UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO COMPARATIVO DAS FONTES DE ENERGIA NO BRASIL

Área de Sistemas de Energia

por

Luis Fernando Anklam
RA: 0430308

André Luís Faustino da Silva, Prof.
Orientador

Itatiba (SP), dezembro de 2005

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO

CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ESTUDO COMPARATIVO DAS FONTES DE ENERGIA NO BRASIL

Área de Sistemas de Energia

por

Luis Fernando Anklam
RA: 0430308

Relatório apresentado à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Elétrica para análise e aprovação.
Orientador: André Luís Faustino da Silva, Prof.

Itatiba (SP), dezembro de 2005

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado capacitação e força para o desenvolvimento desse Trabalho de Conclusão de Curso.

Agradeço este trabalho imensamente ao meu orientador Prof. André Luis Faustino da Silva pela ajuda e incentivo.

Agradeço a minha querida esposa Joice Toledo Anklam e minha filha Isabella Toledo Anklam pela paciência e cooperação neste período de dedicação ao projeto.

Tudo quanto te vier à mão para fazer, faze-o conforme as tuas forças, porque no além para onde tu vais, não há obra, nem projetos, nem conhecimento, nem sabedoria alguma.

Eclesiastes 9 : 10

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS vi
LISTA DE FIGURAS vii
LISTA DE TABELAS viii
RESUMO ix
ABSTRACT x
1. INTRODUÇÃO 1
1.1. OBJETIVOS 3
1.1.1. Objetivo Geral 3
1.1.2. Objetivo Específico 3
1.2. METODOLOGIA 3
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO 4
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 5
2.1. ENERGIAS CONVENCIONAIS 5
2.1.1. ENERGIA HIDRÁULICA 5
2.1.1.1. Introdução 5
2.1.1.2. Potencial Hidrelétrico no Brasil 6
2.1.1.3. Viabilidade Econômica 7
2.1.1.4. Viabilidade Técnica 8
2.1.1.5. Tipos de Hidrelétricas em Operação no Brasil 8
2.1.1.6. Impactos Socioambientais 12
2.1.1.6.1. Impactos Socioambientais da Usina Hidrelétrica de Tucuruí 12
2.1.2. GÁS NATURAL 14
2.1.2.1. Introdução 14
2.1.2.2. Reservas de Gás Natural no Brasil 15
2.1.2.3. Viabilidade Econômica 15
2.1.2.4. Viabilidade Técnica 16
2.1.2.5. Centrais Termelétricas a Gás Natural em Operação no Brasil 18
2.1.2.6. Impactos Socioambientais 20
2.1.3. ENERGIA NUCLEAR 22
2.1.3.1. Introdução 22
2.1.3.2. Energia Nuclear no Setor Elétrico Brasileiro 23
2.1.3.3. Viabilidade Econômica 24
2.1.3.4. Viabilidade Técnica 24
2.1.3.5. Usinas Nucleares Instaladas no Brasil 26
2.1.3.6. Impactos Socioambientais 28
2.1.4. CARVÃO MINERAL 30
2.1.4.1. Introdução 30
2.1.4.2. Reservas de Carvão Mineral no Brasil 31
2.1.4.3. Viabilidade Econômica 32

2.1.4.4. Viabilidade Técnica 33
2.1.4.5. Geração Termelétrica a Carvão no Brasil 34
2.1.4.6. Impactos Socioambientais 37
2.1.5. PETRÓLEO 39
2.1.5.1. Introdução 39
2.1.5.2. Reservas de Petróleo no Brasil 39
2.1.5.3. Viabilidade Econômica 41
2.1.5.4. Viabilidade Técnica 41
2.1.5.5. Termelétricas em operação no Brasil (derivados de petróleo) 41
2.1.5.6. Impactos Socioambientais 43
2.2. ENERGIAS ALTERNATIVAS 45
2.2.1. ENERGIA EÓLICA 45
2.2.1.1. Introdução 45
2.2.1.2. Viabilidade Econômica 46
2.2.1.3. Potencial Eólico Brasileiro 47
2.2.1.4. Viabilidade Técnica 49
2.2.1.5. Centrais eólicas Instaladas no Brasil 51
2.2.1.5.1. Exemplo de geração de energia eólica 51
2.2.1.6. Impactos Socioambientais 52
2.2.2. ENERGIA SOLAR 54
2.2.2.1. Introdução 54
2.2.2.2. Radiação Solar no Brasil 55
2.2.2.3.Viabilidade Econômica 57
2.2.2.4. Viabilidade Técnica 58
2.2.2.4.1. Aproveitamento da Energia Térmica 59
2.2.2.4.2. Aproveitamento da Energia Elétrica 61
2.2.2.5. Sistemas Fotovoltaicos Instalados no Brasil 62
2.2.2.6. Impactos Socioambientais 64
2.2.3. BIOMASSA 65
2.2.3.1. Introdução 65
2.2.3.2. Disponibilidade de Recursos de Biomassa no Brasil 65
2.2.3.3. Viabilidade Econômica 67
2.2.3.4. Viabilidade Técnica 67
2.2.3.4.1. Tecnologias de Aproveitamento Energético da Biomassa 68
2.2.3.5. Usinas Termelétricas a Biomassa em Operação no Brasil 70
2.2.3.6. Impactos Socioambientais 71
3. COSIDERAÇÕES FINAIS 72
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75
ANEXO I – ESTUDO DE CASO 1 78
ANEXO II – ESTUDO DE CASO 2 80
ANEXO III – ESTUDO DE CASO 3 81

LISTA DE ABREVIATURAS

ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
APE	Auto Produção de Energia
BIG	Banco de Informações de Geração
CBEE	Centro Brasileiro de Energia Eólica / UFPE
CCPS	Combined cycle power stations
CELPE	Companhia Energética de Pernambuco
CENBIO	Centro Nacional de Referência em Biomassa
CEPEL	Centro de Pesquisa de Energia Elétrica/Eletrobrás
CERPCH	Centro de Referência de Pequenas Centrais Hidrelétricas / EFEI-Itajubá
CGH	Central Geradora Hidrelétrica
CGTEE	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica
CPRM	Centro de Pesquisas de Recursos Minerais
CRESESB	Centro de Referência para a Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito/CEPEL
ELETROBRÁS	Centrais Elétricas do Brasil S/A
ELETRONUCLEAR	Eletrobrás Termonuclear S/A
EMAE	Empresa Metropolitana de Águas e Energia S.A.
GEE	Gases do Efeito Estufa
GREEN	Grupo de Estudos em Energia/PUC-MG
IVIG	Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais – COPPE/UFRJ
LABSOLAR	Laboratório de Energia Solar/UFSC
MME	Ministério de Minas e Energia
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
PIE	Produção Independente de Energia
PPT	Plano Prioritário de Termelétricas
PROINFA	Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Fontes Alternativas
PWR	Pressurized Water Reactor
RCGG	The Research Centre for Global Governance - UFRGS
SP	Serviço Público
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UNISUL	Universidade do Sul de Santa Catarina
USF	Universidade São Francisco
UTPM	Usina Termelétrica Presidente Médici

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Potência Elétrica produzida no Brasil – situação em outubro de 2005 2
Figura 2. Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003 6
Figura 3. Exemplos de turbinas hidráulicas (Pelton, Kaplan e Francis).....8
Figura 4. Usina Hidrelétrica Henry Borden – Cubatão – SP (Alta Queda) 10
Figura 5. Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional (Média Queda).....11
Figura 6. Usina Hidrelétrica de Jupiá (Baixa Queda) 11
Figura 7. Fluxograma típico de uma Termelétrica de Ciclo Combinado – Tipo 2+1.....18
Figura 8. Localização das termelétricas a gás natural em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 20
Figura 9. Diagrama esquemático de uma Usina Nuclear.....23
Figura 10. Reservas nacionais de urânio, unidades de extração, beneficiamento e produção de elementos combustíveis e usina termonuclear de Agra dos Reis 26
Figura 11. Usinas Nucleares Angra I e II – Angra dos Reis - RJ 26
Figura 12. Geração Bruta (MWh) x Fator de Disponibilidade (%) de Angra I.....27
Figura 13. Fator de Disponibilidade (%) e Geração Bruta (MWh) de Angra II.....28
Figura 14. Mineração de carvão a céu aberto – Mina do Recreio, Butiá – Leão, RS.....32
Figura 15. Unidade do complexo termelétrico de Jorge Lacerda 35
Figura 16. Usina termelétrica Presidente Médici, com 446MW instalados – Candiota, RS 36
Figura 17. Empreendimentos futuros e em operação – situação em setembro de 2003 37
Figura 18. Centrais termelétricas em operação no Brasil (derivados de petróleo) e potencia instalada segundo unidades da Federação – situação em setembro de 2003 43
Figura 19. Comparação entre o fluxo de água do Rio São Francisco e o regime de vento no Nordeste do Brasil 47
Figura 20. Velocidade média do vento (m/s) a 50m acima do nível da superfície.....48
Figura 21. Potencial eólico do Brasil – k média anual de Weibull.....49
Figura 22. Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna.....50
Figura 23. Exemplos de turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande)....50
Figura 24. Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha.....52
Figura 25. Radiação solar no Brasil – Média anula típica (Wh/m^2. dia) 57
Figura 26. Ramificações da Energia Solar.....59
Figura 27. Sistema solar de aquecimento de água 60
Figura 28. Sistema térmico de geração solar de energia elétrica (Califórnia – EUA).....61
Figura 29. Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica.....62
Figura 30. Sistema de bombeamento fotovoltaico – Santa Cruz I (Mirante do Paranapanema – SP).....63
Figura 31. Sistema fotovoltaico para atendimento domiciliar – Projeto Ribeirinhas 63
Figura 32. Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa 68
Figura 33. Usinas termelétricas a biomassa em operação e potência instalada por estado – situação em setembro de 2003 71
Figura 34. Energia x US$ / MWh Gerado 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Índices de aproveitamento por bacia – situação em março de 2003 7
Tabela 2. Distribuição das centrais hidrelétricas em operação por faixa de potência – situação em setembro de 2003 9
Tabela 3. Reservas de Gás Natural por região de produção (Bilhões de m^3) 15
Tabela 4. Centrais Termelétricas a Gás Natural em operação no Brasil em setembro de 2003 19
Tabela 5. Geração de Energia Nuclear no Brasil 24
Tabela 6. Reservas de Urânio no Brasil – situação em janeiro de 2001 25
Tabela 7. Reservas de carvão mineral no Brasil 31
Tabela 8. Centrais a carvão mineral em operação no Brasil – situação em setembro de 2003 35
Tabela 9. Reservas de Petróleo no Brasil – situação em fevereiro de 2005 40
Tabela 10. Usinas termelétricas a óleo ultraviscoso, óleo combustível e gás de refinaria em operação no Brasil em setembro de 2003 42
Tabela 11. Centrais eólicas em operação no Brasil – situação em Setembro 2003 51
Tabela 12. Duração solar do dia, em horas, diferentes latitudes e períodos do ano 56
Tabela 13. Eficiência de conversão e custo de células solares 58
Tabela 14. Sistemas de bombeamento de água na região do Portal do Paranapanema - SP 64
Tabela 15. Combustíveis utilizados em usinas termelétricas a biomassa em operação no Brasil – situação outubro de 2005 70

RESUMO

Anklam, Luis Fernando. Estudo comparativo das fontes de energia no Brasil**.** Itatiba, 2005. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2005.

Este estudo apresenta informações sobre fontes e tecnologias de geração de energia elétrica, assim como impactos socioambientais de interesse do setor elétrico brasileiro.

Serão apresentadas neste estudo as energias convencionais tais como, Energia Hidráulica, Gás Natural, Energia Nuclear, Carvão Mineral e Petróleo e as energias alternativas como, Energia Eólica, Energia Solar e Biomassa.

Em cada sistema de energia será visto o tipo de tecnologia empregada, a viabilidade técnica e econômica, suas vantagens e desvantagens, e os impactos socioambientais causados pela instalação desses sistemas.

Palavras-chave: Energia Alternativa. Viabilidade Técnica. Viabilidade Econômica. Impactos Socioambientais.

ABSTRACT

Anklam, Luis Fernando. Estudo comparativo das fontes de energia no Brasil. Itatiba, 2005. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade São Francisco, Itatiba, 2005.

This study presents information on sources and technologies of generation of electric energy, as well as socio-environmental impacts of interest of the Brazilian electric sector.
Such will be presented in this study the conventional energies as, Hydraulical Energy, Natural Gas, Nuclear Energy, Mineral Coal and Oil and the alternative energies as, Aeolian Energy, Solar Energy and Biomass.
In each system of energy the type of technology used, the viability technique and viability economic, the advantages and disadvantages and most important, the socio-environmental impacts caused by the installation of these systems.

Keywords: Alternative Energy. Viability Technique. Economic viability. Socio-environmental Impacts

1. INTRODUÇÃO

A energia, nas suas mais diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir, descobrindo fontes e formas alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão e escassez de um dado recurso tende a serem compensadas pelo surgimento de outra fonte, como alternativa. A eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia, passando a ser um recurso indispensável e estratégico para o desenvolvimento socioeconômico de muitos países e regiões [2].

Cerca de um terço da população mundial ainda não tem acesso à energia elétrica, e uma parcela considerável é atendida de forma muito precária, apesar dos avanços tecnológicos e benefícios proporcionados. No Brasil, a situação é menos crítica, mas ainda muito preocupante. Apesar da grande extensão territorial do país e da abundância de recursos energéticos, há uma enorme diversidade regional e forte concentração de pessoas e atividades econômicas em regiões com sérios problemas de suprimento energético. É preciso que cada fonte ou recurso energético seja estrategicamente aproveitado.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), 2005, 5% dos municípios brasileiros não dispõem de energia elétrica, o que significa 2 milhões e 400 mil domicílios ou 12 milhões de brasileiros sem energia, sendo que, 80% dos domicílios estão na zona rural.

O governo federal quer reverter essa situação até 2008, com programas como “Luz Para Todos”, uma parceria com as distribuidoras de energia e os governos estaduais e o Programa de Apoio Financeiro a Investimentos em Fontes Alternativas (Proinfa), que visa à diversificação da matriz energética nacional. Prevendo a contratação de um total de 3,3 GW de energia no Sistema Interligado Nacional, provenientes de fonte Eólica, Biomassa e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH’s), uma forma de complementaridade energética sazonal à energia hidráulica [27].

O Brasil possui um dos maiores e melhores potenciais energéticos do mundo, com cerca de 8,5 milhões de quilômetros quadrados, mais de 7 mil quilômetros de litoral e condições edafo-climáticas extremamente favoráveis. Contudo, as reservas de combustíveis fósseis estão

relativamente reduzidas, já, os potenciais hidráulicos, a irradiação solar, a biomassa e a força dos ventos são suficientemente abundantes para garantir a auto-suficiência energética do país. Apenas duas fontes energéticas – hidráulica e petróleo – têm sido extensivamente aproveitadas. Cerca de 90% do suprimento de energia elétrica do país provém de geração hidráulica, e o petróleo representa mais de 30% da matriz energética nacional [2].

Na Figura 1 tem-se o gráfico em relação à matriz de potência elétrica gerada no Brasil, que é de 100.974.585 kW.

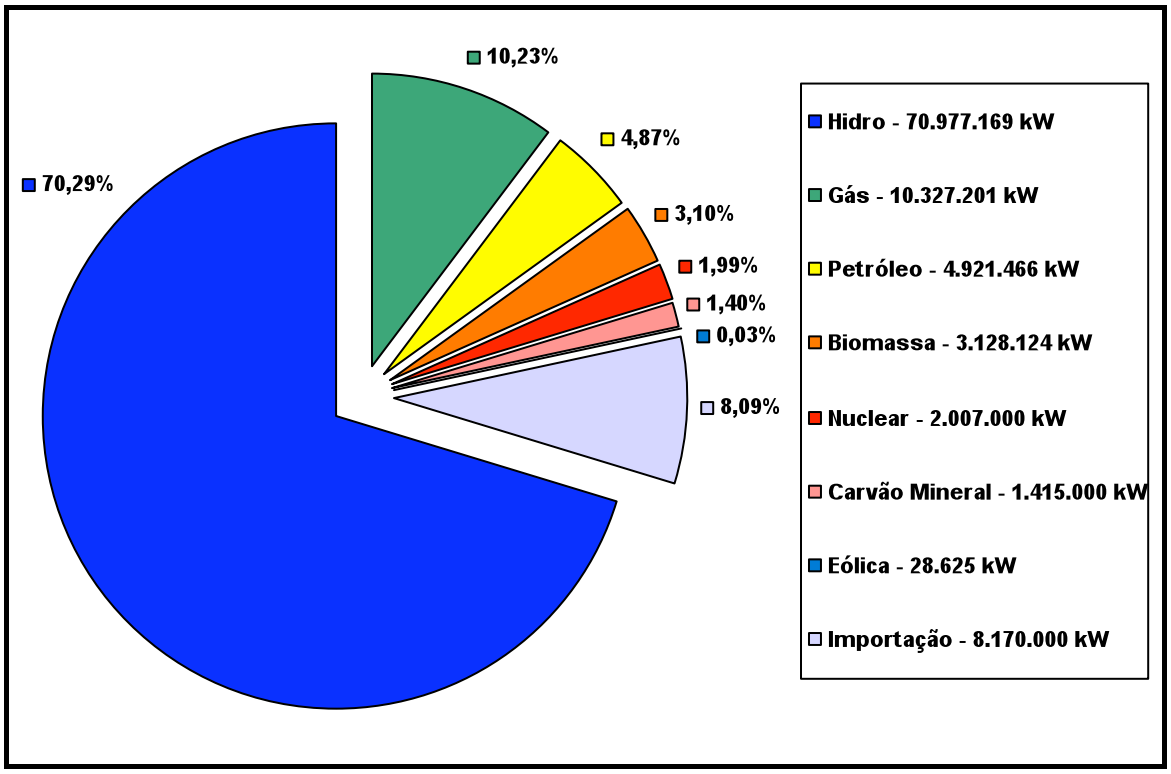


Figura 1. Potência Elétrica produzida no Brasil – situação em 24 de novembro de 2005
Fonte: Adaptado de Aneel – Banco de Informações de Geração - BIG, 2005

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

Tem-se como objetivo geral a análise, identificação e estudo sobre as fontes de energias atualmente utilizadas no Brasil, tanto as convencionais como as alternativas.

1.1.2. Objetivo Específico

O objetivo específico desse trabalho é analisar as energias disponíveis, comparando-as quanto à viabilidade técnica e econômica, suas vantagens e desvantagens, e os impactos socioambientais causados pelas instalações desses projetos. Apontar as energias alternativas que requerem maiores estudos e atenção a serem dadas pelas universidades e pelo governo.

1.2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desse trabalho foi baseada em dados publicados por entidades como CBEE, ANP, Eletrobras, Eletronuclear, GREEN, LABSOLAR, MME, na bibliografia do Atlas de Energia Elétrica do Brasil da ANEEL, e outras.

Foram estudadas as energias atualmente utilizadas no Brasil, tanto alternativas como convencionais, com o intuito de comparar quanto à viabilidade técnica e econômica, suas vantagens e desvantagens, e os impactos Socioambientais causados pelas instalações desses projetos.

1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura do trabalho está dividida em dois sistemas de energias, primeiramente as Energias Convencionais, dentre elas a Energia Hidráulica, Gás Natural, Energia Nuclear, Carvão Mineral e Petróleo; e o outro sistema são as Energias Alternativas como, a Energia Eólica, Energia Solar e Biomassa. Dentro de cada energia apresentada foi subdividida da seguinte forma:

1 – Introdução: Uma breve introdução sobre o sistema de energia estudado.
2 – Potencial/Reversas: Apresenta a situação e condições climáticas para a instalação do projeto no Brasil.
3 – Viabilidade Econômica: Contém informações sobre custos de geração de energia.
4 – Viabilidade Técnica: Contém informações técnicas sobre o sistema estudado.
5 – Centrais Instaladas: Apresenta as centrais em funcionamento e os respectivos fornecimentos de energia elétrica para o Brasil.
6 – Impactos Socioambientais: Um dos principais itens estudados neste trabalho apresenta as conseqüências da implementação do sistema de energia.
E para finalizar, a conclusão do autor sobre o trabalho apresentado, demonstrando que algumas energias alternativas são mais viáveis que outras convencionais quando comparadas em diferentes aspectos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. ENERGIAS CONVENCIONAIS

As energias convencionais na maioria são aquelas normalmente de origem fóssil e não renovável como o Petróleo, Gás Natural e o Carvão Mineral. Outra energia convencional é a Energia Hidráulica que é a mais utilizada no Brasil e além Energia Nuclear.

2.1.1. ENERGIA HIDRÁULICA

2.1.1.1. Introdução

O uso da energia hidráulica foi uma das primeiras formas de substituição do trabalho animal pelo mecânico, particularmente para bombeamento de água e moagem de grãos.

No Brasil como em diversos países a energia hidráulica é principal fonte geradora de energia elétrica. A contribuição da energia hidráulica ao desenvolvimento econômico do País tem sido expressiva, sejam no atendimento das diversas demandas da economia – atividades industriais, agrícolas, comerciais e de serviços – ou da própria sociedade, seja na melhoria do conforto das habitações e da qualidade de vida das pessoas. Também desempenha papel importante na integração e no desenvolvimento de regiões distantes dos grandes centros urbanos e industriais [2].

A participação da energia hidráulica no País é de 70,42%, com 70.632.427 kW de toda a potência elétrica gerada no País [3]. Apesar da tendência de aumento de outras fontes, devido a restrições socioeconômicas e ambientais de projetos hidrelétricos e aos avanços tecnológicos no aproveitamento de fontes não-convencionais, tudo indica que a energia hidráulica continuará sendo, por muitos anos, a principal fonte geradora de energia elétrica do Brasil. Embora os maiores potenciais remanescentes estejam localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores, estima-se que, nos próximos anos, pelo menos 50% da necessidade de expansão da capacidade de geração seja de origem hídrica [2].

2.1.1.2. Potencial Hidrelétrico no Brasil

O potencial hidrelétrico brasileiro situa-se ao redor de 260 GW. Contudo apenas 68% desse potencial foram inventariados. Entre as bacias com maior potencial destacam-se as do Rio Amazonas e do Rio Paraná. Na Bacia do Amazonas, destaca-se o Rio Xingu com 27.734,92 MW, 12,7% do potencial inventariado no País. Outras sub-bacias do Amazonas, cujos potenciais estimados são consideráveis, são a do Rio Tapajós, a do Rio Madeira e a do Rio Negro. Na Bacia do Tocantins, destaca-se o Rio Itacaiunas e outros somando 10.970,60 MW, com 6,1% do potencial brasileiro inventariado. Na Bacia do São Francisco, o destaque vai para Moxotó e outros com 17.577,50 MW, que representam 9,9% do potencial inventariado. Na Bacia do Paraná, existem várias sub-bacias com grandes potenciais, entre elas, Paraná, Paranapanema e outros, somando 15.298,98 MW, com 8,1% do potencial hidrelétrico inventariado no País [2]. Na Figura 2, é apresentado o potencial hidráulico brasileiro, por sub-bacia hidrográfica.

