cada um com 55 metros de altura, com bases de concreto que estão entre 10 e 20 metros de largura, conforme visto nas Figuras 4.6 e 4.7. As hastes de fibra de carbono, reforçadas com resina, são cerca de 30 centímetros de largura na base afinando para cerca de 5 centímetros na parte superior. Cada haste conterá camadas alternadas de eletrodos e discos de cerâmica feita de material piezoelétrico, que gera uma corrente elétrica quando colocada sob pressão mecânica. No caso dos pés, os discos irão comprimir conforme eles balançam ao vento, criando uma carga. A ideia surgiu da tentativa de encontrar modelos cinéticos na natureza que possam ser aproveitados para produzir energia. Cada base é ligeiramente diferente, e está inclinada de modo que a chuva será canalizada para as zonas entre o concreto para ajudar as plantas a crescerem livremente. Estas bases formam uma espécie de espaço de parque público e servem a um propósito tecnológico. Cada um contém um gerador de torque, que converte a energia cinética da haste em energia elétrica utilizando cilindros amortecedores.

Como o vento não é constante, duas grandes câmaras abaixo de toda a área funcionarão como uma bateria para armazenar energia. A ideia é baseada em sistemas de armazenamento bombeado em hidrelétricas já existentes. A água na câmara superior fluirá através de turbinas para a câmara inferior, liberando a energia armazenada até que o vento comece a soprar

novamente. Esses detalhes podem ser observados na Figura 4.8. O topo de cada haste contém uma luz LED que acende quando o vento está soprando. A luz acende de maneira mais intensa durante os ventos fortes e apaga ou fica menos intensa quando o ar está fraco. As hastes deverão se comportar naturalmente, vibrando e flutuando no ar.

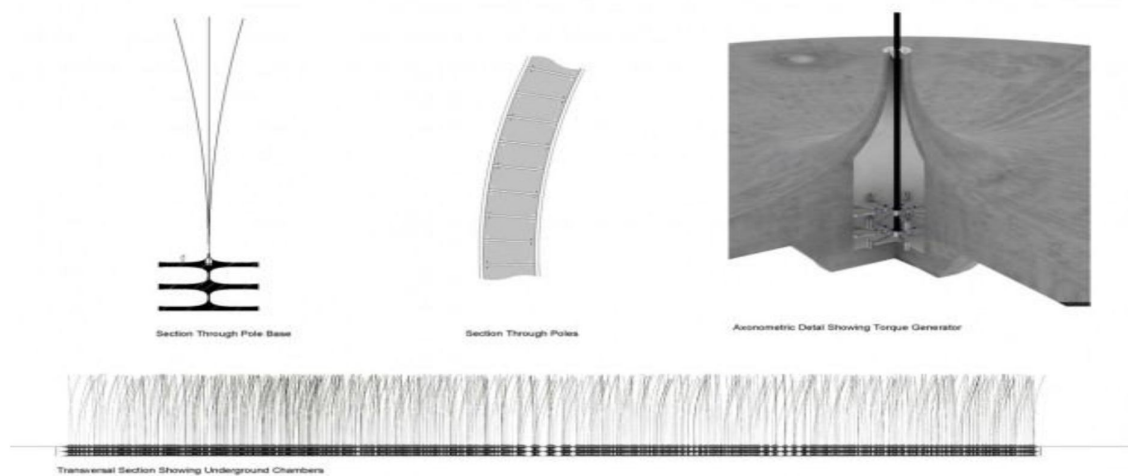


Figura 4.8 - Hastes flexíveis de fibra de carbono e base de cerâmica feita com material piezoelétrico.

Após a conclusão, uma Windstalk deve ser capaz de gerar eletricidade de maneira comparável a um parque eólico convencional cobrindo a mesma área. Entretanto com a vantagem de que a produção poderia ser aumentada com uma matriz mais densa de hastes. Densidade não é possível com turbinas convencionais, que devem ser espaçadas em cerca de três vezes o diâmetro do rotor, para evitar a turbulência do ar. Mas Windstalks trabalham sobre o caos e turbulência de modo que podem ser instalados muito mais próximos.

4.4 POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA ALIMENTADOS POR ENERGIAS EÓLICA E SOLAR

Foi desenvolvido no Ceará, pela empresa Gram-Eollic, o primeiro poste de iluminação pública totalmente alimentada por energia eólica e solar. O que mais chama a atenção no poste produtor independente de energia, que possui modelos de aço de 12 e 18 metros de altura, é a presença de um pequeno avião no topo. O avião de três metros de comprimento, feito em fibra de carbono e alumínio especial, na realidade é a peça-chave do poste híbrido. A escolha do formato de avião se deve à sua aerodinâmica, facilitando a captura de raios solares e de vento. São duas fontes de energia alimentando o poste ao mesmo tempo, podendo ser instalado em qualquer localidade. As asas do avião abrigam células solares que captam raios ultravioletas e infravermelhos por meio do silício, transformando-os em energia elétrica (até