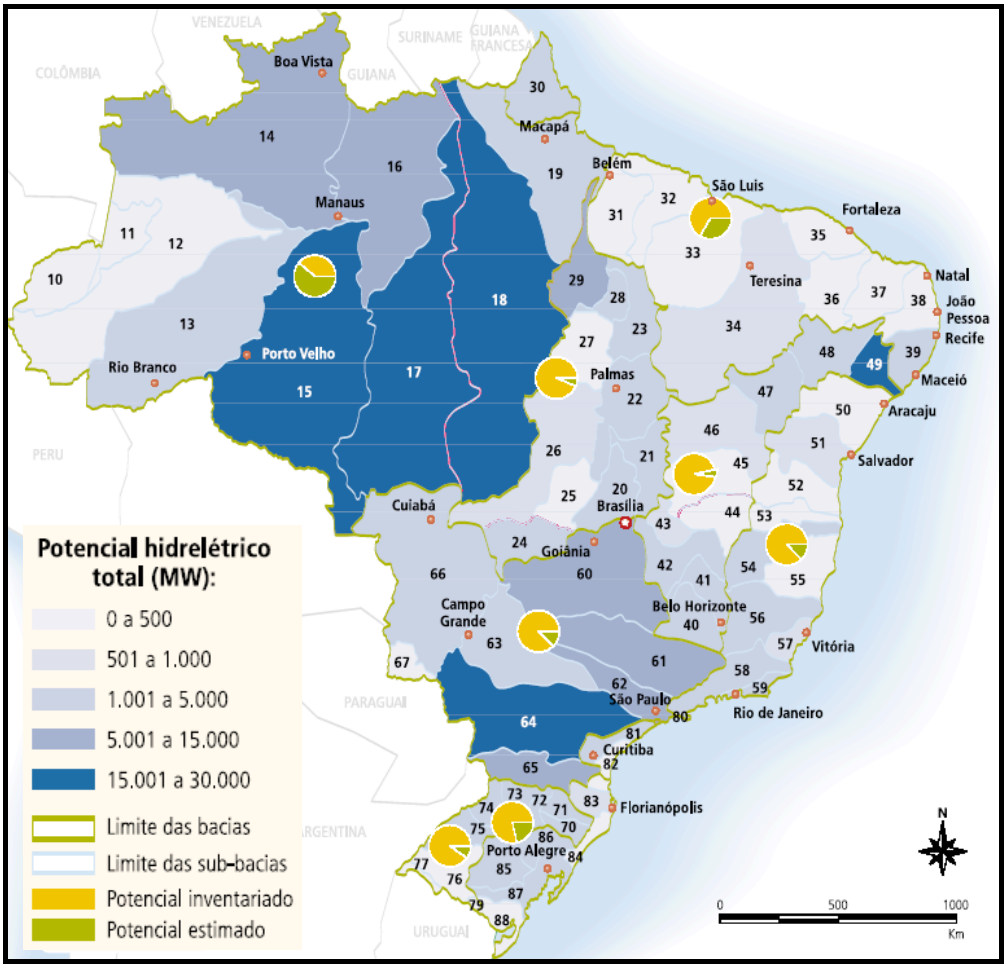


Figura 2. Potencial hidrelétrico brasileiro por sub-bacia hidrográfica – situação em março de 2003

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.1.3. Viabilidade Econômica

O custo da energia gerada nas usinas hidrelétricas apresenta-se na faixa de US$ 20 a US$ 40 / MWh [28].

Em muitas bacias hidrográficas do Brasil verifica-se esgotamento dos potenciais hidrelétricos, as mais saturadas são a do Paraná e a do São Francisco, com índices de aproveitamento (razão entre potencial aproveitado e potencial existente) de 64,5% e 39,2%, respectivamente (Tabela 1). As menores taxas de aproveitamento são verificadas nas bacias do Amazonas e Atlântico Norte/Nordeste. Em nível nacional, 25,6% do potencial hidrelétrico estimado já foi aproveitado. Em relação ao potencial inventariado, essa proporção aumenta para 37,3% [2].

Tabela 1. Índices de aproveitamento por bacia – situação março de 2003

Bacia	Inventariado (MW) [a]	Inventariado + Estimado (MW) [b]	Capacidade Instalada (MW) [c]	Índices de aproveitamento [c/a]	[c/b]
Bacia do Rio Amazonas	40.883,07	105.047,56	667,30	1,6%	0,6%
Bacia do Rio Tocantins	24.620,65	26.639,45	7.729,65	31,4%	29,0%
Bacia do Atlântico Norte/Nordeste	2.127,85	3.198,35	300,92	14,1%	9,4%
Bacia do Rio São Francisco	24.299,84	26.217,12	10.289,64	42,3%	39,2%
Bacia do Atlântico Leste	12.759,81	14.539,01	2.589,00	20,3%	17,8%
Bacia do Rio Paraná	53.783,42	60.902,71	39.262,81	73,0%	64,5%
Bacia do Rio Uruguai	11.664,16	12.815,86	2.859,59	24,5%	22,3%
Bacia do Atlântico Sudeste	7.296,77	9.465,93	2.519,32	34,5%	26,6%
Brasil -	**177.435,57**	**258.825,99**	**66.218,23**	**37,3%**	**25,6%**

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

Os baixos índices de aproveitamento da Bacia do Amazonas são devidos ao relevo predominante da região (planícies), à sua grande diversidade biológica e à distância dos principais centros consumidores de energia. Já na região centro-sul do País, o desenvolvimento econômico muito mais acelerado e o relevo predominante (planaltos) levaram a um maior aproveitamento dos seus potenciais hidráulicos. Mas o processo de interiorização do País e o próprio esgotamento dos melhores potenciais das regiões Sul e Sudeste têm requerido um maior aproveitamento hidráulico de regiões mais remotas e economicamente menos desenvolvidas [2].

2.1.1.4. Viabilidade Técnica

O aproveitamento da energia hidráulica para geração de energia elétrica é feito por meio do uso de turbinas hidráulicas, devidamente acopladas a um gerador. Com eficiência que pode chegar a 90%, as turbinas hidráulicas são atualmente as formas mais eficientes de conversão de energia primária em energia secundária [2].

O modelo de turbina hidrelétrica mais utilizada é o Francis, uma vez que se adaptam tanto em locais com baixa queda quanto em locais de alta queda e com velocidades de rotação entre 500 rpm e 750 rpm. Como trabalha totalmente submerso, seu eixo pode ser horizontal ou vertical [2].

O modelo Kaplan é adequado em locais de baixa queda (10 m a 70 m), com velocidades de rotação entre 70 e 350 rpm e o Pelton, mais apropriado em locais de elevada queda (200 m a 1.500 m), utilizando geradores de alta velocidade [2].

A Figura 3 apresenta um exemplo de turbina hidráulica para cada um dos três modelos citados.

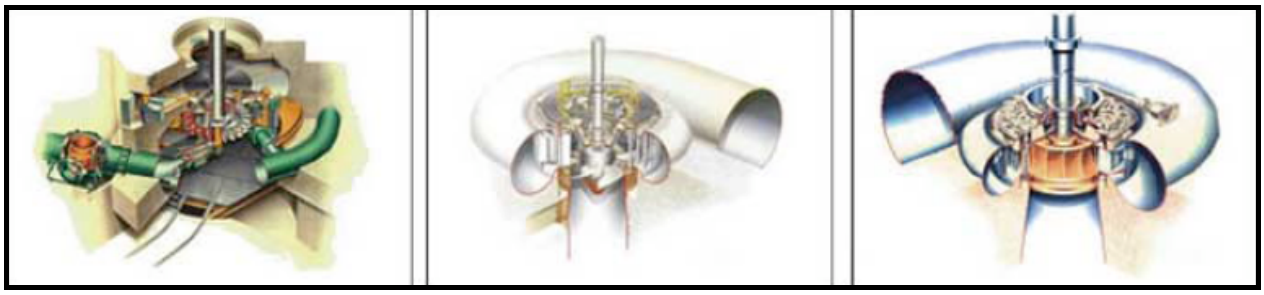


Figura 3. Exemplos de turbinas hidráulicas (Pelton, Kaplan e Francis)
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.1.5. Tipos de Hidrelétricas em Operação no Brasil

No Brasil havia registro de 517 centrais hidrelétricas em operação em setembro de 2003, das quais 378 eram empreendimentos de pequeno porte – micro e pequenas centrais hidrelétricas. Como indicado na Tabela 2, as usinas acima de 30 MW correspondem a 98,4% da capacidade hidrelétrica instalada no País [2].

Tabela 2. Distribuição das centrais hidrelétricas em operação por faixa de potência – situação setembro de 2003

Faixa de Potência	Número de usinas	Potência	
		MW	%
UHE (acima 30 MW)	139	69.563	98,40
PCH (de 1 até 30 MW, inclusive)	230	1.048	1,48
CGH (até 1 MW, inclusive)	148	81	0,12
Total	**517**	**70.693**	**100**

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

Para a classificação das usinas hidrelétricas são utilizados os seguintes aspectos [2]:

- Altura efetiva da queda d'água;
- Capacidade ou potência instalada;
- Tipo de turbina empregada;
- Localização, tipo de barragem, reservatório etc.

Geralmente, a altura da queda determina os demais, e uma combinação entre esta e a capacidade instalada determina o tipo de planta e instalação.

É considerada baixa queda uma instalação com altura de até 15 m; instalações com alturas superiores a 150 m são consideradas de alta queda e instalações com altura entre esses dois valores são consideradas de média queda [10].

Um exemplo de usina hidrelétrica de alta queda é o complexo Henry Borden, localizado no sopé da Serra do Mar, em Cubatão - SP (Figura 4). É composta por duas usinas de alta queda (720 m), denominadas de Externa e Subterrânea, com 14 grupos de geradores acionados por turbinas Pelton, perfazendo uma capacidade instalada de 889MW. A mais antiga das usinas possui oito condutos forçados externos e uma casa de força convencional. A primeira unidade foi inaugurada em 1926, as demais instaladas até 1950, num total de oito grupos geradores, com capacidade instalada de 469MW. Cada gerador é movido por duas turbinas tipo Pelton, acionadas pelas águas conduzidas do Reservatório do Rio das Pedras que atingem a Casa de Válvulas onde, após passarem por duas válvulas borboletas através de condutos forçados, descem à encosta atingindo as suas respectivas turbinas, perfazendo uma distância de aproximadamente 1.500 m. A Usina subterrânea é composta de seis grupos geradores, instalados no interior do maciço rochoso da Serra do Mar, em uma caverna de 120 m de comprimento, 21

m de largura e 39 m de altura, cuja capacidade instalada é de 420MW. O primeiro grupo gerador entrou em operação em 1956. Cada gerador é movido por uma turbina Pelton acionada por quatro jatos d'água [17].

Figura 4. Usina Hidrelétrica Henry Borden – Cubatão – SP (Alta Queda)
Fonte: Adaptado de EMAE (2005)

A Usina Hidrelétrica de Itaipu (Figura 5) é considerada de média queda, sendo a maior hidrelétrica em operação no mundo, com uma potência instalada de 12.600 MW (18 unidades geradoras de 700 MW). As obras civis tiveram início em janeiro de 1975, e a usina entrou em operação comercial em maio de 1984. A última unidade geradora entrou em operação em abril de 1991. Atualmente, estão sendo instaladas mais duas unidades geradoras, o que aumentará sua capacidade nominal para 14.000 MW [2].

Figura 5. Usina Hidrelétrica Itaipu Binacional (Média Queda)
Fonte: Adaptado de Itaipu (2005)

Um exemplo típico de aproveitamento hidrelétrico de baixa queda é o da Usina Hidrelétrica de Jupiá (Figura 6), localizada no Rio Paraná, Município de Três Lagoas – SP. Com reservatório de 330 km^2, a usina possui 14 turbinas Kaplan, totalizando uma potência instalada de 1.551 MW [2].

Figura 6. Usina Hidrelétrica de Jupiá (Baixa Queda)
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.1.6. Impactos Socioambientais

A conseqüência de geração de energia hidráulica é a inundação de grandes áreas, onde na maioria dos casos, tratava-se de áreas produtivas e de grande diversidade biológica, exigindo a realocação de grandes contingentes de pessoas e animais silvestres.

A formação de reservatórios de água e regularização de vazões provoca alterações no regime das águas e a formação de microclimas, favorecendo certas espécies (não necessariamente as mais importantes) e prejudicando, ou até mesmo extinguindo outras. Entre as espécies nocivas à saúde humana, destacam-se parasitas e transmissores de doenças endêmicas, como a malária e a esquistossomose [2].

Dois exemplos internacionais de graves problemas decorrentes de empreendimentos hidrelétricos são Akossombo (Gana) e Assuam (Egito). Além de alterações de ordem hídrica e biológica, esses projetos provocaram o aumento da prevalência da esquistossomose mansônica, que em ambos os casos ultrapassaram o índice de 70% da população local e circunvizinha, entre outros transtornos de ordem cultural, econômica e social [2].

Estima-se que a área inundada por aproveitamentos hidrelétricos no Brasil seja da ordem de 36.000 km^2; o equivalente a 82% da extensão territorial do Estado do Rio de Janeiro e 0,4% de todo o território brasileiro [2].

2.1.1.6.1. Impactos Socioambientais da Usina Hidrelétrica de Tucuruí

A Usina Hidrelétrica de Tucuruí está localizada na Bacia Hidrográfica do Rio Tocantins, numa região de floresta tropical úmida, com 4.240 MW de potência instalada e previsão de duplicação de sua capacidade até 2006. Com a formação de 2.800 km2 de área alagada, foi necessário o deslocamento de 4.407 famílias [2].

Entre os impactos inesperados, destacam-se os seguintes: isolamento da população ribeirinha após o enchimento do reservatório; ocupação irregular e desordenada; conflito de uso da água; ausência de infra-estrutura; proliferação intensa de mosquitos; intensificação da atividade madeireira predatória; perdas de zonas de pesca a jusante do barramento; aparecimento

de grandes cardumes a montante; enorme mortandade de animais com o enchimento do reservatório; emissão de gases de efeito estufa a partir da superfície do lago; reassentamento em áreas impróprias para a agricultura; alto índice de abandono de lotes e de comercialização dos mesmos; pressão na estrutura fundiária local; destruição das relações sociais das comunidades indígenas na região; suprimento de energia seletivo, sem atendimento à população atingida; mudanças da estrutura produtiva agro-extrativista para industrial; oferta de empregos aquém da mão-de-obra atraída para a região; conflito entre pesca artesanal e comercial; compensação financeira para os municípios que tiveram áreas inundadas. Entre os impactos esperados destacam-se a perda da rica biodiversidade local [2].

2.1.2. GÁS NATURAL

2.1.2.1. Introdução

O gás natural como outros combustíveis fósseis são originados da decomposição de matéria orgânica fossilizada ao longo de milhões de anos formando uma mistura de hidrocarbonetos gasosos. Em seu estado bruto, o gás natural é composto principalmente por metano, com proporções variadas de etano, propano, butano, hidrocarbonetos mais pesados e também CO2, N2, H2S, água, ácido clorídrico, metanol e outras impurezas. O gás natural é produzido, muitas vezes juntamente com o petróleo, através da extração nas bacias sedimentares da crosta terrestre. Ao chegar à superfície ele é tratado para remoção de impurezas, como água e outros gases. A seguir ele é transportado por gasodutos para as zonas de consumo e refino.

O gás natural é hoje apontado como um dos energéticos de maior perspectiva de incremento, a ponto de ser designado freqüentemente como "o combustível do século XXI". Cresce também o uso deste produto como matéria-prima industrial. No Brasil, o gás natural apresenta-se hoje de forma ainda discreta, não respondendo por mais de 5% da atual matriz energética nacional. Sabe-se, contudo, que as metas governamentais apontam para a faixa de 10-12% nos próximos 5 anos, em razão do amplo programa de massificação do uso do gás, que levará o produto a quase todos os estados da federação. Com reservas agora substanciais e rede de transporte adequada, as inquestionáveis vantagens econômicas e ambientais do gás natural serão oferecidas a termelétricas, indústrias, casas comerciais e veículos [19].

Outras características intrínsecas importantes são os baixos índices de emissão de poluentes, em comparação a outros combustíveis fósseis, rápida dispersão em caso de vazamentos, os baixos índices de odor e de contaminantes. Ainda, em relação a outros combustíveis fósseis, o gás natural apresenta maior flexibilidade, tanto em termos de transporte como de aproveitamento [2].

A inclusão do gás natural na matriz energética nacional, conjugada com a necessidade de expansão do parque gerador de energia elétrica e com o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país, tem despertado o interesse de analistas e empreendedores em ampliar o seu uso na geração termelétrica.

2.1.2.2. Reservas de Gás Natural no Brasil

A reavaliação das reservas de gás feita em 1998 e a ausência de novas descobertas de médio e grande porte, levaram as reservas totais de Gás Natural a atingir a marca de 409,8 bilhões de m^3, com o decréscimo de 5,9% em relação ao volume de 97 [19].

Desse total, 225,9 bilhões de m^3 (55,1%) referem-se ao volume provado e 183,9 bilhões de m^3 (44,9%) à soma das reservas prováveis e possíveis. Com volume de 26,5 bilhões de m^3, o campo de Leste de Urucu (AM) lidera a lista dos 20 campos com maiores reservas provadas de gás, onde se concentram 76,9% do volume total. Em seguida, vem o campo de Marlim (Bacia de Campos), que tem 23,7 bilhões m^3 de gás [19].

Mais de 50% das reservas totais de gás, ou seja, 205,8 bilhões de m^3 estão localizadas na Bacia de Campos e o restante, 49,8%, distribuído nas demais unidades operativas da Petrobras. A maior parte das reservas totais de gás está localizada no offshore, onde se concentram 252,6 bilhões de m^3. Grande parte das reservas está localizada em lâmina d'água superior a 1.000 m [19].

Tabela 3. Reservas de Gás Natural por região de produção (Bilhões de m^3)

Unidade Operativa	Provada	Provável + Possível	Total
Amazônia	60,0	36,8	**96,8**
Bahia	24,8	19,1	**43,9**
Bacia de Campos	94,4	111,4	**205,8**
Espírito Santo	5,8	2,9	**8,7**
R.G. Norte / Ceará	18,4	7,8	**26,2**
Sergipe / Alagoas	14,2	5,5	**19,7**
Sul	8,3	0,4	**8,7**
Petrobrás	225,9	183,9	**409,8**

Fonte: Adaptado de GASNET, 2005

2.1.2.3. Viabilidade Econômica

Nos últimos anos o gás natural está surgindo como uma das principais alternativas de expansão da capacidade de geração de energia elétrica em vários países, inclusive no Brasil.

Atualmente, as maiores turbinas a gás chegam a 330 MW de potência e os rendimentos térmicos atingem 42%. Em 1999, os menores custos de capital foram inferiores a US$ 200 por kW instalado, em várias situações e faixas de potência (110-330 MW) [2]. O custo da energia gerada nas usinas termelétricas a gás natural apresenta-se na faixa de US$ 43,32 / MWh [22].

Os investimentos também são menores em uma usina termelétrica a gás natural de ciclo combinado ("Combined cycle power stations", CCPS's). Comparando a uma usina a carvão, incluindo a unidade de desufurização dos gases de escape da chaminé (hoje exigência em todo o mundo) ficamos 80% mais caros que uma CCPS equivalente. O gás usado, porém, deverá ser um produto de elevada qualidade, enquanto as outras térmicas podem lançar mão do carvão não tratado ou óleos combustíveis residuais, de custo menor [19].

Devido ao não manuseio de combustível e ao alto grau de automação que se pode alcançar em uma CCPS, o número de operários é comparativamente pequeno em relação às térmicas tradicionais - em uma termelétrica a gás natural de ciclo combinado de 800 MW pode-se esperar algo entre 30 e 60 homens [19].

2.1.2.4. Viabilidade Técnica

O prazo de construção de uma usina termelétrica a gás natural de ciclo combinado ("Combined cycle power stations", CCPS's) não excede 2 anos, enquanto uma térmica a óleo ou carvão equivalente leva em média 3 anos [19].

Entre as vantagens adicionais da geração termelétrica a gás natural estão o prazo relativamente curto de maturação do empreendimento e a flexibilidade para o atendimento de cargas de ponta. Por outro lado, as turbinas a gás são máquinas extremamente sensíveis às condições climáticas, principalmente em relação à temperatura ambiente, e apresentam também alterações substanciais de rendimento térmico no caso de operação em cargas parciais [2].

Apesar dos ganhos alcançados no rendimento térmico das turbinas a gás operando em ciclo simples, seu desempenho tem sido prejudicado pela perda de energia nos gases de

exaustão. Entre outras tecnologias empregadas na recuperação dessa energia, destaca-se a de ciclo combinado, por meio da geração de vapor e da produção de potência adicional [2].

Tem-se, assim, uma combinação dos ciclos de turbinas a gás e turbinas a vapor, por meio de trocadores de calor, nos quais ocorre a geração de vapor, aproveitando-se a energia dos gases de exaustão da turbina a gás. Esse processo ainda pode ser melhorado com a queima de combustível suplementar, principalmente quando há disponibilidade de combustíveis residuais [2].

Atualmente, os ciclos combinados são comercializados em uma ampla faixa de capacidades, módulos de 2 MW até 800 MW, e apresentam rendimentos térmicos próximos de 60% [2].

Outros melhoramentos importantes são a reduções das irreversibilidades nas caldeiras de recuperação e a redução das perdas térmicas entre os dois ciclos (das turbinas a gás e a vapor). A redução das irreversibilidades pode ser viabilizada com a geração de vapor em diferentes níveis de pressão. Sistemas de maior capacidade têm sido projetados para dois ou três níveis de pressão, com a possibilidade de reaquecimento no nível de pressão intermediária. Já a redução das perdas pode ser viabilizada com a diminuição da temperatura dos gases de exaustão [2].

Na Figura 7 temos o fluxograma típico de uma termelétrica de ciclo combinado - tipo 2+1, onde a maioria das térmicas a gás natural em funcionamento ou construção adota a configuração de mais de uma turbina a gás, pois desta forma não há limite à capacidade da usina, e os riscos de paralisação são reduzidos.

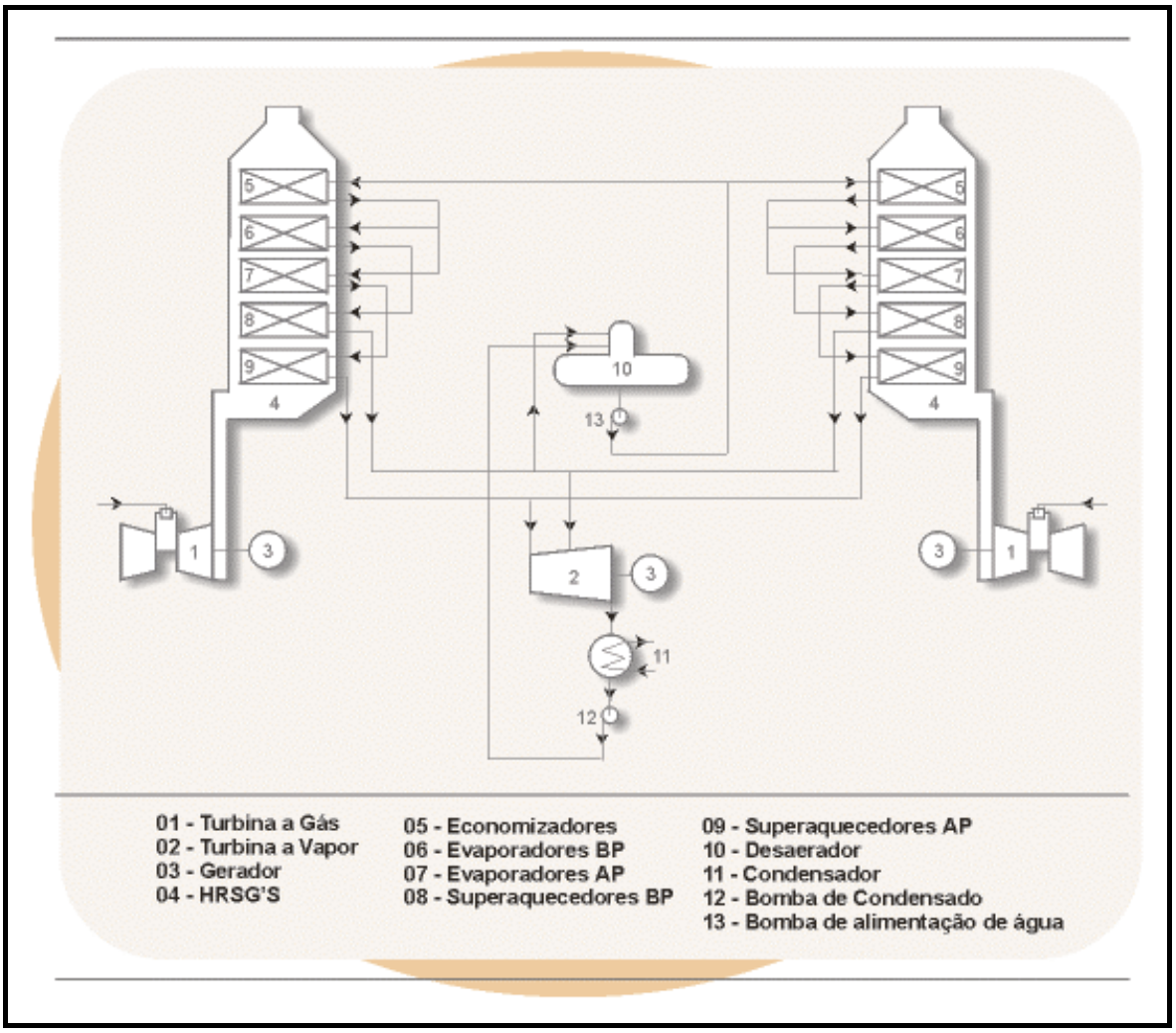


Figura 7. Fluxograma típico de uma Termelétrica de Ciclo combinado - Tipo 2+1
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.2.5. Centrais Termelétricas a Gás Natural em Operação no Brasil

Com o esgotamento dos melhores potenciais hidráulicos do país e a construção do gasoduto Bolívia – Brasil, o gás natural tornou-se uma alternativa importante para a necessária expansão da capacidade de geração de energia elétrica. Nesse contexto, foi criado o Plano Prioritário de Termelétricas (PPT), pelo Decreto n° 3.371 de 24 de fevereiro de 2000 [2].

Como indicado na Tabela 4, em setembro de 2003, havia 56 centrais termelétricas a gás natural em operação no Brasil (Figura 8), com capacidade de geração de cerca de 5.581 MW [2].

Tabela 4. Centrais Termelétricas a Gás Natural em operação no Brasil em Setembro 2003

Nome da Usina	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município	UF
Alto do Rodrigues	11.800	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Alto do Rodrigues	RN
Araucária	484.500	PIE	U.E.G. Araucária Ltda.	Araucária	PR
Atalaia	4.600	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Aracaju	SE
Bariri	445.500	PIE	AES Termo Bariri Ltda.	Bariri	SP
Bayer	3.840	APE	Bayer S/A	São Paulo	SP
Brahma	13.080	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Rio de Janeiro	RJ
Camaçari	144.000	SP	Companhia Hidro Elétrica do São Francisco	Dias d'Ávila	BA
Camaçari (Fases I e II)	64.000	PIE	FAFEN Energia S/A	Camaçari	BA
Campos (Roberto Silveira)	30.000	SP	Furnas Centrais Elétricas S/A	Campos dos Goytacazes	RJ
Canoas (Fases I e II)	160.573	PIE	Petróleo Brasileiro S/A	Canoas	RS
Carioca Shopping	3.200	APE-COM	Administradora Carioca de Shopping Centers S/C Ltda.	Rio de Janeiro	RJ
Casa de Geradores de Energia Elétrica F-242	9.000	PIE	Empresa Brasileira de Aeronáutica S/A	São José dos Campos	SP
Cesar Park Business Hotel/Globenergy	2.100	APE	Inpar Construções e Empreendimentos Imobiliários Ltda.	Guarulhos	SP
CINAL/TRIKEM	3.188	APE	Trikem S/A	Marechal Deodoro	AL
Copene	250.400	PIE	Petroquímica do Nordeste	Camaçari	BA
CTE II	235.200	APE-COM	Companhia Siderúrgica Nacional	Volta Redonda	RJ
Eletrobolt	379.000	PIE	Sociedade Fluminense de Energia Ltda.	Seropédica	RJ
Energy Works Kaiser Jacareí	8.592	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Jacareí	SP
Energy Works Kaiser Pacatuba	5.552	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Pacatuba	CE
Energy Works Rhodia Paulínia	10.000	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Paulínia	SP
Energy Works Rhodia Santo André	11.000	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Santo André	SP
EnergyWorks Com Products Balsa	10.800	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Balsa Nova	PR
EnergyWorks Com Products Mogi	21.400	PIE	Energyworks do Brasil Ltda.	Mogi Guaçu	SP
Eucatex	9.800	PIE	Eucatex S/A Indústria e Comércio	Salto	SP
Globo	5.160	APE-COM	foglobo Comunicações Ltda.	Duque de Caxias	RJ
Ibiritê	226.000	PIE	Ibiritermo S/A	Ibiritê	MG
Iguatemi Fortaleza	4.794	APE	Condomínio Civil Shopping Center Iguatemi	Fortaleza	CE
IGW/Service Energy	2.825	APE	Telecomunicações de São Paulo S/A	São Paulo	SP
Inapel	1.204	APE	Inapel Embalagens Ltda.	Guarulhos	SP
Juiz de Fora	82.000	PIE	Usina Termelétrica Juiz de Fora S/A	Juiz de Fora	MG
Latasa	5.088	APE-COM	Nordeste S/A	Cabo de Santo Agostinho	PE
Latasa Jacareí	2.560	APE	Latas de Alumínio S/A	Pedregulho	SP
Latasa Santa Cruz	2.240	APE	Latas de Alumínio S/A	Rio de Janeiro	RJ
Macaé Merchant	922.615	PIE	El Paso Rio Claro Ltda.	Macaé	RJ
Metalurgia Caraíba	18.000	APE	Caraíba Metais S/A	Dias d'Ávila	BA
Millennium	4.781	APE	Millennium Inorganic Chemicals do Brasil S/A	Camaçari	BA
Modular de Campo Grande (Willian Arjona)	194.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Campo Grande	MS
Nitro Química	12.000	APE	Companhia Nitro Química Brasileira	São Paulo	SP
Paraibuna	2.000	APE	Indústria de Papéis Sudeste Ltda.	Juiz de Fora	MG
Petroflex	25.000	APE	Petroflex Indústria e Comércio S/A	Duque de Caxias	RJ
Ponta do Costa	4.000	APE	Refinaria Nacional de Sal S/A	Cabo Frio	RJ
PROJAC Central Globo de Produção	4.950	APE	TV Globo Ltda.	Rio de Janeiro	RJ
Santa Cruz	600.000	SP	Furnas Centrais Elétricas S/A	Rio de Janeiro	RJ
Souza Cruz Cachoeirinha	2.952	APE	Souza Cruz S/A	Cachoeirinha	RS
Stepie Ulb	3.300	PIE	Stepie Ulb S/A	Canoas	RS
Suape, CGDc, Koblitz Energia Ltda.	4.000	PIE	Suape,CGDc,Koblitz Energia Ltda.	Cabo de Santo Agostinho	PE
Suzano	38.400	APE	Companhia Suzano de Papel e Celulose	Suzano	SP
Termo Norte II	158.200	PIE	Termo Norte Energia Ltda.	Porto Velho	RO
Termo Toalia	5.680	PIE	Companhia de Tecidos Norte de Minas	João Pessoa	PB
Termocabo	48.000	PIE	Termocabo Ltda.	Cabo de Santo Agostinho	PE
Termoceará	220.000	PIE	Termoceará Ltda.	Caucaia	CE
UGPU (Messer)	7.700	PIE	Sociedade Brasileira Ar líquido Ltda.	Jundiaí	SP
Unidade de Geração de Energia -Área II	6.000	APE	Cooperativa dos produtores de Cana, Açúcar e Álcool do Estado de São Paulo	Limeira	SP
Uruguaiana	639.900	PIE	AES Uruguaiana Empreendimentos Ltda.	Uruguaiana	RS
Vitória Apart Hospital	2.100	APE	Vitória Apart Hospital S/A	Serra	ES
Vulcabrás	4.980	APE-COM	Vulcabrás do Nordeste S/A	Horizonte	CE

Fonte: Adaptado de Aneel, 2005

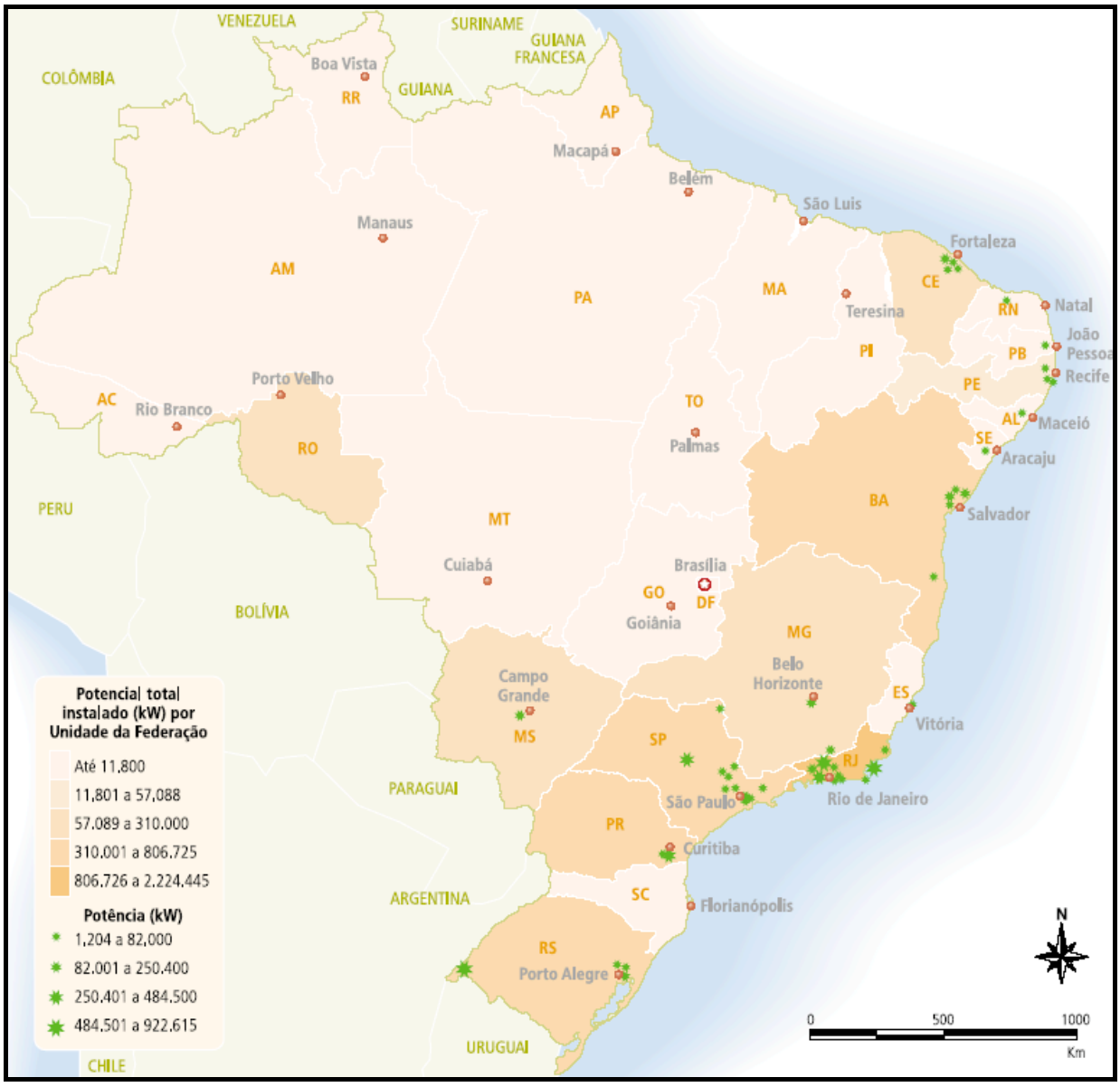


Figura 8. Localização das termelétricas a gás natural em operação no Brasil – situação em setembro de 2003

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.2.6. Impactos Socioambientais

O gás natural tem vantagens quando comparado ao petróleo e ao carvão mineral, mas o aproveitamento energético também gera impactos indesejáveis ao meio ambiente, principalmente na geração de energia elétrica.

Em uma Central Termelétrica 90% da água captada são utilizadas no seu sistema de resfriamento. A demanda média de água da central operando em ciclo a vapor simples é da

ordem de 94 m^3 por MWh, sendo que, 2/3 é evaporada, além do despejo de efluentes. No caso de ciclos combinados, o valor é de aproximadamente 40 m^3 por MWh [2].

Em termos de poluição atmosférica, destacam-se as emissões de óxidos de nitrogênio (NOx), entre os quais o dióxido de nitrogênio (NO2) e o óxido nitroso (N2O), que são formados pela combinação do nitrogênio com o oxigênio. O N2O é um dos gases causadores do chamado efeito estufa e também contribui com a redução da camada de ozônio.

2.1.3. ENERGIA NUCLEAR

2.1.3.1. Introdução

A energia nuclear é a terceira fonte geradora de eletricidade no mundo. O Brasil possui a 6ª maior reserva mundial de urânio, isso demonstra que a energia nuclear tem desenvolvido um importante papel na matriz energética nacional.

A energia nuclear é proveniente da fissão (separação) do urânio no núcleo do reator. Apesar da complexidade tecnológica de uma usina nuclear, o princípio de funcionamento é semelhante ao de uma usina termelétrica convencional: o calor gerado pela combustão do carvão, do óleo ou do gás vaporiza a água em uma caldeira. Este vapor aciona uma turbina, à qual está acoplado um gerador, que produz a energia elétrica, Figura 9 [16].

No Brasil o sistema PWR (Pressurized Water Reactor) é o mais utilizado, constituído por três circuitos: primário, secundário e de água de refrigeração. A água do circuito primário é aquecida pelo calor decorrente da fissão do urânio no reator, chegando a uma temperatura de 320°C. Em seguida, a água passa por tubulações até o gerador de vapor, onde vaporiza a água do circuito secundário sem, no entanto, entrar em contato com ela. O vapor resultante vai acionar a turbina, que movimentará o gerador e produzirá eletricidade. Para que a água do circuito primário não entre em ebulição ao ultrapassar 100°C, a pressão é mantida elevada - 157 atmosferas - daí o sistema denominar-se "água leve pressurizada" [16].

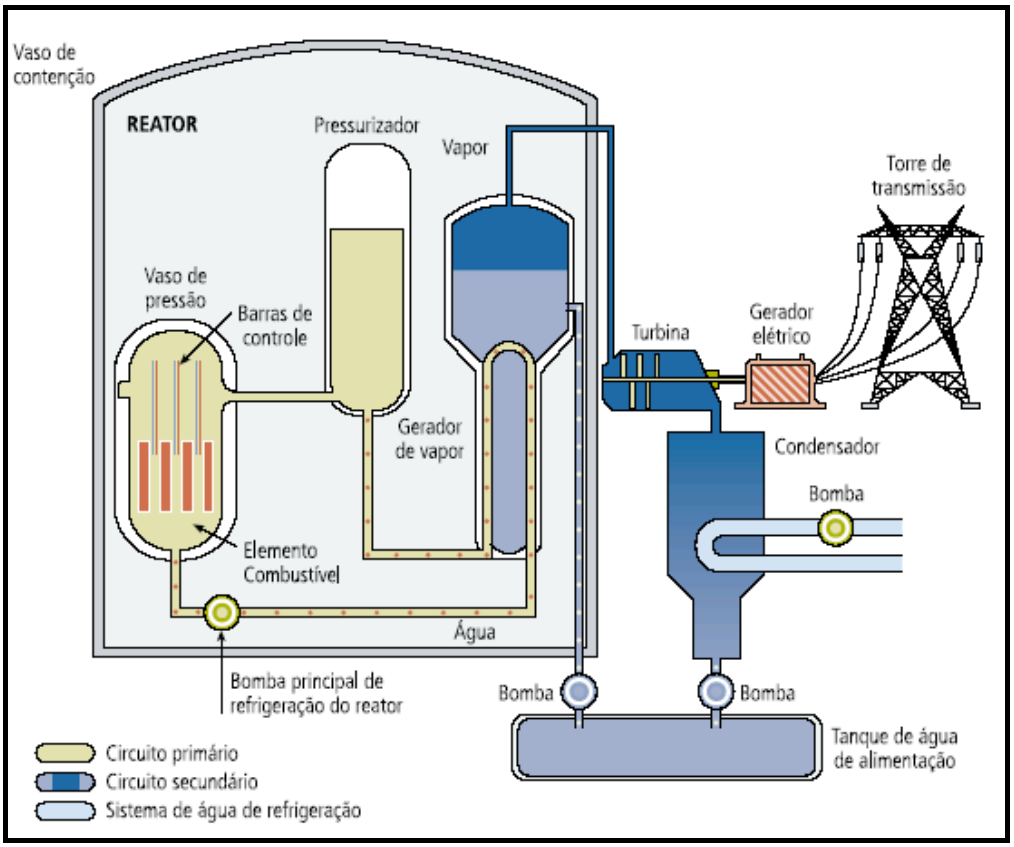


Figura 9. Diagrama esquemático de uma Usina Nuclear

Fonte: Adaptado de Eletronuclear (2005)

2.1.3.2. Energia Nuclear no Setor Elétrico Brasileiro

Com a crise mundial do petróleo nos anos 70 e consequentemente energética, a energia nuclear passou a ser vista como a alternativa mais promissora, recebendo a atenção de muitos analistas e empreendedores, assim como vultosos investimentos. Em pouco mais de duas décadas, passou de uma participação desprezível (0,1%) para 17% da produção mundial de energia elétrica, ocupando assim o terceiro lugar entre as fontes de geração [16].

No Brasil em 2002, Angra 1 e Angra 2 produziram juntas um total de 13,8 TWh, o que representa um pequeno decréscimo em relação ao ano anterior, quando foram gerados 14,3 TWh. Esta queda foi devida à parada para recarregamento do combustível de Angra 2. A Tabela 5 mostra a evolução da geração nuclear e a sua participação na produção nacional [16].

Tabela 5. Geração de Energia Nuclear no Brasil

Energia gerada (GWh)			
	1999	**2000**	**2001**
Total Brasil	308.508	322.899	296.237
CNAAA	3.977	6.046	14.352
% Nuclear	1,3	1,9	4,8

Fonte: Adaptado de Eletronuclear, 2005

2.1.3.3. Viabilidade Econômica

Em um aspecto econômico a geração de energia nuclear no Brasil é uma das mais caras do mundo, especialmente quando comparadas às potencialidades de retorno de investimentos em fontes renováveis alternativas de energia, abundantes no Brasil. Nos EUA o custo da energia gerada por usinas termonucleares é US$ 40 / MWh, enquanto no Brasil o custo da energia gerada é US$ 60 / MWh [28].

Angra II, por exemplo, custou três vezes mais do inicialmente planejado, entre 7 e 10 bilhões de dólares, levou muito mais anos do que o previsto (25 anos) e gastou mais do que 5 bilhões de dólares a mais até a sua conclusão. Exercícios de cálculo, feitos com base em plantas semelhantes existentes na Inglaterra e nos EUA, mostram que o kW/h gerado por Angra II é mais caro do que quaisquer outras opções disponíveis [2].

A vida útil de uma usina nuclear é menor do que de uma usina térmica convencional. Os custos de descomissionamento dos reatores quando atingem o final de suas vidas úteis é enorme. Na Alemanha, o preço a ser pago para essa desativação e isolamento de cada reator nuclear está estimado em algo entre U$ 10 e U$ 20 bilhões [2].

2.1.3.4. Viabilidade Técnica

As usinas nucleares, com alto grau de segurança e tecnologia amplamente dominada por vários países, ocupam pequenas áreas para sua instalação, com menor interferência no meio

ambiente podendo ser construídas junto aos grandes centros consumidores. Sua operação não produz gás carbônico, ou qualquer outro gás que contribua para o efeito estufa, ou dióxido de enxofre (SO_2) ou óxidos de nitrogênio (NO_x), causadores de chuva ácida. Portanto, a alternativa nuclear proporciona uma redução de emissões de gases poluentes reais e mensuráveis, preenchendo os requisitos do MDL (Mecanismos de Desenvolvimento Limpo) [16].

As reservas nacionais de urânio são estimadas em 309.200 toneladas possuindo atualmente a 6ª maior reserva de urânio do mundo com cerca de 30% do território prospectado. Desse total, 46% estão localizados no Município de Itatiaia, no Ceará, e 33%, no Estado da Bahia, nos municípios de Lagoa Real e Caetité, como indicado na Tabela 6 [2].

Tabela 6. Reservas de Urânio no Brasil – situação em janeiro de 2001

Depósitos	Medidas e Indicadas	Inferidas	Total
Lagoa Real e Caetité (BA)	94.000	6.700	100.700
Itatiaia (CE)	91.200	51.300	142.500
Outros	39.500	26.500	66.000
Total	**224.700**	**84.500**	**309.200**

Fonte: Adaptado de Aneel, 2005

O urânio é um metal branco-níquel, pouco menos resistente que o aço, encontrado nas rochas da crosta terrestre. Sua principal aplicação comercial é a geração de energia elétrica, como combustível para reatores nucleares de potência [2].

A Figura 10 apresenta a localização das principais reservas nacionais de urânio, as unidades de extração, beneficiamento e produção de elementos combustíveis e as usinas termonucleares de Angra dos Reis, no Estado do Rio de Janeiro.

Figura 10. Reservas nacionais de urânio, unidades de extração, beneficiamento e produção de elementos combustíveis e usina termonuclear de Angra dos Reis

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.3.5. Usinas Nucleares Instaladas no Brasil

Figura 11. Usinas Nucleares Angra I e II – Angra dos Reis - RJ

Fonte: Autor do TCC (2005)

Angra I – Angra 1 tem potência de 657MW. A sua construção foi iniciada em 1972, a primeira reação em cadeia foi em 1982 e a usina entrou em operação comercial em 1985. Desde então já gerou mais de 40 milhões de MWh, energia equivalente ao consumo aproximado de 20 milhões de habitantes ao longo de um ano, ou de um milhão de habitantes ao longo dos seus 20 anos de operação. Após a solução de alguns problemas surgidos nos primeiros anos de sua operação, Angra 1 apresenta um excelente desempenho, tendo operado em 2001 com um fator de disponibilidade de 83%, Figura 12. Isto a coloca dentro dos padrões mundiais de desempenho, de acordo com os critérios da WANO e do INPO [16].

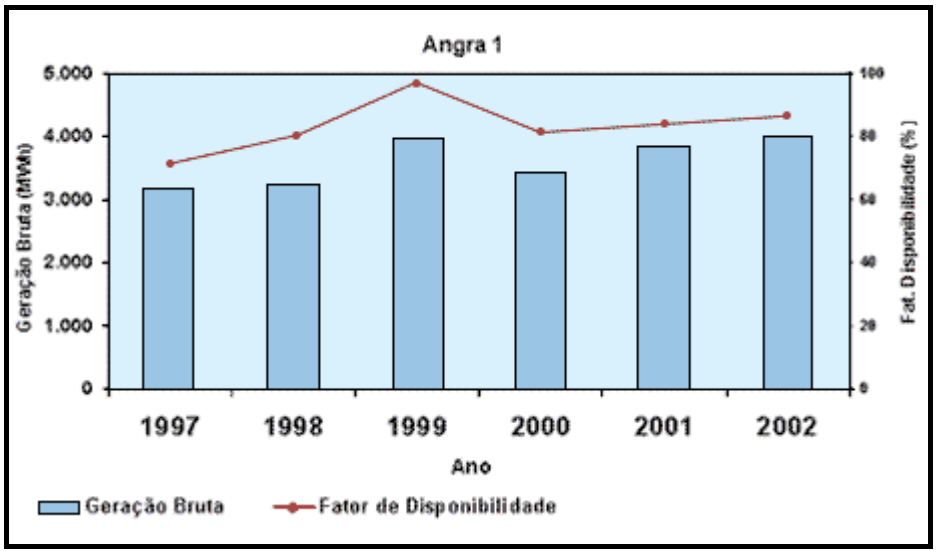


Figura 12. Geração Bruta (MWh) x Fator de Disponibilidade (%) de Angra I
Fonte: Adaptado de Eletronuclear (2005)

Angra II – Angra II foi projetada com uma potência de 1309 MW, mas, devido à adoção de melhorias tecnológicas e ao excelente desempenho de seus sistemas e operadores, seu valor nominal foi revisto, passando para 1350 MW disponíveis para operação em regime contínuo. A sua construção foi iniciada em 1976, mas a partir de 1983, o empreendimento teve o seu ritmo progressivamente desacelerado devido à redução dos recursos financeiros disponíveis. Em 1991, o Governo retomou as obras de Angra II e foi concluída no final de 1994, e 1996 iniciou as suas atividades de montagem eletromecânica da usina [16].

A primeira reação em cadeia ocorreu em 14 de julho de 2000. A "trial operation" (fase de teste em que a usina opera continuamente a 100%) foi concluída em 21 de dezembro de 2000. Durante o período de comissionamento e de testes (até 31 de dezembro de 2000), Angra II produziu 2.622,65 GWh. Em 2001, durante seu primeiro ano completo de operação, Angra II

apresentou um excepcional desempenho, alcançando um fator de disponibilidade de 94% (Figura 13) e gerando 10,5 milhões MWh, o que a colocou em 16º lugar no ranking mundial das usinas nucleares com maior volume de geração de energia [16].