400 W), que é armazenada em uma bateria fixada alguns metros abaixo. Cumprindo a mesma tarefa de gerar energia, estão as hélices do avião. Assim como as pás dos grandes aerogeradores, a energia (até 1.000 W) é gerada a partir do giro dessas hélices. A estrutura desses postes pode ser observada nas Figuras 4.9 e 4.10. Cada poste com um "avião" (na verdade, um gerador) é capaz de gerar energia para outros dois sem gerador e com seis lâmpadas LEDs, cerca de 50 vezes mais duradouras e com luminosidade 8 vezes maior que as lâmpadas convencionais. A captação da luz e do vento pelo avião é feita em um eixo com giro de 360 graus, de acordo com a direção do vento. Por meio dessas duas fontes, funcionando paralelamente, a bateria do poste híbrido tem autonomia de até sete dias (em torno de 70 horas), e é à prova de "apagão". O projeto pode ser visto no Palácio Iracema - Ceará, onde passa por testes. A intenção é colocar o poste híbrido em praças, avenidas e rodovias. Há benefícios econômicos para os investidores. A Gram-Eollic afirma que a economia é de cerca de R\$ 21.000 por quilômetro/mês, considerando-se a fatura cheia da energia elétrica. Além disso, o custo de instalação de cada poste é cerca de 10% menor que o convencional, isso porque economiza transmissão, subestação e cabeamento. A alternativa teria, também, um forte impacto no consumo da iluminação pública, que atualmente representa 7% da energia no estado. Com os novos postes, esse consumo passaria para próximo de 3%, e além das vantagens econômicas existe ainda o apelo ambiental.



Projeção em computação gráfica da Avenida Washington Soares, uma das mais movimentadas de Fortaleza, com a utilização do poste híbrido

Figura 4.9 - Utilização do poste autônomo em avenida.



Figura 4.10 - Partes componentes do poste híbrido.

4.5 GERADORES DE ENERGIA EÓLICA PORTÁTEIS

Windbelt é uma tecnologia que foi criada e pretende revolucionar o conceito de energia eólica. Em vez de utilizar grandes e complexas turbinas, usa um pequeno mecanismo feito a partir de uma membrana vibratória, ímãs e uma bobina de metal. O micro gerador eólico (Figura 4.11) pode recarregar baterias e pequenos dispositivos eletrônicos.



Figura 4.11 - Micro gerador eólico (Windbelt).

A geração de energia acontece a partir do fenômeno de flutteraeroelástico, ou apenas “flutter” (Figura 4.12): o gerador usa a oscilação de uma tira fina de material tensionado, preso entre duas molas, para vibrar um ímã que gera energia elétrica.



Figura 4.12 - Fenômeno “flutter” no ímã do windbelt.

O protótipo se apresenta em dois modelos: um com cinco centímetros de comprimento e um centímetro de altura (capaz de gerar energia para pequenos aparelhos eletrônicos) e outro com um metro de comprimento capaz de gerar de três a cinco watts. Estes equipamentos ainda podem ser utilizados de forma agrupada. Um único painel de um metro quadrado formado por algumas unidades de Windbelt poderá produzir até 100 W com um custo de cerca de US\$ 1/W.

CAPÍTULO 5

5.1 CONCLUSÃO

Mediante a realização do trabalho foi possível verificar o potencial de crescimento do setor de energia brasileiro. Bem como a perspectiva de expansão das fontes renováveis na matriz energética. Quando analisamos o cenário de referência que norteia o período que compreende o plano decenal pudemos verificar uma forte perspectiva de crescimento para o setor energético brasileiro, em que o aumento do PIB traz consigo o aumento da demanda de energia e por consequência viabiliza esse crescimento.

A política energética do Ministério de Minas e Energia define como objetivo maior o avanço da matriz elétrica por meio das fontes renováveis, procurando assim manter a qualidade e diferencial do Brasil em relação ao resto do mundo. Nesta perspectiva, o uso do potencial hídrico do Brasil, que se situa entre os três maiores do mundo, somente abaixo da Rússia e China, é definido como prioridade máxima para o planejamento. Seguindo-se, nesta ordem, as fontes de energia eólica e bioeletricidade da cana de açúcar. Nos próximos anos, as fontes alternativas renováveis terão uma contribuição multiplicada na matriz elétrica brasileira. Pelo Plano Decenal de Expansão – PDE 2020 haverá aumento de 56% na oferta de energia elétrica até 2020. Dos 110 GW hoje instalados no sistema, o Brasil alcançará em 2020 uma capacidade instalada de 171,9 GW. A contribuição das fontes alternativas crescerá acima da participação das outras fontes. Enquanto a capacidade instalada total brasileira crescerá 48% nesta década, a energia elétrica de parques eólicos alcançará mais de 13 GW de potência instalada. As pequenas centrais hidrelétricas e a geração por biomassa aumentarão a capacidade em 74% e 58% respectivamente. Enquanto a presença das fontes hidrelétricas na matriz energética brasileira diminuirá, a das fontes alternativas renováveis aumentará de 8% para 16% nesta década. Evolução mais sensível dar-se-á na matriz eólica, que será responsável por 7% de toda a energia elétrica gerada no Brasil nos próximos anos, enquanto hoje corresponde a 1%. A opção por fontes mais sustentáveis, que agridam menos o ambiente, é definitiva. A participação da biomassa na geração vai atingir 13 GW médios, suficientes para abastecer 20 milhões de brasileiros, o que equivale a três usinas do porte de Belo Monte. O país responde ao novo quadro com uma proposta moderna, que alia desenvolvimento a qualidade de vida, segurança e bem-estar.