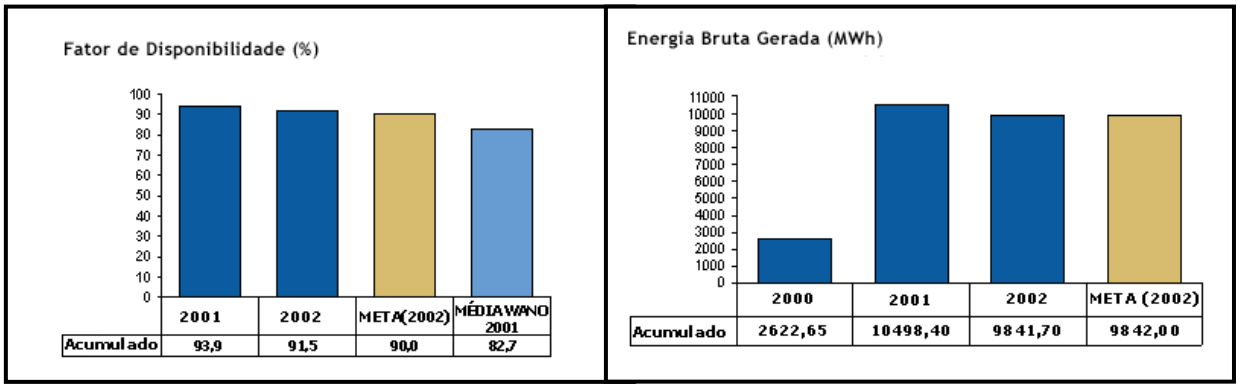


Figura 13. Fator de Disponibilidade (%) e Geração Bruta (MWh) de Angra II
Fonte: Adaptado de Eletronuclear (2005)

2.1.3.6. Impactos Socioambientais

As usinas termonucleares utilizam grandes quantidades de água em seu sistema de refrigeração, que funciona em paralelo com o circuito de água e vapor para geração de energia elétrica. Em regiões costeiras, onde as usinas utilizam água do mar para refrigeração, o lançamento dessa água, combinado com outros fatores, como a pluviosidade, a altura da termoclina, correntes, marés e regime de ventos, tende a ocasionar alteração na temperatura natural do corpo receptor. Nesse caso, uma tarefa imprescindível é a separação dos efeitos naturais, como a influência de massas oceânicas de água, insolação, estratificação e correntes locais, dos efeitos da descarga de águas de refrigeração. A Usina de Angra I, situada na praia de Itaorna, no município de Angra dos Reis, descarrega cerca de 30 m^3/s de água utilizada na refrigeração do sistema de geração de energia elétrica no saco de Piraquara de Fora, baía da Ilha Grande, no Estado do Rio de Janeiro [2].

A energia nuclear tem sido vista mais como um perigo de autodestruição do que uma fonte ilimitada de energia, como esperado no início do seu desenvolvimento tecnológico, podendo ocorrer risco de acidentes graves, além do problema do armazenamento do lixo radioativo.

Os perigos da autodestruição foram bem evidenciados em abril de 1986, quando a explosão de um dos quatro reatores da usina nuclear de Chernobyl, na Ucrânia, provocou o mais trágico acidente nuclear da história. A nuvem radioativa atingiu proporções gigantescas, cobrindo grande parte do território europeu e atingindo milhões de pessoas. Os danos causados pelo acidente foram incalculáveis e ainda hoje há sérias conseqüências, entre as quais mutações genéticas provocadas pela emissão de material radioativo e contaminação do solo, da vegetação e de corpos d'água [2].

2.1.4. CARVÃO MINERAL

2.1.4.1. Introdução

Os carvões minerais são formados a partir do soterramento e decomposição de restos materiais de origem vegetal. Gradualmente, estes materiais ao sofrerem soterramento e compactação em bacias de deposição, apresentam enriquecimento no teor de carbono. Fatores externos, tais como pressão, temperatura, tectônica e tempo de exposição, determinam o grau de carbonificação destes combustíveis. Durante este período de modificações, existe perda de oxigênio e água, associado ao enriquecimento do carbono.

Sua qualidade, determinada pelo conteúdo de carbono, varia de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos. A turfa, de baixo conteúdo carbonífero, constitui um dos primeiros estágios do carvão, com teor de carbono na ordem de 45%; o linhito apresenta um índice que varia de 60% a 75%; o carvão betuminoso (hulha), mais utilizado como combustível, contém cerca de 75% a 85% de carbono, e o mais puro dos carvões; o antracito, apresenta um conteúdo carbonífero superior a 90% [2].

Da mesma forma, os depósitos variam de camadas relativamente simples e próximas da superfície do solo e, portanto, de fácil extração e baixo custo, a complexas e profundas camadas, de difícil extração e custos elevados.

Em termos de participação na matriz energética mundial, o carvão é atualmente responsável por cerca de 7,9% de todo o consumo mundial de energia e de 39,1% de toda a energia elétrica gerada. Apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o carvão ainda é uma importante fonte de energia. As principais razões para isso são as seguintes [2]:

- Abundância das reservas;
- Distribuição geográfica das reservas;
- Baixos custos e estabilidade nos preços, relativamente a outros combustíveis.

2.1.4.2. Reservas de Carvão Mineral no Brasil

As principais reservas de carvão mineral do País situam-se nos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina e as menores reservas, no Paraná e São Paulo. As reservas brasileiras totalizam 23 bilhões de toneladas de carvão, porém o Brasil importa anualmente 12 milhões de toneladas de carvão siderúrgico, afora o carvão vegetal usado na redução de ferro gusa, nas siderurgias. Deste total, o estado do Rio Grande do Sul possui 89,25%, Santa Catarina 10,41%, Paraná 0,32% e São Paulo 0,02% , Tabela 7 [15]. No entanto, uso energético do carvão mineral ainda é bastante restrito, representando apenas 6,6% da matriz energética brasileira. Entre outras restrições, os altos teores de cinza e enxofre (da ordem de 50% e 2,5%, respectivamente) são os principais responsáveis pelo baixo índice de aproveitamento do carvão no Brasil [2].

Tabela 7. Reservas de carvão mineral no Brasil

Localização	**Milhões de Toneladas**
Rio Grande do Sul	20.859
Santa Catarina	1.941
Paraná	179
São Paulo	10
Total	**22.989**

Fonte: Adaptado de CPRM, 2005

Na figura 14 tem um exemplo de mineração de carvão mineral a céu aberto, chamada de Mina do Recreio em Butiá – Leão, RS.

Figura 14. Mineração de carvão a céu aberto - Mina do Recreio, Butiá - Leão, RS.
Fonte: Adaptado de CPRM (2005)

2.1.4.3. Viabilidade Econômica

Devido á abundância das reservas e o desenvolvimento de tecnologias de "limpeza" e combustão eficiente, conjugados à necessidade de expansão dos sistemas elétricos e restrições ao uso de outras fontes, indicam que o carvão mineral continuará sendo por muitas décadas, uma das principais fontes de geração de energia elétrica no Brasil.

De acordo com a Eletrobrás o custo para geração de energia elétrica á carvão mineral é cerca de 4 centavos de dólar por kWh. No entanto, o governo dos EUA já desembolsou cerca de US$ 70 bi em auxílio-saúde para os mineiros de carvão desde 1973. Computados esses custos e mais os do aquecimento global e da fumaça, o preço do kWh do carvão sobe para algo entre 5,5 e 8,3 centavos de dólar [6].

2.1.4.4. Viabilidade Técnica

Tem-se pesquisado e desenvolvido tecnologias de remoção de impurezas e de combustão eficiente do carvão (Clean Coal Technologies). Essas tecnologias podem ser instaladas em qualquer um dos quatro estágios da cadeia do carvão, como descrito a seguir [2]:

- Remoção de impurezas antes da combustão;
- Remoção de poluentes durante o processo de combustão;
- Remoção de impurezas após a combustão;
- Conversão em combustíveis líquidos (liquefação) ou gasosos (gaseificação).

Remoção de Impurezas antes da Combustão: Trata-se de um conjunto de técnicas destinadas à remoção de grandes proporções de enxofre e outras impurezas antes da combustão, visando a reduzir a produção de cinzas e SOx durante o estágio de combustão. Atualmente, utilizam-se processos físicos e químicos de remoção de impurezas, mas uma nova tecnologia de remoção biológica, por meio de técnicas enzimáticas e microbiológicas, tem sido desenvolvida. Os processos físicos, comercialmente disponíveis, removem cerca de 30% a 50% do enxofre orgânico (10% a 30% do total) do carvão e cerca de 60% dos compostos minerais que formam as cinzas durante a combustão. Tais processos incluem a flutuação de espumas, a ciclonização de líquidos pesados, a aglomeração seletiva e a separação magnética ou eletrostática [2].

Combustão Pulverizada: Nos processos atuais de combustão pulverizada, o carvão é queimado como partículas pulverizadas, aumentando substancialmente a eficiência da combustão e da conversão. A eficiência de conversão da energia térmica em energia elétrica pode chegar a 43%, no caso de plantas com ciclo a vapor supercrítico (temperatura entre 700°C e 720°C). Ganhos adicionais de eficiência podem ser alcançados, mas atualmente o encarecimento do sistema não os justifica. Esperam-se, porém, melhoramentos futuros, elevando a eficiência a 50%, sem aumento de custo [2].

Combustão em Leito Fluidizado: A tecnologia de combustão em leito fluidizado permite a redução de enxofre (até 90%) e de NOx (70-80%), pelo emprego de partículas calcárias e de temperaturas inferiores ao processo convencional de pulverização. Uma das vantagens em relação à combustão pulverizada convencional é a redução de enxofre sem perdas

de eficiência térmica. Outra vantagem dessa tecnologia é que se podem queimar resíduos e carvões de baixa qualidade, com baixo índice de emissões, sendo, portanto, adequada também a sistemas de incineração [2].

Gaseificação Integrada a Ciclos Combinados – A tecnologia de gaseificação integrada do carvão é recente e consiste na reação do carvão com vapor de alta temperatura e um oxidante (processo de gaseificação), dando origem a um gás combustível sintético de médio poder calorífico. Esse gás pode ser queimado em turbinas a gás, onde o calor residual dos gases de exaustão podem ser recuperado e aproveitado por meio de uma turbina a vapor (ciclo combinado). Isso possibilita a remoção cerca de 95% do enxofre e a captura de 90% do nitrogênio [2].

Estudos indicam que as várias tecnologias de uso racional do carvão apresentam diferentes estágios de desenvolvimento. Somente uma delas, a combustão pulverizada, pode ser considerada tecnológica e comercialmente aprovada. Em termos de flexibilidade de combustível, destacam-se as plantas de leito fluidizado. Em termos ambientais, destaca-se a gaseificação integrada [2].

2.1.4.5. Geração Termelétrica a Carvão no Brasil

Atualmente, 85% do carvão utilizado no Brasil são consumidos na produção de termoeletricidade, 6% na indústria cimenteira, 4% na indústria de papel celulose e os restantes 5% nas indústrias de cerâmica, de alimentos e secagem de grãos [15].

Em setembro de 2003, havia 7 (sete) centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil, totalizando 1.415 MW de potência instalada (Tabela 8). Na Figura 15, como exemplo, uma unidade do complexo de Jorge Lacerda. A Figura 17 mostra a distribuição dessas centrais, todas no Sul do País.

Tabela 8. Centrais termelétricas a carvão mineral em operação no Brasil – situação em setembro de 2003

Usina	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município – UF
Charqueadas	72.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Charqueadas – RS
Figueira	20.000	SP	Copel Geração S/A	Figueira – PR
Jorge Lacerda I e II	232.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo – SC
Jorge Lacerda III	262.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo – SC
Jorge Lacerda IV	363.000	PIE	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo – SC
Presidente Médici A/B	446.000	SP	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	Candiota - RS
São Jerônimo	20.000	SP	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	São Jerônimo - RS
Total: 7 Usinas			**Potência Total: 1.415.000 kW**	

Fonte: Adaptado de Aneel – Banco de Informações de Geração - BIG, 2005

Figura 15. Unidade do complexo termelétrico de Jorge Lacerda

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

Outro exemplo mostrado na figura 16, a **Usina Termelétrica Presidente Médici - UTPM - Candiota II**, tipo térmica a vapor, está localizada no município de Candiota - RS, distante 400 km de Porto Alegre. A construção da UTPM aconteceu em duas etapas. A Fase A da Usina, com duas unidades de 63MW cada, foi inaugurada em 1974 quando foi integrada no Sistema Interligado Brasileiro. No final de 1986 entrou em operação a Fase B com duas unidades de 160 MW cada, totalizando 446 MW instalados. Destacam-se, no conjunto da Usina, a torre de resfriamento, uma estrutura em casca de concreto com 124 metros de diâmetro e 133 metros de altura que tem a finalidade de resfriar a água utilizada para trocar calor no condensador e a chaminé de exaustão com 150 metros de altura, em concreto, que possibilita ampla dispersão dos gases resultantes da queima de carvão, diminuindo a agressão ao meio ambiente [14].

Figura 16. Usina termoelétrica Presidente Médici, com 446 MW instalados – Candiota, RS
Fonte: Adaptado de CPRM (2005)

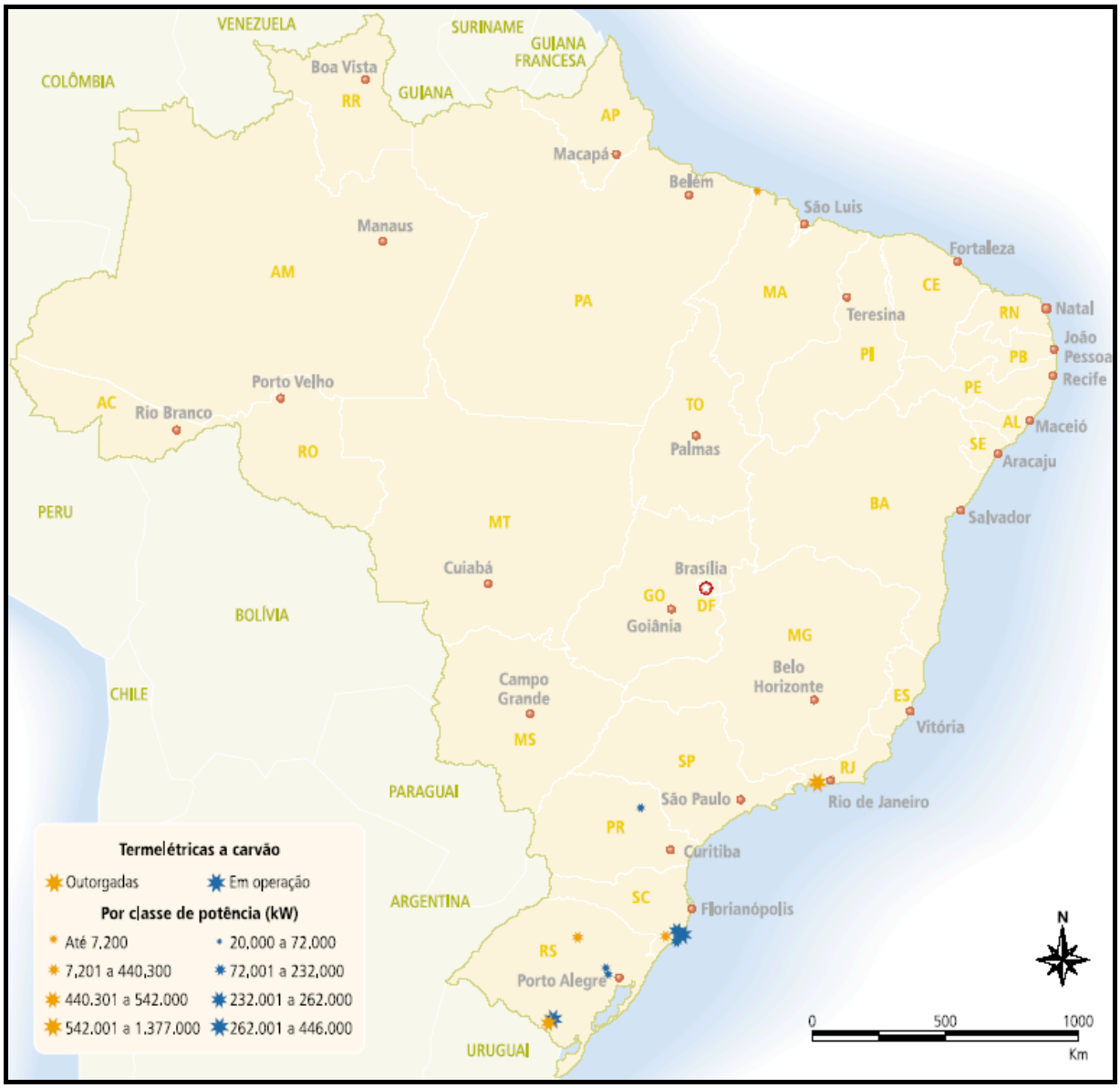


Figura 17. Empreendimentos futuros e em operação – situação em setembro de 2003

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.4.6. Impactos Socioambientais

A extração de carvão mineral não se torna uma das fontes de energia mais viável devido a sérios impactos negativos sócio-ambientais, que afetam principalmente os recursos híbridos, o solo e o relevo das áreas circunvizinhas.

No Brasil, uma das localidades mais atingidas é a região Sul, especialmente as cidades de Siderópolis e Criciúma são as que apresentam graves problemas sócio-ambientais.

A cidade de Siderópolis em virtude dos rejeitos das minas de carvão apresenta uma desordem agrícola quanto a terras antes consideradas agricultáveis. As doenças respiratórias como asma, bronquite, enfisema pulmonar e até mesmo a pneumoconiose estão mais presentes entre os moradores devido às poeiras provenientes desses locais.

Além disso, a queima de carvão em indústrias e termelétricas provoca graves impactos ambientais, como a emissão de material particulado e de gases poluentes, dentre os quais dióxido de enxofre e os óxidos de nitrogênios, que são os principais responsáveis pela formação da chuva ácida, que provoca a acidificação do solo e da água e consequentemente alterações na biodiversidade, como a corrosão de estruturas metálicas.

De acordo com a Universidade do Sul de Santa Catarina, Brasil - UNISUL (2004) mostra que os estudos efetuados por Gothe (1993) mostraram que a bacia do rio Araranguá era a mais intensamente atingida. O rio Mãe Luzia - um dos formadores do Araranguá - e dois dos seus afluentes - os rios Sangão e Fiorita - apresentaram teores extremamente altos de acidez (3,5 > pH > 2,0). Como conseqüência, entre outras, o abastecimento da cidade de Criciúma - a maior da região sul, com 170.000 habitantes - não pode ser feita a partir dos cursos de água das suas imediações. Os resultados mostraram, também, que na bacia do rio Urussanga - 4 municípios, 93.000 habitantes - os efeitos se faziam sentir praticamente ao longo de todos os quase 60 km de extensão do rio principal, apresentando teores de pH da ordem de 3.

Outro problema é a baixa qualidade do carvão mineral brasileiro que determina sua baixa competitividade no mercado internacional. O baixo poder calorífico e a necessidade de mineração, transporte e destinação final de grandes volumes de resíduos, já que 50% do volume do carvão minerado representam cinzas inertes, torna sua aplicação em termelétrica à única opção para utilização.

2.1.5. PETRÓLEO

2.1.5.1. Introdução

O petróleo é considerado uma fonte de energia não renovável, de origem fóssil e é matéria prima da indústria petrolífera e petroquímica. O petróleo bruto possui em sua composição uma cadeia de hidrocarbonetos (moléculas de carbono e hidrogênio) que tem origem na decomposição de matéria orgânica, principalmente o plâncton (plantas e animais microscópicos em suspensão nas águas), causada pela ação de bactérias em meios com baixo teor de oxigênio. Essa decomposição foi-se acumulando no fundo dos oceanos, mares e lagos e, pressionada pelos movimentos da crosta terrestre, transformou-se na substância oleosa denominada petróleo. Essa substância é encontrada em bacias sedimentares específicas, formadas por camadas ou lençóis porosos de areia, arenitos ou calcários.

O petróleo durante muitas décadas foi o grande propulsor da economia internacional, chegando a representar, no início dos anos 70, quase 50% do consumo mundial de energia primária. Ainda hoje, o consumo de petróleo representa cerca de 43% [2].

2.1.5.2. Reservas de Petróleo no Brasil

No Brasil, as reservas provadas são da ordem de 1.100 milhões de toneladas e a produção anual está na faixa dos 74,4 milhões de toneladas, o que significa uma relação reservas/produção de cerca de quinze anos. Cerca de 90% das reservas estão localizados no mar, principalmente na Bacia de Campos [2]. Na Tabela 9 mostra as reservas de petróleo no Brasil.

Tabela 9. Reservas de Petróleo no Brasil – situação em fevereiro de 2005

		Reservas Provadas		Reservas Totais	
Local	**Estado**	**(milhões m³)**	**(milhões barris)**	**(milhões m³)**	**(milhões barris)**
Terra	Alagoas	1,740	10,9	3,928	24,7
	Amazonas	15,901	100,0	19,676	123,8
	Bacia do Amazonas	0,000	0,0	0,388	2,4
	Bacia do Solimões	15,901	100,0	19,289	121,3
	Bahia	34,148	214,8	63,994	402,5
	Bacia do Recôncavo	34,139	214,7	63,985	402,5
	Bacia de Mucuri	0,000	0,0	0,000	0,0
	Terra Bacias Tucano (Sul e Central)	0,009	0,1	0,009	0,1
	Ceará	1,088	6,8	2,804	17,6
	Espírito Santo	9,292	58,4	17,919	112,7
	Paraná	0,000	0,0	0,002	0,0
	Rio Grande do Norte	39,773	250,2	49,292	310,0
	Sergipe	35,504	223,3	48,946	307,9
	SUB-TOTAL	***137,446***	***864,5***	***206,561***	***1.299,3***
Mar	Alagoas	0,255	1,6	0,316	2,0
	Bahia	0,367	2,3	0,963	6,1
	Bacia do Recôncavo	0,000	0,0	0,000	0,0
	Bacia de Camamu	0,367	2,3	0,963	6,1
	Ceará	11,139	70,1	12,597	79,2
	Espírito Santo	191,669	1.205,6	243,338	1.530,6
	Bacia de Campos	158,312	995,8	207,073	1.302,5
	Mar Bacia do Espírito Santo	33,358	209,8	36,265	228,1
	Paraná	2,353	14,8	7,000	44,0
	Rio de Janeiro	1.419,896	8.931,1	1.830,550	11.514,2
	Rio Grande do Norte	10,723	67,4	18,437	116,0
	Santa Catarina	1,576	9,9	3,345	21,0
	São Paulo	6,336	39,9	10,009	63,0
	Sergipe	5,734	36,1	14,805	93,1
	SUB-TOTAL	***1.650,048***	***10.378,8***	***2.141,359***	***13.469,2***
TOTAL		**1.787,493**	**11.243,3**	**2.347,920**	**14.768,4**

Fonte: Adaptado de ANP, 2005

2.1.5.3. Viabilidade Econômica

O petróleo para geração de eletricidade tem sido decrescente desde os anos 70 devido ao obsoletismo das plantas de geração, os requerimentos de proteção ambiental e o aumento da competitividade de fontes alternativas são os principais responsáveis por isso. Contudo, o petróleo continua sendo muito importante na geração de energia elétrica, principalmente no suprimento de cargas de pico e no atendimento a sistemas isolados [2]. O Custo de geração elétrica a partir do petróleo é cerca de US$ 57 / MWh [4].

2.1.5.4. Viabilidade Técnica

A geração de energia elétrica a partir de derivados de petróleo ocorre por meio da queima desses combustíveis em caldeiras, turbinas e motores de combustão interna. A utilização de caldeiras e turbinas é similares aos demais processos térmicos de geração e se aplica ao atendimento de cargas de ponta e/ou aproveitamento de resíduos do refino de petróleo. Os grupos geradores a diesel são mais adequados ao suprimento de comunidades e de sistemas isolados da rede elétrica convencional [2].

2.1.5.5. Termelétricas em operação no Brasil (derivados de petróleo)

Em setembro de 2003 havia 412 usinas em operação no Brasil para geração termelétrica a óleo diesel, com capacidade instalada de 4.193,72 MW. A maioria dos empreendimentos é formada por pequenos grupos geradores, destinados ao atendimento de comunidades isoladas da rede elétrica, principalmente na região Norte do País, como ilustrado na Figura 18. Além desses empreendimentos, que utilizam diesel, havia ainda naquela data (Tabela 10) uma usina com potência de 131 MW, operando com óleo ultra viscoso (Igarapé, no Município de Mateus Leme - MG); 18 operando com óleo combustível, perfazendo cerca 1.036 MW; e mais 7 operando com gás de refinaria (produto secundário), num total de 281,7 MW [2].

Tabela 10. Usinas termelétricas a óleo ultraviscoso, óleo combustível, e gás de refinaria em operação no Brasil em setembro de 2003

Usina	Potência (kW)	Destino da Energia	Proprietário	Município – UF	Combustível
Igarapé	131.000,00	SP	Companhia Energética de Minas Gerais	Mateus Leme – MG	Óleo Ultraviscoso
Alegrete	66.000,00	PIE	Tractebel Energia S/A	Alegrete – RS	Óleo Combustível
Cadam	20.100,00	APE	Caulim da Amazônia S/A	Almeirim – PA	Óleo Combustível
Capuava	18.020,00	PIE	Capuava Energy Ltda.	Santo André – SP	Óleo Combustível
Celpav II	32.600,00	APE	Celpav Celulose e Papel Ltda.	Luís Antônio – SP	Óleo Combustível
Citrosuco	2.300,00	APE	Citrosuco Paulista S/A	Limeira – SP	Óleo Combustível
CNT	16.000,00	APE-COM	Companhia Níquel Tocantins	Niquelândia – GO	Óleo Combustível
Cogeração International Paper (Fases I e II)	50.500,00	APE-COM	International Paper do Brasil Ltda.	Mogi Guaçu – SP	Óleo Combustível
CTE Fibra	9.200,00	APE	Fibra S/A	Americana – SP	Óleo Combustível
Norte	3.898,00	APE	Rhodia Brasil Ltda.	Paulínia – SP	Óleo Combustível
Nutepa Térmica de Energia Elétrica	24.000,00	SP	Companhia de Geração	Porto Alegre – RS	Óleo Combustível
Orsa	4.500,00	APE	Orsa Celulose,Papel e Embalagens S/A	Nova Campina – SP	Óleo Combustível
Piratininga	472.000,00	SP	Empresa Metropolitana de Águas e Energia S/A	São Paulo – SP	Óleo Combustível
Porto Trombetas	43.200,00	APE	Mineração Rio do Norte S/A	Oriximiná – PA	Óleo Combustível
REFAP	21.600,00	APE	Refinaria Alberto Pasqualini	Canoas – RS	Óleo Combustível
Reman	6.400,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Manaus – AM	Óleo Combustível
Solvay	11.000,00	APE	Solvay Indupa do Brasil S/A	Santo André – SP	Óleo Combustível
Termo Norte I	68.000,00	PIE	Termo Norte Energia Ltda.	Porto Velho – RO	Óleo Combustível
Wartsila	166.360,00	PIE	El Paso Rio Negro Energia Ltda.	Manaus – AM	Óleo Combustível
Refinaria Capuava – RECAP	8.900,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Mauá – SP	Gás de Refinaria
Refinaria de Paulínia - REPLAN	60.500,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Paulínia – SP	Gás de Refinaria
Refinaria Duque de Caxias - REDUC	63.300,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Duque de Caxias – RJ	Gás de Refinaria
Refinaria Getúlio Vargas (REPAR)	32.000,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Araucária – PR	Gás de Refinaria
Refinaria Henrique Lages (REVAP)	30.000,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	São José dos Campos – SP	Gás de Refinaria
Refinaria Landulpho Alves (RLAM)	62.500,00	APE-COM	Petróleo Brasileiro S/A	São Francisco do Conde – BA	Gás de Refinaria
Refinaria Presidente Bernardes - RPBC	24.500,00	APE	Petróleo Brasileiro S/A	Cubatão – SP	Gás de Refinaria

Fonte: Adaptado de Aneel, 2005

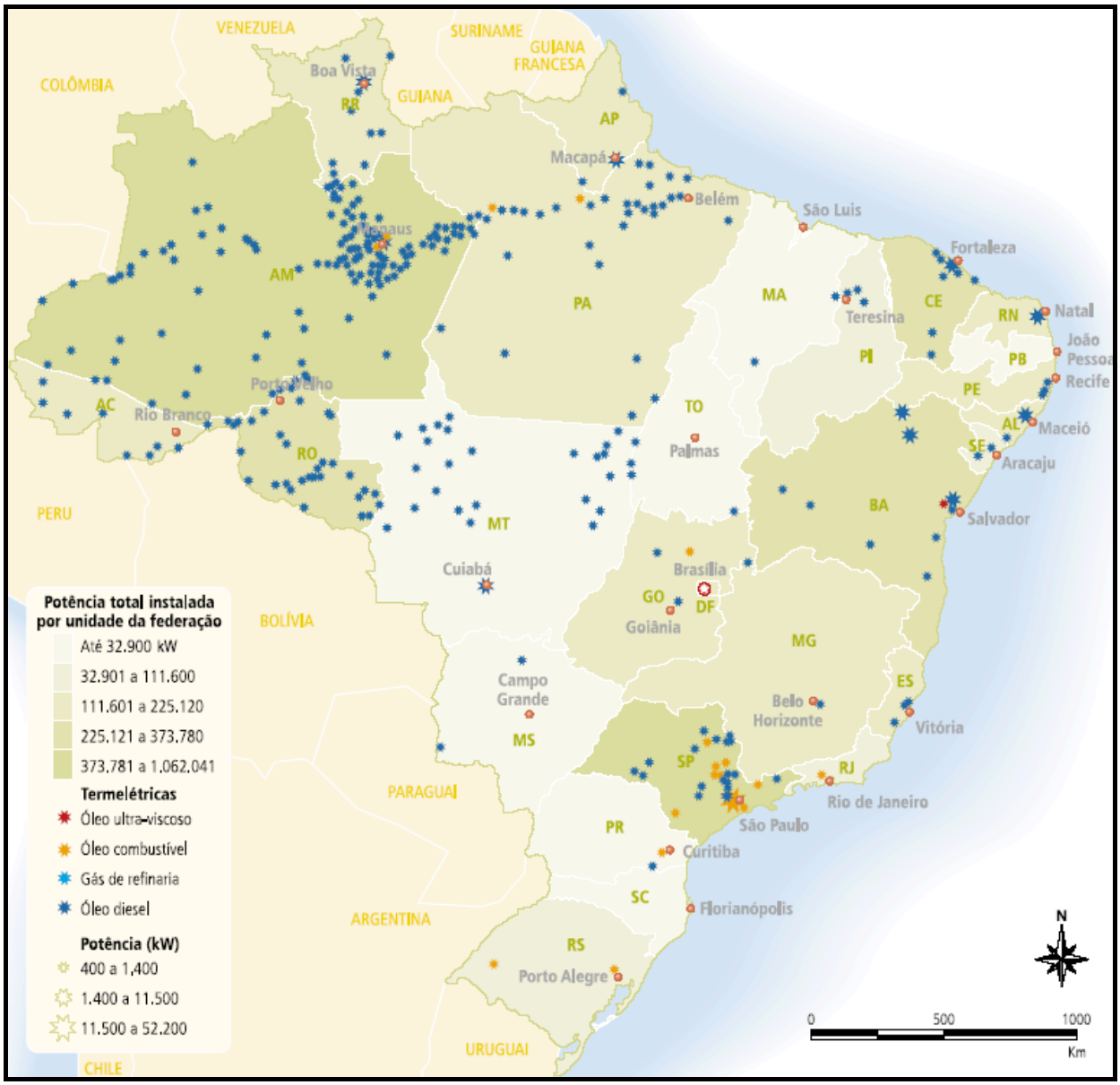


Figura 18. Centrais termelétricas em operação no Brasil (derivados de petróleo) e potência instalada segundo unidades da Federação – situação em setembro de 2003

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.1.5.6. Impactos Socioambientais

A principal desvantagem para se gerar energia elétrica através queima de combustíveis fósseis como o petróleo, decorrem da emissão de poluentes na atmosfera, principalmente os chamados gases de efeito estufa (GEE). Os mais problemáticos são o dióxido de carbono (CO2), o metano (CH4) e o óxido nitroso (N2O). Devido ao aumento da concentração desses gases na

atmosfera tem-se verificado nas últimas décadas mudanças climáticas, como o aumento de temperatura média do planeta. A conseqüência disso é o derretimento das geleiras na Antártida fazendo com que o nível do mar aumente e o alagamento de áreas costeiras e insulares, atingindo grandes contingentes de pessoas e animais silvestres e alterando a biodiversidade dessas regiões.

2.2. ENERGIAS ALTERNATIVAS

O termo fonte alternativa de energia não deriva apenas de uma alternativa eficiente, ele é sinônimo de uma energia limpa, pura, não poluente, a principio inesgotável e que pode ser encontrada em qualquer lugar pelo menos a maioria na natureza.

2.2.1. ENERGIA EÓLICA

2.2.1.1. Introdução

Energia Eólica é a energia cinética contida nas massas de ar em movimento (vento), sendo uma abundante fonte de energia renovável, limpa e disponível em todos os lugares. O seu aproveitamento ocorre através da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de energia elétrica, ou através de cataventos e moinhos para trabalhos mecânicos, como bombeamento de água. A utilização desta fonte de energia para gerar eletricidade em escala comercial só teve inicio na década de 70 com a crise mundial do petróleo, onde houve interesse de países europeus e dos Estados Unidos.

Atualmente, existem mais de 30.000 turbinas eólicas de grande porte em operação no mundo, com capacidade instalada da ordem de 13.500 MW. No âmbito do Comitê Internacional de Mudanças Climáticas, está sendo projetada à instalação de 30.000 MW, por volta do ano 2030, podendo tal projeção podendo ser estendida em função da perspectiva de venda dos "Certificados de Carbono" [9].

A utilização de energia eólica na Dinamarca é de 12% da energia elétrica total produzida; no norte da Alemanha (região de Schleswig Holstein) a contribuição eólica já passou de 16%; e a União Européia tem como meta gerar 10% de toda eletricidade a partir do vento até 2030 [9].

No Brasil a capacidade instalada é de 20,3 MW, a maior parte delas instaladas no Estado do Ceará, com turbinas eólicas de médio e grande porte conectadas a rede elétrica. Além de dezenas de turbinas eólicas de pequeno porte funcionando em locais isolados para aplicações diversas – bombeamento, carregamento de baterias, telecomunicações e eletrificação rural [9].

2.2.1.2. Viabilidade Econômica

O custo de uma central eólica chega a ser competitivo ao das centrais termelétricas, nucleares e hidroelétricas. Análises dos recursos eólicos medidos em vários locais do Brasil indicam que a possibilidade de geração elétrica com custos da ordem de US$ 70 - US$ 80 por MWh [9].

De acordo com estudos da ELETROBRÁS, quase 70% dos possíveis projetos para a instalação de novas usinas hidrelétricas na região da Amazônia, terão o custo da energia elétrica gerada maior que os gerados por turbinas eólicas. Além de que, quase toda área ocupada pela central eólica pode ser utilizada para agricultura, pecuária, e outros; ou preservada como habitat natural.

Grandes projetos de irrigação às margens ou a transposição das águas do Rio São Francisco no Nordeste para outras áreas, podem causar um grande impacto no volume de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas, prejudicando o fornecimento de energia elétrica para a região. Entretanto, observando a Figura 19, percebe-se que as maiores velocidades de vento no nordeste do Brasil ocorrem justamente quando o fluxo de água do Rio São Francisco é mínimo. Logo, as centrais eólicas instaladas no nordeste poderão produzir grandes quantidades de energia elétrica evitando que se tenha que utilizar a água do rio São Francisco.

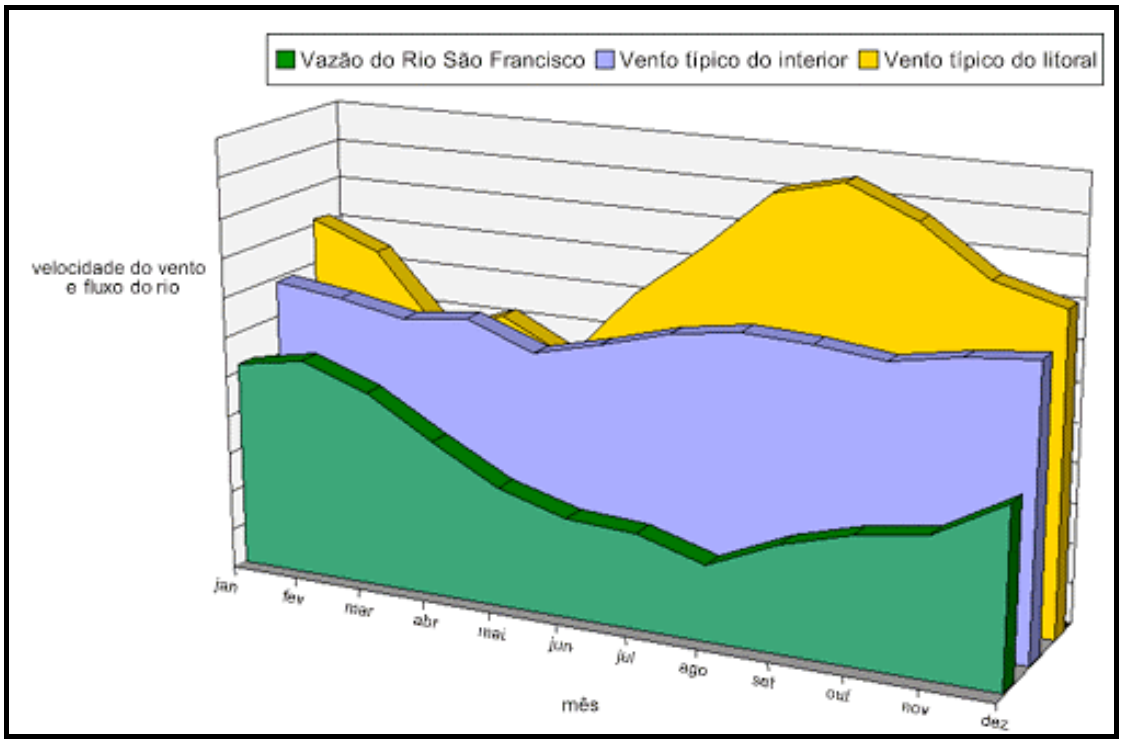


Figura 19. Comparação entre o fluxo de água do Rio São Francisco e o regime de vento no nordeste do Brasil.

Fonte: Adaptado de CBEE (2005)

2.2.1.3. Potencial Eólico Brasileiro

Um dos fatores limitantes para empreendimentos eólicos tem sido a falta de dados consistentes e confiáveis. Uma parte significativa dos registros anemométricos disponíveis pode ser mascarada por influências aerodinâmicas de obstáculos, relevo e rugosidade. A disponibilidade de dados representativos é importante no caso brasileiro, que ainda não explorou esse recurso abundante e renovável de forma expressiva.

De acordo com o Atlas eólico nacional elaborado pelo Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB/CEPEL, o Brasil tem um potencial eólico da ordem de 140.000 MW.

No Brasil, assim como em várias partes do mundo, quase não existem dados de vento com qualidade para uma avaliação do potencial eólico. Apenas no início dos anos 90 os primeiros anemógrafos computadorizados e sensores especiais para energia eólica foram instalados no Ceará e em Fernando de Noronha / Pernambuco. Os bons resultados obtidos com aquelas medições confirmaram as características dos ventos comerciais (trade-winds) existentes

na região: velocidade média de vento alta, pouca variação nas direções dos ventos e pouca turbulência durante todo o ano, favoreceram a determinação precisa do potencial eólico daqueles locais e a instalação de turbinas eólicas. Além disso, foram observados fatores de forma de Weibull (Figura 21), k, maiores que 3 – valores considerados muito altos quando comparados com ventos registrados na Europa e Estados Unidos [9].

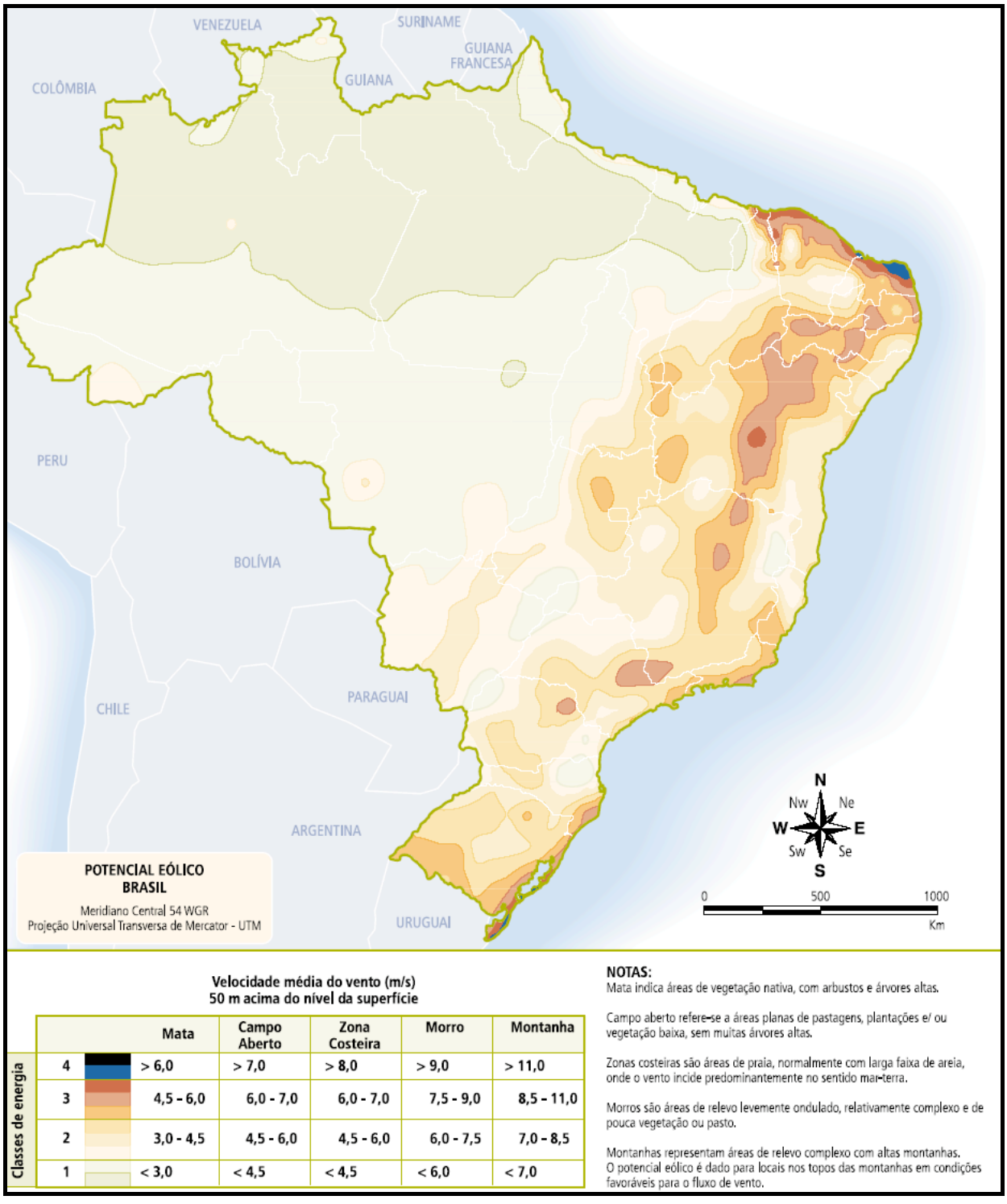


Figura 20. Velocidade média do vento (m/s) a 50m acima do nível da superfície

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

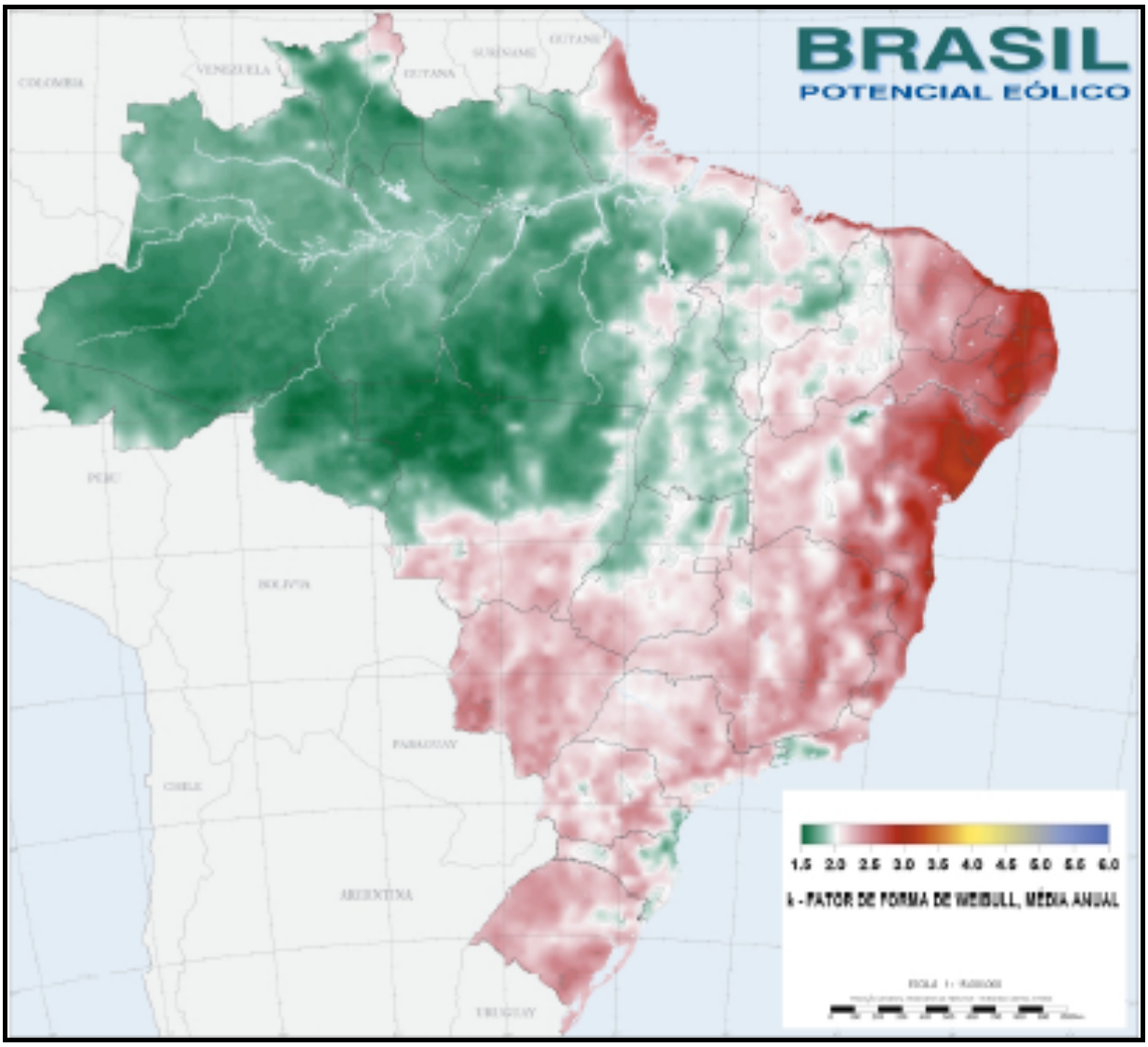


Figura 21. Potencial eólico do Brasil – k média anual de Weibull

Fonte: Adaptado de CRESESB (2005)

2.2.1.4. Viabilidade Técnica

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, viu-se consolidar o projeto de turbinas eólicas com as seguintes características: eixo de rotação horizontal, três pás, alinhamento ativo, gerador de indução, estrutura não-flexível, como ilustrado na Figura 22 [2].