A nova configuração de grandes hidroelétricas como Santo Antônio, Jirau, Belo Monte, irá determinar impactos sobre o padrão de geração hidroelétrico. Durante o período das chuvas haverá geração de grandes blocos de energia com forte possibilidade de vertimento dada à falta de reservatórios. E no período seco, estas centrais hidroelétricas irão produzir uma quantidade nitidamente menor, demandando a geração de outras fontes para complementar as necessidades de carga. Tal padrão de geração hídrica justifica a introdução de fontes complementares, capazes de produzir energia no período seco do ano. A política e o planejamento energéticos do MME e EPE têm se pautado na complementaridade da energia eólica e bioeletricidade da cana. No entanto, os estudos que suportam o PDE-2020 estão considerando estas fontes como gerações contínuas durante o período seco.

Esta configuração de complementaridade de fontes renováveis incorre em risco potencial dada as incertezas naturais que elas detêm. E com a perda de regularização dos reservatórios e nova configuração da ENA - energia natural afluyente - que tenderá a ficar muito concentrada no período úmido, haverá necessidade de centrais de fonte térmica para dar mais segurança e garantia de suprimento. O planejamento energético indicado no PDE 2020 não considera esta possibilidade, o que seria mais um vetor de risco para a operação do sistema elétrico. No entanto, como no leilão A-3 realizado em agosto de 2011 foram contratados 1.029,1 MW de potência instalada de térmicas a gás natural, em nítida discordância com o Plano, deve-se esperar que nos próximos PDEs esta decisão de planejamento deva ser alterada como o exemplo de 2011 mostrou, confirmando assim a possibilidade de ajustes que o planejamento pode realizar a cada novo PDE.

Desta forma, e a título de conclusão final, a avaliação geral do PDE 2020 entendido como um dos instrumentos do planejamento do setor elétrico é positivo, na medida em que “orienta” toda a cadeia produtiva em relação a uma série de complexas decisões. Esta avaliação pauta-se também no fato de que os leilões dos últimos anos permitiram a contratação de fontes de geração com características distintas, mas complementares: hídrica, eólica, biomassa e também gás natural.

Isto foi feito por meio de uma combinação de diferentes tipos de leilões – de reserva, de fontes alternativas, estruturantes, genéricos – e com editais com regras diferenciadas com o objetivo de induzir para um perfil de oferta de projetos aderente e convergente com a matriz estratégica que a política energética quer atingir em 2020.

CAPÍTULO 6

6.1 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Balço Energético Nacional 2011**: Ano base 2010. Rio de Janeiro: EPE, 2010. 276p.

LA ROVERE, E. Lèbre; ROSA, L. Pinguele; RODRIGUES, A. Pires. **Economia e tecnologia da energia**. Rio de Janeiro: Marco Zero/FINEP, 1985. 588p.

ANEEL, Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 3^a Edição. Brasília: Aneel, 2008. 236p.

HINRICHS, Roger A; KLEINBACH, Merlin. **Energia e o meio ambiente**. 3^a edição norte-americana. São Paulo: Cengage Learning, 2008. 543p.

DE MELO, C. Augustus; JANNUZZI, G. de Martino. **Padrões de Eficiência Energética para Equipamentos elétricos de uso residencial no Brasil**. *Revista Brasileira de Energia*, Itajubá, Volume 15, nº1, p. 49-69.

<www.aneel.gov.br>,visualizado em 05/02/12.

<www.energieolicabrasil.blogspot.com>,visualizado em 10/02/12.

<www.abeeolica.org.br>,visualizado em 21/02/12.

<www.casacivil.pb.gov.br>,visualizado em 28/02/12.

<www.mpiengenharia.com.br>,visualizado em 22/02/12.

<www.revistatechne.com.br>,visualizado em 17/02/12.

<www.a-casa-ecologica.blogspot.com>,visualizado em 17/02/12.

<www.noticias-alternativas.blogspot.com>,visualizado em 17/01/12.