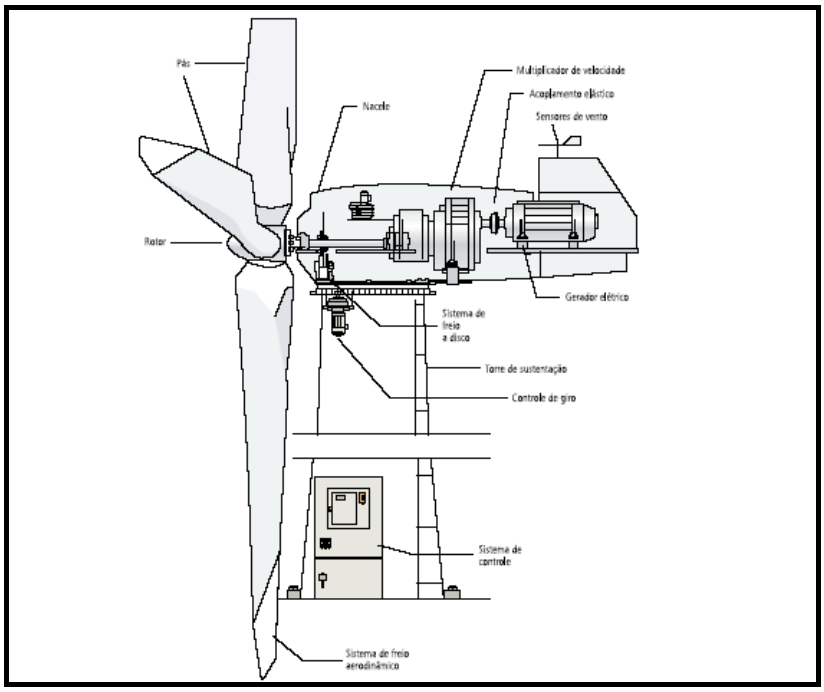


Figura 22. Desenho esquemático de uma turbina eólica moderna

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

As turbinas eólicas podem ser classificadas da seguinte forma (Figura 6):

- Pequena – potência nominal menor que 500 kW
- Média – potência nominal entre 500 kW e 1000 kW
- Grande – potência nominal maior que 1 MW

Figura 23. Exemplos de turbinas eólicas (da esquerda para a direita: pequena, média e grande)
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.1.5. Centrais eólicas Instaladas no Brasil

A participação da energia eólica na geração de energia elétrica ainda é praticamente desprezível no Brasil. Como apresentado na Tabela 11, em setembro de 2003 havia apenas 9 centrais eólicas em operação no país, perfazendo uma capacidade instalada de 22,075 MW. Entre essas centrais, destacam-se Taíba e Prainha, no Estado do Ceará, que representam 86% do parque eólico nacional [2].

Tabela 11. Centrais eólicas em operação no Brasil – situação em Setembro 2003

Nome da Usina	Potência (kW)	Município - UF	Destino da Energia	Proprietário
Eólica	75	Fernando de Noronha - PE	SP	Companhia Energética de Pernambuco
Eólica de Bom Jardim	600	Bom Jardim da Serra - SC	PIE	Parque Eólico de Santa Catarina Ltda.
Eólica de Fernando de Noronha	225	Fernando de Noronha - PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eólica – FADE/UFPE
Eólica de Prainha	10.000	Aquiraz – CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
Eólica de Taíba	5.000	São Gonçalo do Amarrante – CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.
Eólica Olinda	225	Olinda – PE	PIE	Centro Brasileiro de Energia Eólica – FADE/UFPE
Eólica Elétrica experimental do Morro do Camelinho	1.000	Gouveia – MG	SP	Companhia Energética de Minas Gerais
Eólica Elétrica de Palmas	2.500	Palmas – PR	PIE	Centrais Eólicas do Paraná Ltda.
Mucuripe	2.400	Fortaleza - CE	PIE	Wobben Wind Power Indústria e Comércio Ltda.

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.1.5.1. Exemplo de geração de energia eólica

Turbinas Eólicas do Arquipélago de Fernando de Noronha-PE: a primeira turbina foi instalada em junho de 1992, a partir do projeto realizado pelo Grupo de Energia Eólica da Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, com financiamento do Folkecenter (um instituto de pesquisas dinamarquês), em parceria com a Companhia Energética de Pernambuco – CELPE. A turbina possui um gerador assíncrono de 75 kW, rotor de 17 m de diâmetro e torre de 23 m de altura (Figura 24). Na época em que foi instalada, a geração de eletricidade dessa turbina correspondia a cerca de 10% da energia gerada na Ilha, proporcionando uma economia de

aproximadamente 70.000 litros de óleo diesel por ano. A segunda turbina foi instalada em maio de 2000 e entrou em operação em 2001. O projeto foi realizado pelo CBEE, com a colaboração do RISØ National Laboratory da Dinamarca, e financiado pela ANEEL. Juntas, as duas turbinas geram até 25% da eletricidade consumida na ilha. Esses projetos tornaram Fernando de Noronha o maior sistema híbrido eólico-diesel do Brasil [2].

Figura 24. Primeira turbina eólica de Fernando de Noronha
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.1.6. Impactos Socioambientais

As principais desvantagens de usinas eólicas destacam-se os sonoros e os visuais. Os impactos sonoros são devidos ao ruído dos rotores e variam de acordo com as especificações dos equipamentos, mas sabe-se que os novos modelos não têm esse problema. As turbinas de múltiplas pás são menos eficientes e mais barulhentas que os aerogeradores de hélices de alta velocidade. Os impactos visuais são decorrentes do agrupamento de torres e aerogeradores, principalmente no caso de centrais eólicas com um número considerável de turbinas, também conhecidas como fazendas eólicas. Os impactos variam muito de acordo com o local das instalações, o arranjo das torres e as especificações das turbinas [2].

Segundo a Aneel, 2005, outro impacto negativo de centrais eólicas é a possibilidade de interferências eletromagnéticas, que podem causar perturbações nos sistemas de comunicação e transmissão de dados (rádio, televisão, etc.). Essas interferências variam muito segundo o local de instalação da usina e suas especificações técnicas, particularmente o material utilizado na fabricação das pás. Também a possível interferência nas rotas de aves deve ser devidamente considerada nos estudos e relatórios de impactos ambientais.

No aspecto socioambiental, devido a essa "plantação" de centrais eólicas tende a atrair turistas, gerando renda, emprego, arrecadações e promovendo o desenvolvimento regional.

2.2.2. ENERGIA SOLAR

2.2.2.1. Introdução

O sol é uma fonte de energia renovável e inesgotável, o aproveitamento desta energia tanto como fonte de calor quanto de luz, é uma das alternativas energéticas mais promissoras para enfrentarmos os desafios do novo milênio. 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, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico.

O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito através do 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.

A conversão da energia solar em energia elétrica se dá pela incidência direta da luz solar sobre painéis compostos por células de material semicondutor (normalmente silício), através do chamado efeito fotovoltaico. Os fótons provenientes da radiação solar excitam a estrutura elétrica do semicondutor, promovendo o deslocamento de elétrons. Os elétrons excitados são coletados nos terminais da célula, gerando uma corrente contínua. O efeito termoelétrico caracteriza-se pelo surgimento de uma força eletromotriz, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas.

Nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, devido às características climáticas, o aproveitamento da energia solar é utilizada para o aquecimento de água. Já nas regiões Norte e Nordeste, devido a comunidades isoladas da rede de energia elétrica, o aproveitamento da energia solar é feita através da geração fotovoltaica de energia elétrica.

2.2.2.2. Radiação Solar no Brasil

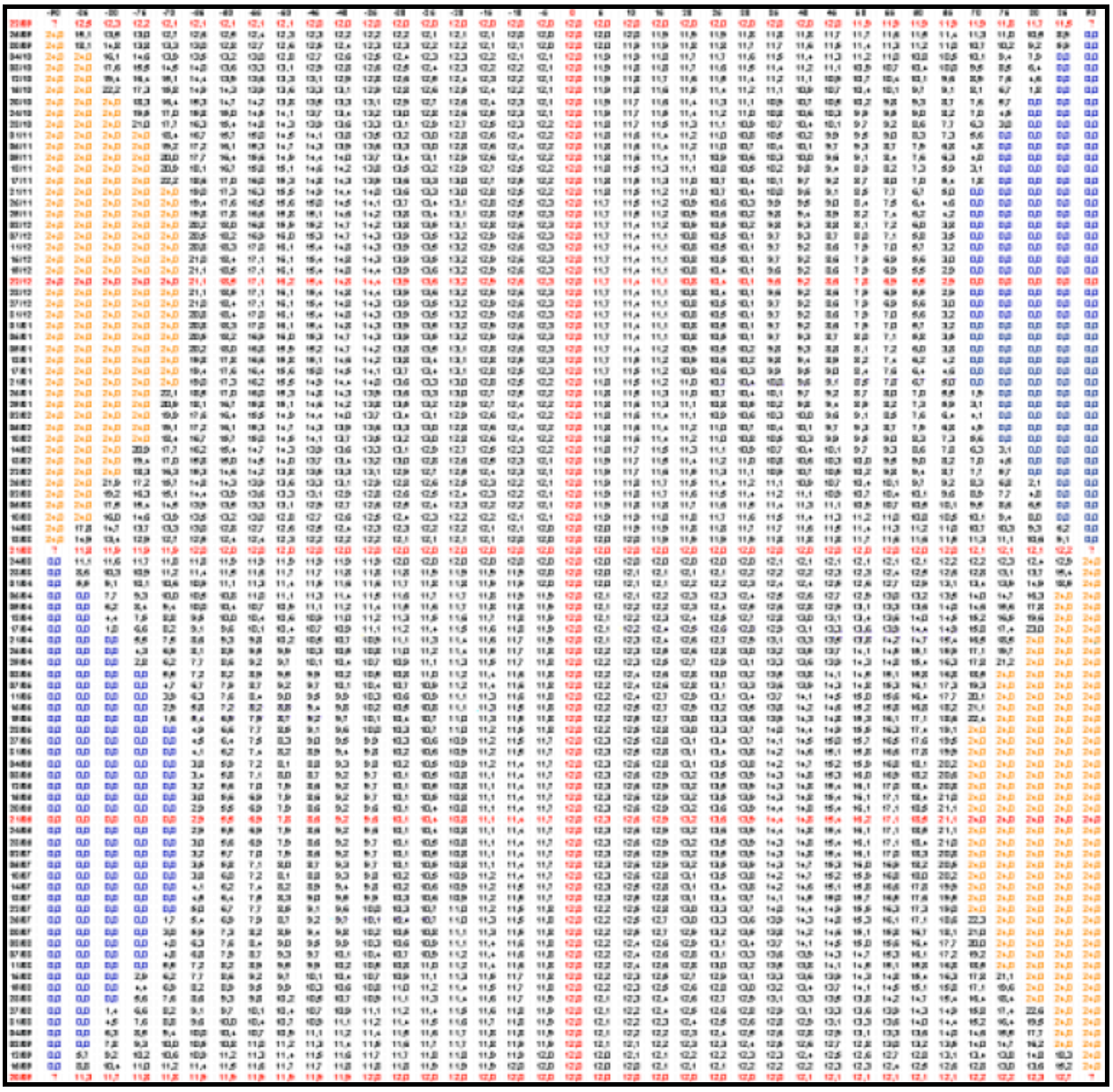
A radiação solar, também denominada energia total incidente sobre a superfície da Terra, depende da latitude local e da posição no tempo (hora do dia e dia do ano), isso devido ao movimento de rotação e translação da Terra.

A maior parte do território brasileiro está localizada próxima da linha do Equador, de forma que não se observa grandes variações na duração solar do dia. Mas, a maioria da população e das atividades socioeconômicas do País está localizada em regiões mais distantes da linha do Equador. Uma forma para maximizar o aproveitamento da radiação solar, está em 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.

Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10mil vezes o consumo energético mundial [12].

A figura 25 mostra o Atlas de Irradiação Solar no Brasil – índice médio anual de radiação solar no Brasil, em watt-hora por metro quadrado ao dia (Wh/m^2.dia). Tem-se um grande destaque na região Nordeste, principalmente no Vale do São Francisco, onde a média anual é de $6kWh/m^2$.dia.

Tabela 12. Duração solar do dia, em horas, em diferentes latitudes e períodos do ano*



Fonte: Adaptado de Aneel (2005) – Elaborado a partir de Vianello & Alves, 1991

(*) Os dados foram obtidos por meio das seguintes equações (Vianello & Alves, 1991): i) Declinação solar, em graus, ß=23,45 x sen[360x(284 + J)/365] (Equação de Cooper, 1969), onde J é o dia juliano e varia de 1 (1 de janeiro) a 365 (31 de dezembro); ii) ângulo horário, H=Cos -1(-tgØ x tgß), onde Ø é a latitude local; iii) Duração solar do dia, D=2xH/15.

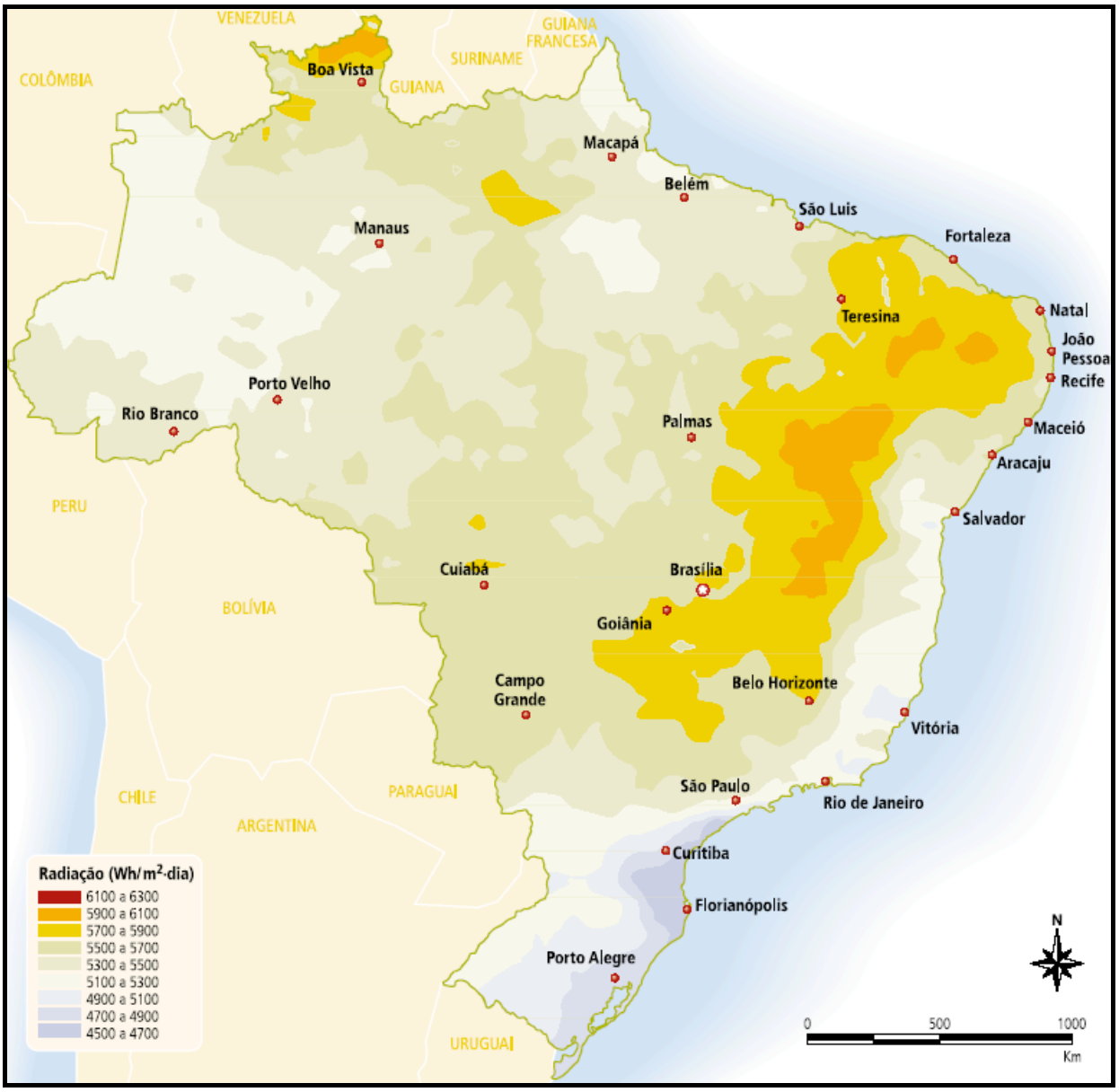


Figura 25. Radiação solar no Brasil – Média anual típica (Wh/m^2.dia)

Fonte: Adaptado de Atlas de Irradiação Solar no Brasil (1998)

2.2.2.3. Viabilidade Econômica

Como comentado anteriormente, estima-se que a energia solar incidente sobre a superfície terrestre seja da ordem de 10mil vezes o consumo energético mundial.

O custo das células solares demonstra o principal obstáculo para a geração de eletricidade em escala comercial. Atualmente os custos variam entre 5 e 15 vezes os custos unitários de uma

usina a gás natural que opera com ciclo combinado. Contudo, nos últimos anos tem-se observado redução nos custos de capital. Os valores estão situados na faixa de US$ 200 a US$ 300 por MegaWatt-hora e entre US$ 3 e US$ 7 mil por quiloWatt instalado (Tabela 13) [2].

Tabela 13. Eficiência de conversão e custo de células solares

Tipo de Célula	Eficiência (%)			Custo
	Teórica	Laboratório	Comercial	(US$/Wp)
Silício de cristal simples	30,0	24,7	12 a 14	4 a 7
Silício concentrado	27,0	28,2	13 a 15	5 a 8
Silício policristalino	25,0	19,8	11 a 13	4 a 7
Silício amorfo 17,0	13,0	4 a 7	3 a 5	-

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

Os painéis fotovoltaicos ainda são caros, tornando a energia obtida por meio deles por enquanto mais cara que a obtidas por fontes hidráulicas ou mesmo termelétricas. Entretanto para regiões distantes dos grandes centros de geração e consumo, é uma opção econômica. Para comunidades pequenas no interior do Brasil, por exemplo, é uma solução técnico-econômica viável. A tendência do custo dos painéis é cair, tanto pela melhoria na tecnologia de fabricação quanto por economia de escala pelo gradativo aumento de sua utilização.

2.2.2.4. Viabilidade Técnica

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes através do uso de coletores ou concentradores solares. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através do efeito fotovoltaico.

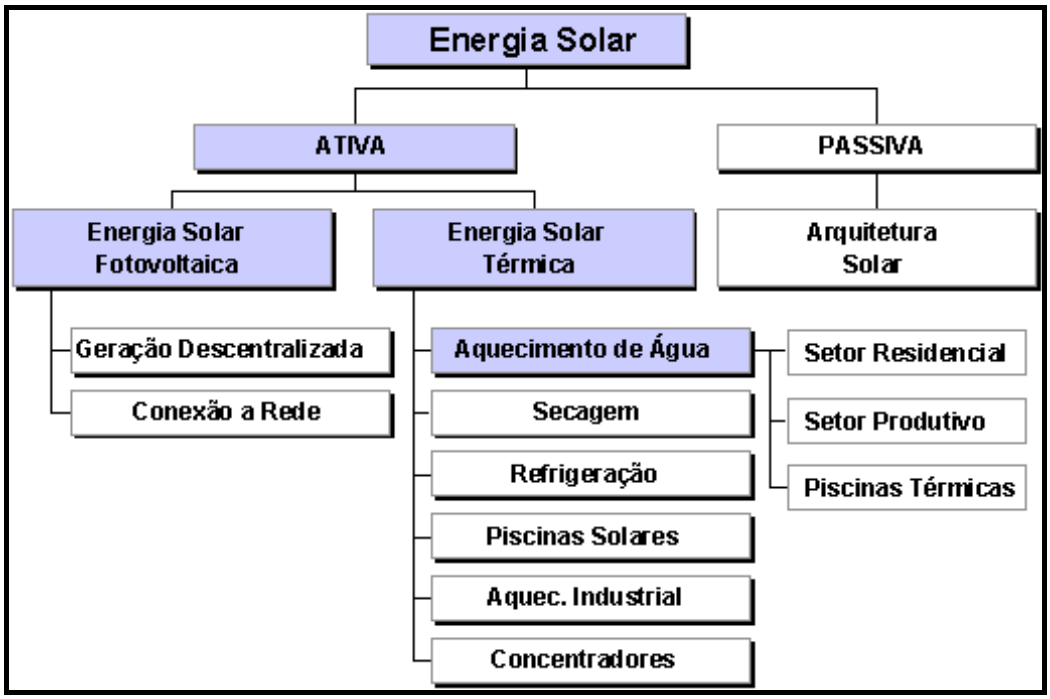


Figura 26. Ramificações da Energia Solar

Fonte: Adaptado de GREEN – PUC-MG (2005)

2.2.2.4.1. Aproveitamento da Energia Térmica

Coletor Solar: 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), inferiores a 100º C.

A água para o chuveiro do banheiro e torneira da cozinha é aquecida por um painel termosolar, onde o mesmo acumula calor do sol e o transfere diretamente para a água que circula em suas canalizações. A água aquecida vai sendo acumulada num reservatório térmico. A circulação da água dá-se por gravidade, sendo função da diferença de altura entre a caixa d'água e o painel e da diferença de densidade resultante da diferença de temperatura da água na entrada e saída do painel. Como pelas características do telhado da casa a diferença de altura entre a caixa d'água e o painel é pequena, a circulação da água pelo painel depende em boa parte da diferença de densidade gerada pela diferença de temperatura. Uma pequena bomba funcionando por poucos minutos inicia o processo até que o diferencial de temperatura compense a pouca diferença de altura e o processo de circulação possa continuar sem o auxílio da bomba [12].

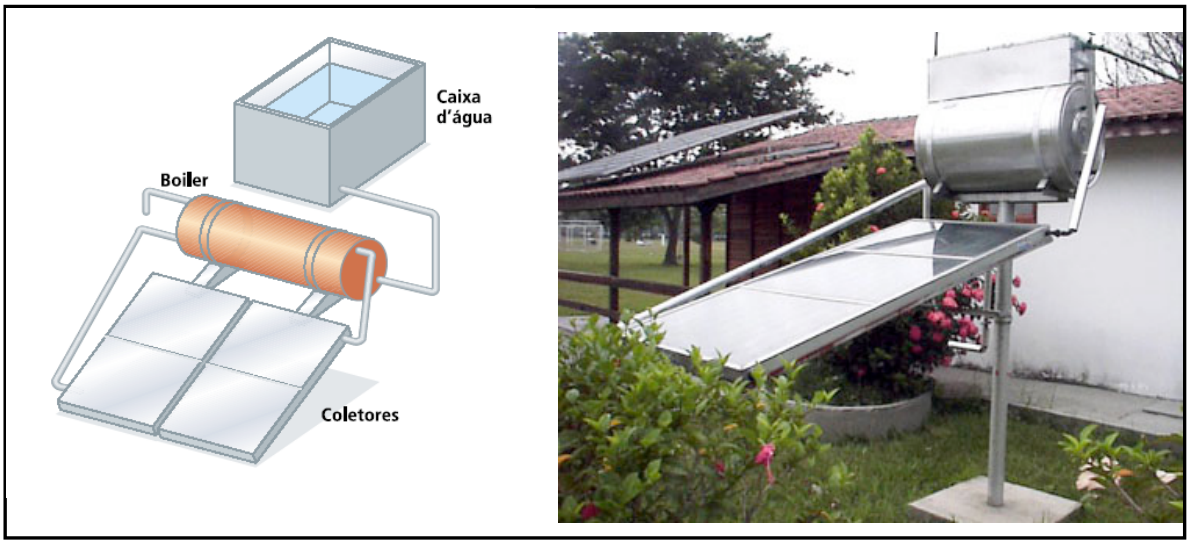


Figura 27. Sistema solar de aquecimento de água

Fonte: Adaptado de Aneel (2005) / CRESESB (2005)

Concentrador solar: Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor. A superfície refletora tem forma parabólica ou esférica onde captam a energia solar incidente numa área relativamente grande e refletem numa área muito menor, de modo que a temperatura desta última aqueça substancialmente. O aproveitamento da energia solar incidente varia de 14% a 22% de eficiência, podendo ser utilizada para geração de vapor e ou energia elétrica [2].

Os custos da eletricidade gerada têm variado entre US$ 90 e US$ 280 por MWh. Recentes melhoramentos têm sido feitos, visando a reduzir custos e aumentar a eficiência de conversão. Em lugar de pesados espelhos de vidro, têm-se empregado folhas circulares de filme plástico aluminizado [2].

Figura 28. Sistema térmico de geração solar de energia elétrica (Califórnia – EUA)
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.2.4.2. Aproveitamento da Energia Elétrica

Energia Fotovoltaica: A conversão da energia solar em energia elétrica se dá pela incidência direta da luz solar sobre painéis compostos por células de material semicondutor (normalmente silício), através do chamado efeito fotovoltaico. Os fótons provenientes da radiação solar excitam a estrutura elétrica do semicondutor, promovendo o deslocamento de elétrons. Os elétrons excitados são coletados nos terminais da célula, gerando uma corrente contínua. O efeito termoelétrico caracteriza-se pelo surgimento de uma força eletromotriz, provocada pela junção de dois metais, em condições específicas.

A eficiência de conversão das células solares é medida pela proporção da radiação solar incidente sobre a superfície da célula que é convertida em energia elétrica. Atualmente, as melhores células apresentam um índice de eficiência de 25% [2].

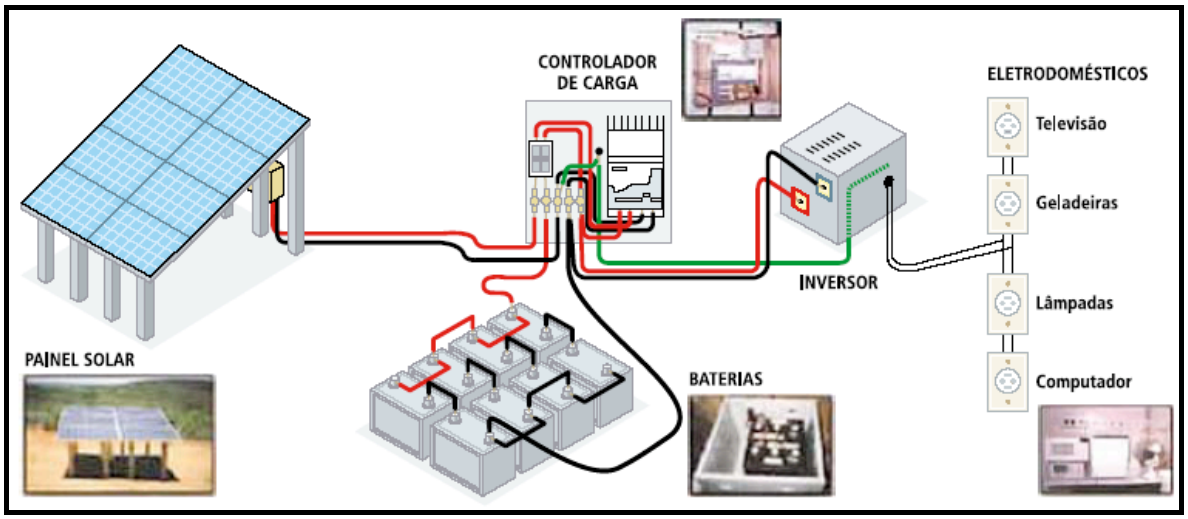


Figura 29: Ilustração de um sistema de geração fotovoltaica de energia elétrica
Fonte: Adaptado de CRESESB (2005)

2.2.2.5. Sistemas Fotovoltaicos Instalados no Brasil

No Brasil, existem vários meios de aproveitamento da energia solar principalmente por meio de sistemas fotovoltaicos de geração de eletricidade, visando ao atendimento de comunidades isoladas da rede de energia elétrica e ao desenvolvimento regional. Podendo ser utilizado para bombeamento de água no abastecimento doméstico, irrigação e piscicultura; iluminação pública e sistemas energéticos coletivos, tais como, eletrificação de escolas, postos de saúde e telefônicos e centros comunitários.

Na figura 30, temos um exemplo de bombeamento fotovoltaico de água, este na região do Pontal do Paranapanema (Extremo-Oeste do Estado de São Paulo). O reservatório tem capacidade de armazenamento de 7.500 litros e altura manométrica de 86 metros, abastecendo 43 famílias. O sistema fotovoltaico é constituído de 21 módulos MSX 70, com potência nominal de 1.470 Wp (Watt pico) [2].

Figura 30. Sistema de bombeamento fotovoltaico – Santa Cruz I (Mirante do Paranapanema – SP)

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

Na Figura 31, temos um exemplo de sistema de atendimento domiciliar instalado no âmbito do projeto Ribeirinhas. Esse projeto constitui uma ação estratégica do Programa Nacional de Eletrificação "Luz no Campo" e tem como objetivo a implantação, em localidades ribeirinhas na região amazônica, de sistemas baseados em fontes alternativas para geração de energia elétrica. O projeto é conduzido pelo CEPEL e pela ELETROBRAS, em colaboração com a Universidade Federal do Amazonas [2].

Figura 31. Sistema fotovoltaico para atendimento domiciliar – Projeto Ribeirinhas

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

Tabela 14. Sistemas de bombeamento de água na região do Portal do Paranapanema - SP

Comunidade	Município	Altura Man.(m)	Reservatório (l)	Potência (Wp)	Famílias
Santa Cruz I	Monte do Paranapanema	86	7.500	1.470	43
Santa Cruz II	Monte do Paranapanema	92	7.500	1.470	12
Santana I	Monte do Paranapanema	–	7.500	2.241	22
Santana II	Monte do Paranapanema	74	27.500	2.490	35
Santa Rosa II	Monte do Paranapanema	92	7.500	1.890	30
Santa Isabel	Monte do Paranapanema	92	7.500	2.988	67
Palu	Pres. Bernardes	67	7.500	1.280	14
Santa Maria	Presidente Venceslau	80	7.500	–	75
Santa Rita	Tupi Paulista	50	7.500	–	31
Yapinary	Ribeirão dos Índios	85	7.500	1.494	20
Yapinary	Ribeirão dos Índios	68	7.500	1.494	19
Maturi	Caiuá	74	27.500	–	50
Primavera I	Presidente Venceslau	74	7.500	1.743	23

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.2.6. Impactos Socioambientais

A baixa eficiência dos sistemas de conversão de energia requer o uso de grandes áreas para captação de energia solar para que o empreendimento se torne economicamente viável. Comparando com a energia hidráulica, por exemplo, observa-se que a limitação de espaço não é tão restritiva ao aproveitamento da energia solar, seriam necessários 1400km^2 de coletores solares, 0,016% do território nacional; o que corresponde a somente 5% da área alagada por usinas hidrelétricas do Brasil [2].

A energia solar é importante na preservação do meio ambiente, pois tem muitas vantagens sobre as outras formas de obtenção de energia, como: não ser poluente, não influir no efeito estufa, não precisar de turbinas ou geradores para a produção de energia elétrica, mas tem como desvantagem a exigência de altos investimentos para o seu aproveitamento.

O índice médio global de radiação solar no Brasil é de 1.800 kWh/m^2 ao ano, onde o consumo total de energia elétrica em 1998 foi aproximadamente de 300 TWh e uma eficiência de conversão de 12% [2].

2.2.3. BIOMASSA

2.2.3.1. Introdução

Do ponto de vista energético é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Através da fotossíntese, as plantas capturam energia do sol e transformam em energia química. Esta energia pode ser convertida em eletricidade, combustível ou calor.

Os combustíveis mais comuns da biomassa são os resíduos agrícolas, madeira e plantas como a cana-de-açúcar, que são colhidos com o objetivo de produzir energia. O lixo municipal pode ser convertido em combustível para o transporte, indústrias e mesmo residências.

Embora grande parte do planeta esteja desprovida de florestas, a quantidade de biomassa existente na terra é da ordem de dois trilhões de toneladas; o que significa cerca de 400 toneladas per capita. Em termos energéticos, isso corresponde a mais ou menos 3.000 EJ por ano, ou seja, oito vezes o consumo mundial de energia primária (da ordem de 400 EJ por ano) [2].

A produção de energia elétrica a partir da biomassa, atualmente, é muito defendida como uma alternativa importante para países em desenvolvimento e também outros países. Programas nacionais começaram a ser desenvolvidos visando o incremento da eficiência de sistemas para a combustão, gaseificação e pirólise da biomassa.

A médio e longo prazo, a exaustão de fontes não-renováveis e as pressões ambientalistas poderão acarretar maior aproveitamento energético da biomassa. Atualmente, a biomassa vem sendo cada vez mais utilizada na geração de eletricidade, principalmente em sistemas de co-geração e no suprimento de eletricidade para demandas isoladas da rede elétrica [2].

2.2.3.2. Disponibilidade de Recursos de Biomassa no Brasil

Devido ao uso não-comercial e de difícil contabilização, estima-se que, atualmente, a biomassa possa representar cerca de 14% de todo o consumo mundial de energia primária [2].

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica.

Em algumas regiões como o Estado de São Paulo, a produção de biomassa energética por meio da cana-de-açúcar é alta, sendo comparável à produção de energia hidráulica. O Estado importa eletricidade (40% do que consome) e exporta álcool para o resto do País. Verifica-se, portanto, que, apesar da produção de biomassa ser mundialmente considerada uma atividade extremamente demandante de terras, mesmo numa região com alta densidade demográfica é possível encontrar áreas para essa atividade. A maior parte da energia dessa biomassa é utilizada na produção do etanol – combustível líquido [2].

Nos estados do Paraná e São Paulo, tem um potencial maior de aproveitamento na a produção de madeira, em forma de lenha, carvão vegetal ou toras, também gera uma grande quantidade de resíduos, oriunda de silvicultura, que podem igualmente ser aproveitadas na geração de energia elétrica.

O bagaço de cana-de-açúcar é atualmente, o recurso de maior potencial para geração de energia elétrica no País. A alta produtividade alcançada pela lavoura canavieira, acrescida de ganhos sucessivos nos processos de transformação da biomassa sucroalcooleira, têm disponibilizado enorme quantidade de matéria orgânica sob a forma de bagaço nas usinas e destilarias de cana-de-açúcar, interligadas aos principais sistemas elétricos, que atendem a grandes centros de consumo dos Estados das regiões Sul e Sudeste. Além disso, o período de colheita da cana-de-açúcar coincide com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro, tornando a opção ainda mais vantajosa [2].

O óleo de dendê abundante na região Amazônica pode ser queimado em caldeiras e motores de combustão interna, para a geração de energia elétrica e o atendimento de comunidades isoladas do sistema elétrico. O dendê tem produtividade média anual de 4 toneladas de óleo por hectare (dez vezes maior que a da soja, por exemplo!) e a maior disponibilidade tecnológica para o uso do óleo. Existem também outras culturas de grande potencial como o buriti, o babaçu e a andiroba [2].

2.2.3.3. Viabilidade Econômica

Embora com eficiência termodinâmica relativamente baixa (18% a 26%), essas plantas têm sido economicamente competitivas. Os custos foram avaliados em cerca de US$ 1.400,00 por kW instalado e entre US$ 65,00 e US$ 80,00 por MWh gerado [2].

A precariedade e a falta de informações oficiais sobre o uso da biomassa para fins energéticos devem-se principalmente aos seguintes fatores:

- Trata-se de um energético tradicionalmente utilizado em países pobres e setores menos desenvolvidos;
- Trata-se de uma fonte energética dispersa, cujo uso, via de regra, é ineficiente;
- O uso da biomassa para fins energéticos é indevidamente associado a problemas de desflorestamento e desertificação.

2.2.3.4. Viabilidade Técnica

Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Para aumentar a eficiência do processo e reduzir impactos socioambientais, tem-se desenvolvido e aperfeiçoado tecnologias de conversão mais eficientes, como a gaseificação e a pirólise, também sendo comum a co-geração em sistemas que utilizam a biomassa como fonte energética, pode-se observar a participação da biomassa em 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no País.

Os sistemas de co-geração permitem produzir simultaneamente energia elétrica e calor útil, e configuram a tecnologia mais racional para a utilização de combustíveis. Este é o caso das indústrias sucroalcooleira e de papel e celulose, que além de demandar potência elétrica e térmica, dispõem de combustíveis residuais que se integram de modo favorável ao processo de co-geração. A co-geração é usada em grande escala no mundo, inclusive com incentivos de governos e distribuidoras de energia.

O aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio da combustão direta (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise, liquefação e transesterificação) ou de processos biológicos (digestão anaeróbia e fermentação). A Figura 32 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos.

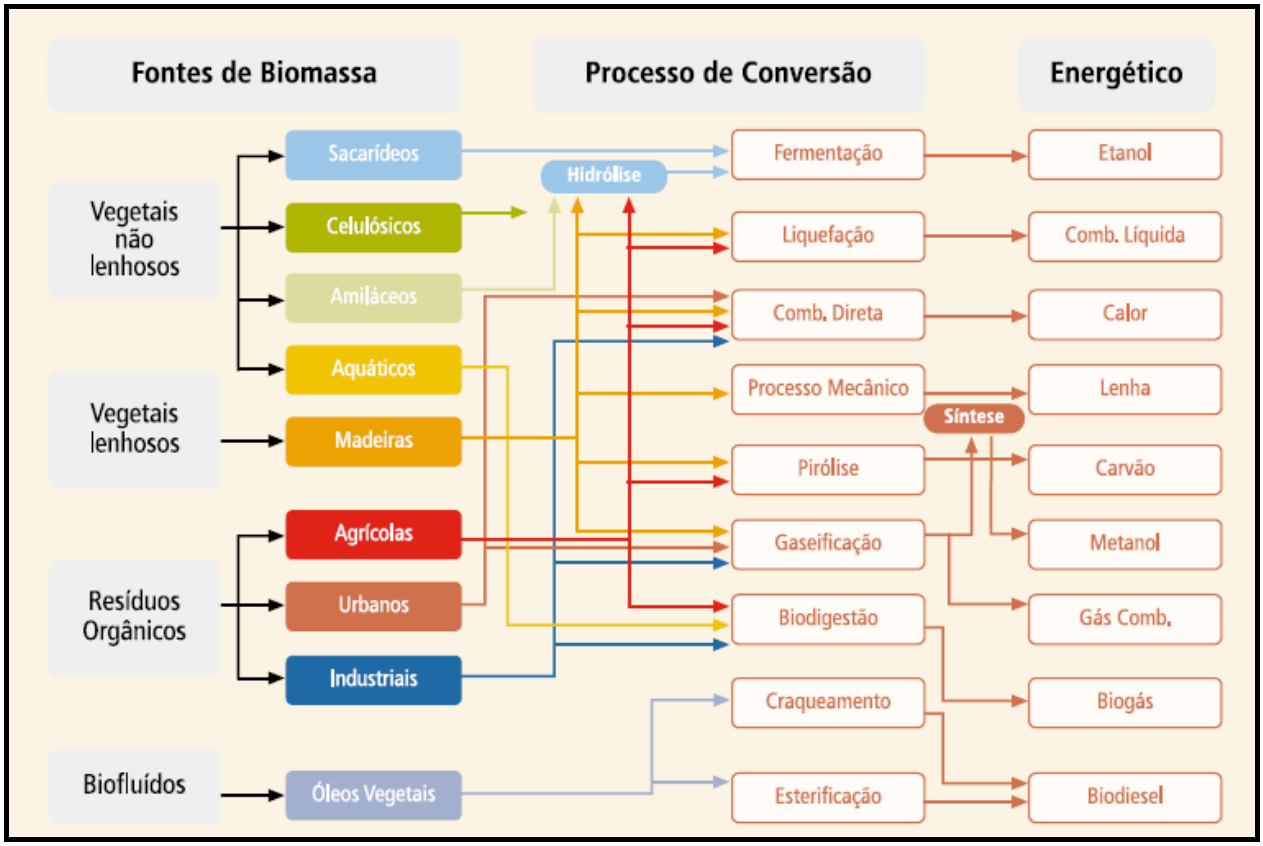


Figura 32. Diagrama esquemático dos processos de conversão energética da biomassa
Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.3.4.1. Tecnologias de Aproveitamento Energético da Biomassa

As principais tecnologias de aproveitamento energético da biomassa são descritas a seguir [2].

Combustão direta: combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos

(metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo), normalmente esse tipo de combustão são ineficientes.

Gaseificação: é um processo recente de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica.

Vantagens da gaseificação da biomassa:

- As cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo assim a emissão de particulados;
- O combustível resultante é mais limpo e, na maioria dos casos não há necessidade de controle de poluição;
- Associada á catalisadores, como alumínio e zinco, a gaseificação aumenta a produção de hidrogênio e de monóxido de carbono e diminui a produção de dióxido de carbono;
- Sob condições adequadas, produz gás sintético, que pode ser usado na síntese de qualquer hidrocarboneto.

Pirólise: a pirólise ou carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão, essencialmente). O produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maiores que aquela do material de origem e queima em temperaturas muito mais elevadas. Além de gás combustível, a pirólise produz alcatrão e ácido piro-lenhoso.

Digestão anaeróbia: o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Trata-se de um processo simples, que ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos. Em termos energéticos, o produto final é o biogás, composto essencialmente por metano (50% a 75%) e dióxido de carbono. Seu conteúdo energético gira em torno de 5.500 kcal por metro cúbico. O efluente gerado pelo processo pode ser usado como fertilizante.

Fermentação: é um processo biológico anaeróbio em que o açúcar de plantas como, a batata, o milho, a beterraba e, principalmente, a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras). Em termos energéticos, o produto

final, o álcool, é composto por etanol e, em menor proporção, metanol, e pode ser usado como combustível (puro ou adicionado à gasolina – cerca de 20%) em motores de combustão interna.

Transesterificação: é um processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio). Os produtos dessa reação química são, a glicerina e uma mistura de ésteres etílicos ou metílicos (biodiesel). O biodiesel tem características físicoquímicas muito semelhantes às do óleo diesel e, portanto, pode ser usado em motores de combustão interna, de uso veicular ou estacionário.

2.2.3.5. Usinas Termelétricas a Biomassa em Operação no Brasil

Em outubro de 2005, havia registro de 257 termelétricas a biomassa em operação no Brasil, perfazendo uma capacidade instalada de 3.142.193 kW. Verifica-se na Figura 33 que a grande maioria dessas usinas está localizada no Estado de São Paulo, onde se concentra grande parte do setor sucroalcooleiro do país [3].

Tabela 15. Combustíveis utilizados em usinas termelétricas a biomassa em operação no Brasil – situação outubro de 2005

Combustível	Quantidade	Potência (kW)	%
Licor Negro	12	665.572	21,18
Casca de Arroz	2	6.400	0,20
Bagaço de Cana de Açúcar	218	2.249.359	71,59
Resíduos de Madeira	22	192.832	6,14
Biogás	2	20.030	0,64
Carvão Vegetal	1	8.000	0,25
Total	**257**	**3.142.193**	**100**

Fonte: Adaptado de BIG – Banco de Informações de Geração da Aneel, 2005

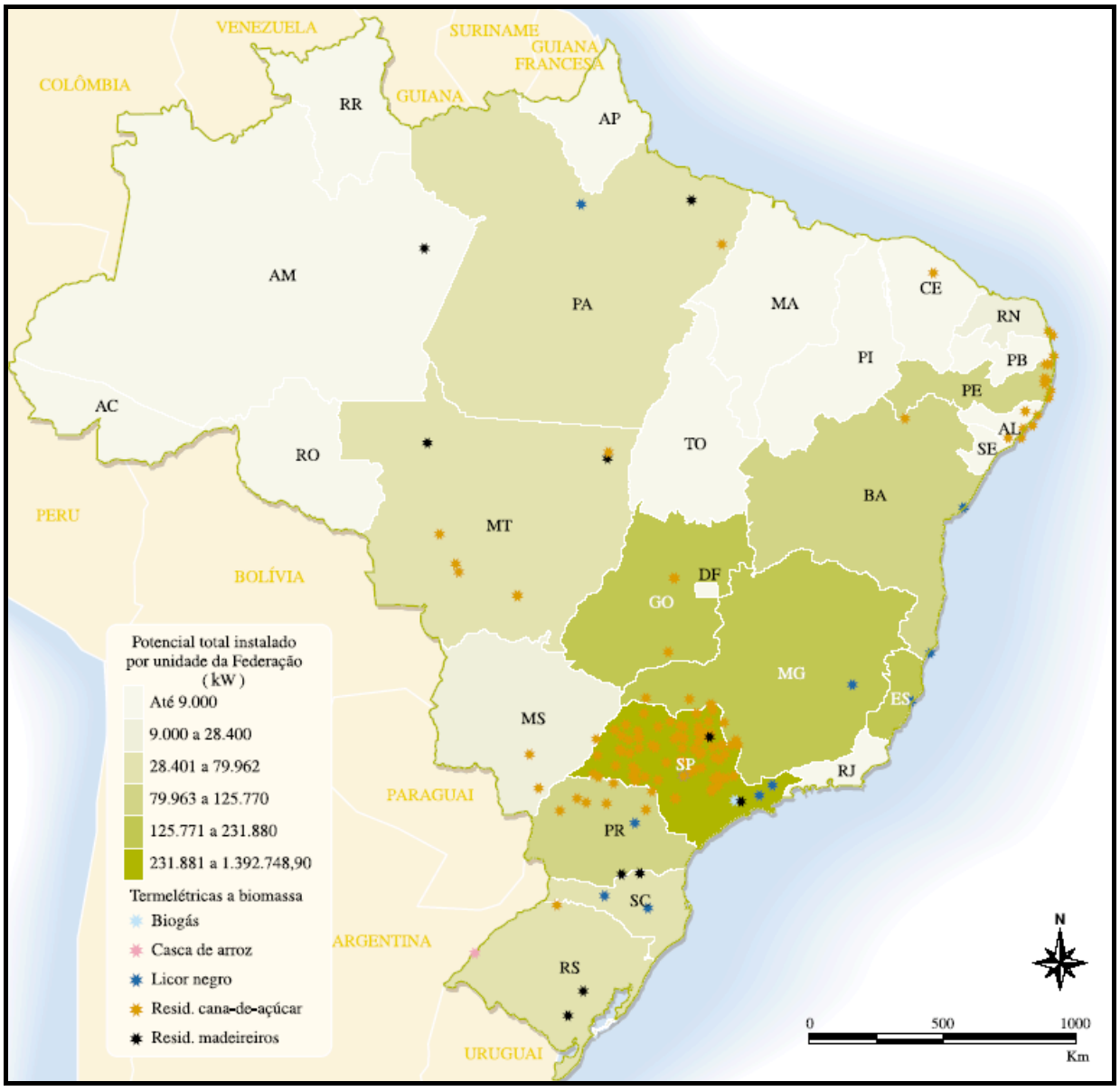


Figura 33. Usinas termelétricas a biomassa em operação e potência instalada por estado – situação em setembro de 2003

Fonte: Adaptado de Aneel (2005)

2.2.3.6. Impactos Socioambientais

Os principais entraves ao maior uso da biomassa na geração de energia elétrica são: a baixa eficiência termodinâmica das plantas e os custos relativamente altos de produção e transporte. A vantagem desse tipo de energia tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos e da geração de receita, além de ambientavelmente mais favorável do que outras fontes convencionais de energia [2].

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A energia elétrica é fator essencial para assegurar o crescimento econômico do país e a qualidade de vida da sua população. Porém, os recursos hídricos disponíveis nas proximidades dos principais centros consumidores estão se esgotando.

É cada vez mais difícil o licenciamento ambiental dos aproveitamentos hídricos remanescentes e economicamente viáveis. E, apesar de tudo isso, a demanda de energia continua crescente. Do ponto de vista ambiental, a sustentabilidade do desenvolvimento depende, entre outras medidas, da redução das emissões de gases poluentes, da conservação do solo, da não contaminação das águas, da exploração racional dos recursos fósseis e dos recursos naturais renováveis. Dentre as atividades humanas, a produção e o consumo de energia é uma das mais intensivas na utilização de recursos naturais. Por outro lado, também é uma das principais fontes de emissões de poluentes.

Na Figura 34 pode-se ver claramente que quando se trata de viabilidade econômica em um modo geral, a energia hidráulica é a mais viável. Mas quando se trata de impactos socioambientais causados devido à inundação de grandes áreas, onde na maioria dos casos, tratava-se de áreas produtivas e de grande diversidade biológica, exigindo a realocação de milhares de pessoas e animais, verifica-se a importância de se utilizar energias alternativas como: a Energia Eólica, a Energia Solar, Biomassa e até Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH´s), não somente em áreas isoladas, mas também de um modo geral acrescentando energia à matriz energética.

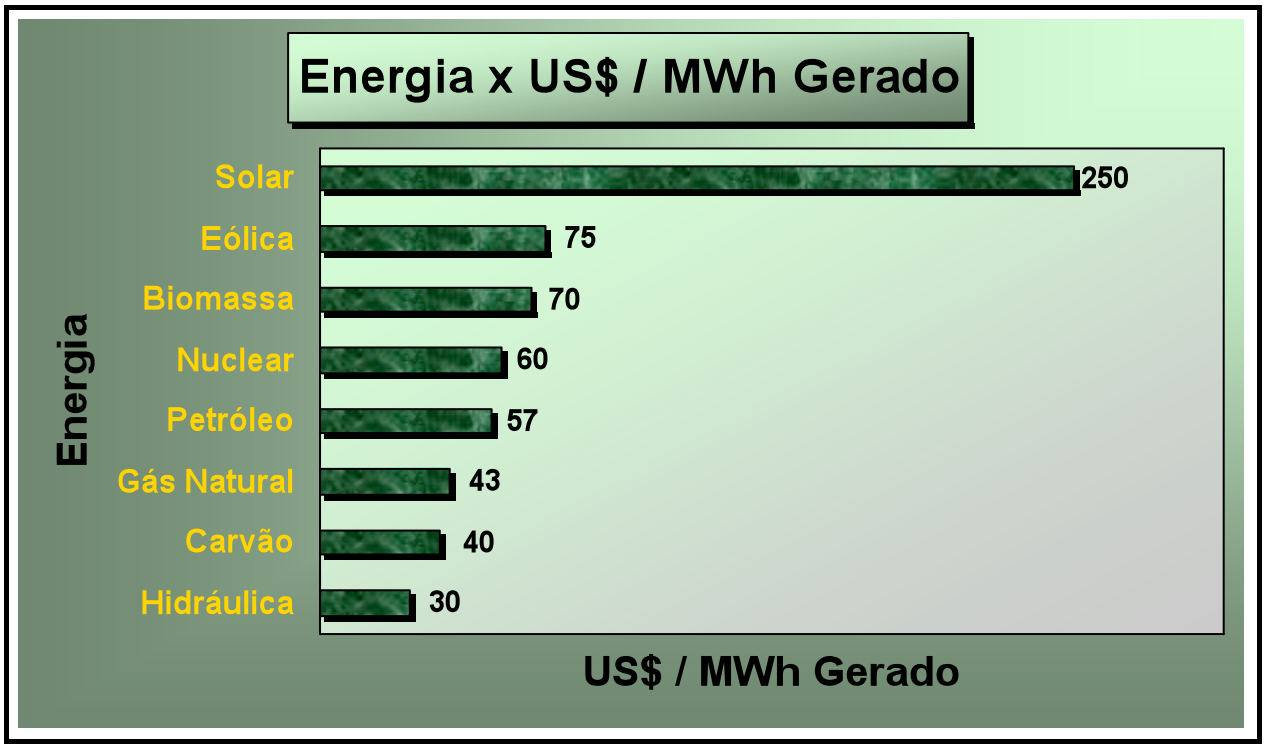


Figura 34. Energia x US$ / MWh Gerado

Fonte: Adaptado de Dados de Pesquisa do TCC (2005)

A energia eólica demonstra a viabilidade econômica e socioambiental causando o mínimo impacto no meio ambiente, sem restrições ambientais, além de ter combustível gratuito é também independente de instabilidades políticas e econômicas. Com um potencial eólico da ordem de 140.000 MW, principalmente no litoral do Nordeste (Ceará e Rio Grande do Norte). No prazo de três anos seria possível a instalação de 3.000MW através das usinas eólicas. O custo de uma central eólica chega a ser competitivo ao das centrais termelétricas, nucleares e hidroelétricas. Análises dos recursos eólicos medidos em vários locais do Brasil indicam que a possibilidade de geração elétrica com custos da ordem de US$ 70 - US$ 80 por MWh [9].

A energia solar é viável para abastecer regiões distantes e isoladas dos centros geradores de energia convencional e das linhas de transmissão. O impacto socioambiental é mínimo por se tratar de uma energia limpa e de fonte inesgotável e também é independente de instabilidades políticas e econômicas, demonstrando ser uma das alternativas energéticas mais promissoras, onde o crescimento industrial pode reduzir seu custo. Os equipamentos para gerar a energia fotovoltaica ainda são caros quando comparados com outros sistemas de produção, como hidroelétricas e termelétricas. O índice médio global de radiação solar no Brasil é de 1.800kWh/m^2 ao ano, onde o consumo total de energia elétrica em 1998 foi aproximadamente de

300TWh e uma eficiência de conversão de 12% [2]. Para se tornar uma fonte de energia viável seria necessários 1400km^2 de coletores solares, 0,016% do território nacional; o que corresponde a somente 5% da área alagada por usinas hidrelétricas do Brasil [2].

A geração de energia elétrica a partir da biomassa está sendo uma alternativa importante para países em desenvolvimento e também outros países, devido à eficiência de sistemas para a combustão, gaseificação e pirólise da biomassa. O investimento de capital em uma central a gás é relativamente mais baixo e a instalação de termelétricas mais rápidas, em comparação a novas hidrelétricas. Uma das principais vantagens da biomassa é que, embora de eficiência reduzida, seu aproveitamento pode ser feito diretamente, por intermédio da combustão em fornos, caldeiras, etc. Outra vantagem importante, é que a biomassa está tendo uma participação de 30% nos empreendimentos de co-geração no Brasil.

Por outro lado, em vários países industrializados a energia nuclear está com os dias contados por causas dos seus riscos incalculáveis (risco de acidentes graves, o problema do armazenamento do lixo radioativo). Além de o custo de manutenção ser alto e para a desativação e isolamento de cada reator nuclear estimado em algo entre U$ 10 e U$ 20 bilhões [2].

O estudo das energias demonstra que é fundamental para o conhecimento da disponibilidade de recursos energéticos do Brasil, das tecnologias e sistemas existentes para o seu aproveitamento e das necessidades energéticas de cada região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, ARCONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO (ABRAVA). 2005. Disponível em < **http://ww.abrava.com.br** >. Acesso em: 20 setembro 2005.

[2] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2005. Atlas de Energia Elétrica do Brasil – 2ª Edição. Disponível em < **http://www.aneel.gov.br** >. Acesso em: 05 outubro 2005.

[3] AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). 2005. Banco de Informação de Geração - BIG. Disponível em < **http://www.aneel.gov.br** >. Acesso em: 24 novembro 2005.

[4] AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO (ANP). 2005. Disponível em < **http://www.anp.gov.br** >. Acesso em: 09 novembro 2005.

[5] BERMANN, C. - Energia no Brasil: para quê? para quem? - Crise e Alternativas para um país sustentável. São Paulo, Ed. FASE/Livraria da Física-USP, 2002, 139 p.

[6] CENTRAIS ELÉTRICAS BRASILEIRAS S.A. (ELETROBRÁS). 2005. Disponível em < **http://www.eletrobras.gov.br** > . Acesso em: 12 setembro 2005.

[7] CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA S.A. (CELESC). 2005. Fontes não convencionais. Disponível em < **http://www.celesc.com.br** >. Acesso em: 27 setembro 2005.

[8] CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA (CBEE)/UFPE. 2005. Atlas Eólico do Brasil - resultados preliminares de 1998. Disponível em < **http://www.eolica.com.br** >. Acesso em: 20 setembro 2005.

[9] CENTRO BRASILEIRO DE ENERGIA EÓLICA (CBEE)/UFPE. 2005. Disponível em < **http://www.eolica.com.br** >. Acesso em: 20 setembro 2005.

[10] CENTRO DE REFERÊNCIA EM PEQUENAS CENTRAIS HIDRELÉTRICAS (CERPCH)/EFEI - Itajubá . 2005. Disponível em < **http://www.cerpch.efei.br** >. Acesso em: 20 novembro 2005.

[11] CENTRO NACIONAL DE REFERÊNCIA EM BIOMASSA (CENBIO). 2005. Disponível em < **http://www.cenbio.org.br** >. Acesso em: 20 novembro 2005.

[12] CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB). 2005. Disponível em < **http://www.cresesb.cepel.br** >. Acesso em: 27 setembro 2005

[13] COMPANHIA ENERGÉTICA DE SÃO PAULO (CESP). 2005. Disponível em < **http://www.cesp.com.br** >. Acesso em: 20 setembro 2005.

[14] COMPANHIA DE GERAÇÃO TERMÉTRICA DE ENERGIA ELÉTRICA (CGTEE). 2005. Disponível em < **http://www.cgtee.gov.br** >. Acesso em: 30 outubro 2005.

[15] COMPANHIA DE PESQUISA DE RECURSOS MINERAIS (CPRM). 2005. Disponível em < **http://www.cprm.gov.br** >. Acesso em: 30 outubro 2005.

[16] ELETROBRÁS TERMONUCLEAR S.A. (ELETRONUCLEAR). 2005. Disponível em < **http://www.eletronuclear.gov.br/funcionamento.htm** >. Acesso em: 27 setembro 2005.

[17] EMPRESA METROPOLITANA DE ÁGUAS E ENERGIA (EMAE). 2005. Disponível em < **http://www. cesp.com.br/site_emae/default.htm** >. Acesso em: 20 novembro 2005.

[18] FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A. (FURNAS). 2005. Parque Gerador. Disponível em < **http://www.furnas.com.br** >. Acesso em: 08 setembro 2005.

[19] GÁS NET LTDA. (GASNET). 2005. O que é gás natural. Disponível em < **http://www.gasnet.com.br** >. Acesso em: 27 setembro 2005.

[20] GE POWER SYSTEMS. (GE POWER). 2005. Hydro Turbines. Disponível em < **http://www.gepower.com/hydro** >. Acesso em: 20 novembro 2005.

[21] GRUPO DE ESTUDOS EM ENERGIA. (GREEN). PUC-MG. 2005. Disponível em < **http://www.green.pucminas.br** > . Acesso em: 18 setembro 2005.

[22] INSTITUTO VIRTUAL INTERNACIONAL DE MUDANÇAS GLOBAIS. (IVIG). COPPE/UFRJ. 2005. Usinas termelétricas Híbridas: Geração de Energia com Balanço Nulo de Emissões de Gases do Efeito Estufa, Usando combustível Fóssil e Biomassa Residual. Disponível em < **http://www.ivig.coppe.ufrj.br** > . Acesso em: 21 novembro 2005.

[23] ITAIPU BINACIONAL. 2005. Disponível em < **http://www.itaipu.gov.br** > . Acesso em: 21 setembro 2005.

[24] LA ROVERE, E. L.; MENDES, F. E. Complexo Hidrelétrico de Tucuruí, Brasil. Estudo de Caso preparado para a Comissão Mundial de Barragens. Cidade do Cabo, 2000. Disponível em **< http://www.dams.org >**. Acesso em: 18 setembro 2005.

[25] MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME). Disponível em < **http://www.mme.gov.br** >. Acesso em: 25 agosto 2005.

[26] PROGRAMA ENERGIA DA COALIZÃO RIOS VIVOS. 2003. Dossier sobre os riscos sócio-ambientais dos projetos de energia e infra-estrutura no Brasil apresentado como oportunidades de negócio a investidores internacionais. Disponível em < **http://www.irn.gov** >. Acesso em: 18 setembro 2005.

[27] REVISTA CREA SP. O Brasil às claras com energias alternativas. nº 20 , Mai/Jun 2005 – Ano V - pag, 24.

[28] THE RESEARCH CENTRE FOR GLOBAL GOVERNANCE (RCGG). UFRGS. A Sinopse do Reator a Leito Fixo. Disponível em < **http://www.rcgg.ufrgs.br** >. Acesso em: 25 agosto 2005.

ANEXO I – ESTUDO DE CASO 1

1. Exemplo de uso de óleos vegetais na geração de energia elétrica [2]

Carauari, 16/05/2000 - A comunidade de São Roque, localizada no município de Carauari, a cerca de 800 km a sudoeste de Manaus, no Amazonas, realiza este ano uma experiência piloto, substituindo o diesel por óleo de andiroba, em um gerador de energia de 144 kVA, especialmente adaptado. A andiroba é uma árvore relativamente abundante nas várzeas do rio Juruá, de cujas sementes tradicionalmente se extraem óleo para produção de sabão e sabonete caseiro. O uso em motores, no lugar do diesel, isso devido a uma nova tecnologia de extração do óleo, 50% mais produtiva, e de processos de depuração, ainda em fase de testes. A adaptação no é apenas no sistema de pré-aquecimento e foi feita na Alemanha. O motor foi doado pela organização não-governamental Biomass Users Network. O custo de produção do óleo de andiroba está entre R$ 1,00 e 1,50 / litro, enquanto o diesel aqui é comprado a R$ 0,85, mas a alternativa pode ser uma solução para comunidades muito isoladas, que hoje dependem de longas viagens de barco para obter o diesel dos geradores de energia e motores de popa das canoas. A diferença fica menor se tirar o subsídio do diesel e considerar que a queima do óleo de andiroba não produz óxidos de enxofre (causadores da chuva ácida) e não há emissão de carbono (porque o crescimento da árvore seqüestra o carbono emitido na queima do óleo). O projeto de pesquisa já tem 3 anos e vem atraindo a atenção dos órgãos financiadores de pesquisas, como o Conselho Nacional de Pesquisas Científicas e Tecnológicas, CNPq, e mesmo da Agência Nacional de Energia Elétrica, ANEEL. Este ano, a comunidade de São Roque aumentou a capacidade de produção de 60 para 450 kg de andiroba por hora, o que rende aproximadamente 150 litros de óleo por hora e equivale ao processamento de 60 toneladas de sementes por safra. Para os ribeirinhos de toda a várzea do Juruá, a venda das sementes de andiroba para uma futura usina de processamento de óleo é tida como uma das poucas saídas para a atual estagnação econômica da região. A ainda o aproveitamento da torta de andiroba (casca e polpa após a retirada do óleo) para a fabricação de velas e sprays repelentes de mosquitos. Além de utilizar um resíduo, esses repelentes não são tóxicos para o homem, como os de origem sintética. A pesquisa sobre as propriedades repelentes da andiroba é da Fundação Osvaldo Cruz e já existem indústrias colocando estas velas no mercado [2].

ANEXO II – ESTUDO DE CASO 2

1. Comunidade isolada terá energia gerada por tecnologia de ponta

Arixi, 10/12/2004 – Levar energia elétrica, produzida com tecnologia de ponta, para uma comunidade no meio da Amazônia. Este é o objetivo do Projeto Celcomb – Produção de Energia Alternativa a partir de Células a Combustível e Gás Natural no Estado de Amazonas, que prevê o abastecimento da comunidade isolada de Arixi, localizada no município de Anamã, no Amazonas. A energia será gerada a partir da implantação de um sistema Reformador de Gás Natural / Purificador de Hidrogênio / Célula a Combustível .

O desenvolvimento dessa tecnologia tem sido objeto de um grande esforço envolvendo os principais centros de pesquisa nacionais. Esse sistema produz o hidrogênio a partir do processo de reforma do gás natural e, através de uma reação química na célula a combustível, gera energia elétrica. A célula a combustível é um equipamento que converte hidrogênio e oxigênio (do ar) em energia elétrica, água e calor.

O projeto, a ser implementado em dois anos, envolve inicialmente a análise sócio-econômica e ambiental da região em que vive a comunidade, assim como estudos técnicos do sistema reformador de gás natural, seguidos da construção do equipamento e aquisição de uma célula a combustível de 5 kW. Após sua instalação, uma equipe técnica formada pelos próprios habitantes da comunidade receberá instruções para operação e manutenção do equipamento. Posteriormente, haverá o acompanhamento do sistema.

A comunidade de Arixi

A escolha da comunidade de Arixi para o desenvolvimento do projeto se deu pelo fácil acesso ao gás natural, matéria-prima a ser utilizada, já que Anamã está localizada entre Manaus e o município de Coari, por onde passa o gasoduto proveniente da reserva de Urucu. Atualmente, segundo a prefeita de Anamã, Esmeralda Moura, os 600 habitantes de Arixi contam com o fornecimento de energia elétrica apenas no período das 18h às 22h30, através de um gerador diesel. Além do alto consumo do combustível (14 litros por hora) os moradores enfrentam dificuldades para sua obtenção devido ao acesso a Anamã ser feito unicamente por barcos e

canoas voadeiras, o que também dificulta a manutenção do sistema, que sofre constantes interrupções.

Financiado pelo Ministério de Minas e Energia e pelo Fundo Setorial CT-Energ, o projeto surgiu através de uma parceria entre o Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético (Nipe), o Núcleo de Estudos e Pesquisas Ambientais (Nepam), o Laboratório de Hidrogênio do Instituto de Física (LH2), todos pertencentes à Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), com o Departamento de Eletricidade da Universidade Federal do Amazonas.

De acordo com Lucia da Costa Ferreira, coordenadora do Nepam, a comunidade participa diretamente das decisões sobre o uso da energia alternativa. O principal benefício é a diminuição da dependência do óleo diesel, que possui um custo elevado, de difícil transporte e altamente poluente. Além disso, os investimentos em equipamentos coletivos fortalecem a organização social e comunitária e propiciam a significativa melhoria na qualidade de vida, produtividade e renda, sem aumentar a demanda por recursos naturais.

"Este projeto irá evidenciar a possibilidade de conciliar as necessidades energéticas de uma comunidade isolada, a partir da utilização do gás natural existente, com a tecnologia do futuro que são as células a combustível. Desta forma, é possível melhorar a realidade sócio-econômica da população e atender a necessidade de redução dos impactos ambientais com a produção de energia elétrica", destaca o coordenador do projeto, Carlos Alberto Figueiredo, professor da Universidade Federal do Amazonas.

Com a experiência no Amazonas, espera-se obter uma nova alternativa para o suprimento de energia elétrica em localidades isoladas. Segundo o Ennio Peres da Silva, chefe do Laboratório de Hidrogênio e coordenador do Nipe, "a possibilidade do uso de recursos energéticos locais e também de fontes renováveis, como o etanol, que pode ser utilizado no lugar do gás natural, significa uma nova alternativa tecnológica a ser considerada no atendimento das comunidades isoladas do Sistema Elétrico Brasileiro".

ANEXO III – ESTUDO DE CASO 3

1. Painéis Fotovoltaicos melhoram nível de vida no interior do Ceará [12]

O sol continua a iluminar durante a noite as 42 casas da comunidade de Irapuá, em Pentecoste (Ceará), a 197 quilômetros de Fortaleza. A energia solar é captada em painéis fotovoltáicos que fornecem 40 Watts a cada casa, suficientes para acender duas lâmpadas fluorescentes de 20 Watts. Os painéis atendem também a uma escola, iluminação pública com sete postes, e mantêm cheias cinco caixas d'água com 6 mil litros cada, através de um sistema de bombeamento com vazão de 5,9 metros cúbicos/hora.

Se o morador acender somente uma das lâmpadas, poderá ligar simultaneamente um aparelho de TV preto e branco de 12 polegadas, ou um sistema de som. Maria Feliz Menezes, moradora numa das nove casas geminadas que oferecem a única característica de rua a Irapuá, foi entrevistada enquanto assistia ao jornal na TV numa das seis estações que tem para sintonizar

Das nove casas geminadas, somente uma não dispõe de TV. Antes da utilização de painéis de energia solar, Maria Feliz disse que, ao contrário, em apenas uma delas existia aparelho de televisão — a bateria não durava uma semana, e era recarregada a dois quilômetros de distância, em Canafístula mediante pagamento. Antes, a água vinha do Rio Canindó, a mais de um quilômetro, carregada nos ombros. Ela é a moradora mais próxima do novo chafariz; além da água com fartura até para o banho das crianças, foi construída uma lavandeira e criada uma horta comunitária.

O marido de D. Maria, José Pascoal, é o responsável pela horta — uma área verde com 50 metros quadrados com pés de cebola, acerola, limão, coco, ba-nana, goiaba, laranja e tangerina. Um oásis na época da seca, a horta ajuda inclusive a abastecer a merenda escolar da Escola de Primeiro Grau Nossa Senhora da Conceição (que dispõe de dois painéis fotovoltaicos) onde os adultos tiveram aula de alfabetização à noite.

Antônio Carlos Vieira

Das nove casas geminadas, somente uma não possui TV.

Iluminação beneficia 4 mil pessoas

Embora na escola exista um aparelho de TV e os moradores da comunidade assistam aos jogos de futebol, as aulas foram suspensas por falta de professores, disse Maria Elzi de Freitas Fontes, que leciona na primeira série.

O sistema de bombeamento fotovoltaico e a iluminação com energia solar beneficiam aproximadamente 4 mil pessoas em 15 localidades do Ceará, distantes até três quilômetros da rede de energia convencional. Este projeto foi executado pela Companhia Energética do Ceará (Coelce) de 1990 a 1994, em convênio com o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Cepel), o *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* e a Agência de Cooperação Técnica da Alemanha (GTZ). Em 14 comunidades, onde vivem 3.691 pessoas, foram utilizados sistemas para bombeamento de água e iluminação. Jericoacoara, no litoral norte do Ceará, onde moram 1.250 pessoas, recebeu o maior sistema de bombeamento fotovoltaico do País, que fornece 70 mil litros de água por dia.

A Horta, uma área verde com 50 m², é um oásis na época de seca e ajuda, inclusive a abastecer a merenda escolar

Face à possibilidade de eletrificação da vila, é intenção da Coelce manter o sistema de bombeamento de água com painéis fotovoltaicos em Irapuá. "Triste de nós se não fosse esse poço", disse Eunice Brasil ao apregoar a qualidade da água para lavar roupa e os pratos. "Graças a Deus, nossa energia nunca *deu o prego*. Só troquei duas lâmpadas em três anos", enfatizou.

A energia solar melhorou a vida social em Irapuá. "Antes dava sete da noite, a escuridão era grande, e a gente já estava trancado em casa. Agora, tem movimento, os amigos vêm nos visitar, disse Maria da Penha de Souza, quatro filhos.

A agente de saúde Cirene Cavalcante da Costa, 32 anos, cinco filhos, observou, por sua vez, que depois da energia solar diminuíram os casos de diarréia e doenças de pele nas crianças: (— Antigamente, eu saia com um tubo de pomada, e voltava sem nada. A água ficava distante e levava tempo para ir buscar. Com água mais fácil, as pessoas podem cuidar melhor da higiene) - explicou. A missão da agente de saúde é visitar as residências para orientar gestantes, nutrizes e crianças nos cuidados com a saúde, higiene e tratamento da água.

Segundo Socorro Luz, 42 anos, "antigamente as crianças adoeciam com verminoses e diarréia, porque até o banho era difícil. As mães precisavam buscar água longe e, por isso, economizavam. Agora isso não acontece". Ela acrescentou que "com a TV as pessoas evoluíram, adquiriram mais conhecimentos". Socorro Luz discorda quando dizem que a TV deseduca. "Acho que isso depende das pessoas. Agora, acontece uma coisa do outro lado do mundo e logo ficamos sabendo".

No distrito vizinho de Cacimbas (a três quilômetros de Irapuá), 23 casas e uma escola têm painéis de energia solar, também usados nos poços comunitários com caixas d'água de 6 mil litros - que garantem o abastecimento e permitem irrigar as hortas. Roberta Moreira da Costa, 12 anos, disse que para estudar de noite a nova iluminação "é melhor e não estraga a vista, como as lamparinas".

Matriculada na oitava série da Escola Municipal, ela tem aulas pela TV acompanhada por uma orientadora pedagógica (escola tem professores até a quarta série; a partir daí, as aulas são dadas pela TV, que funciona mediante a utilização de energia solar). O pai de Roberta, Antonio Valdir Moreira da Costa, 42 anos, agricultor, ressaltou: "em Cacimbas, quando tinha um catavento a água era pouca mas agora vem carro de longe buscar com tambores de 200 litros".

Segundo Valdir Costa, o segredo do sistema é que as pessoas precisam economizar na TV durante o dia, para que possam ter luz à noite, principalmente em dias nublados. "Tem que poupar" recomenda. Quando o sistema apresenta defeito — o que já ocorreu uma vez — ele telefona para Coelce que "depressa manda uma equipe endireitar".

Vizinho de Valdir, o agricultor Raimundo Menezes Carloto, 30 anos, dois filhos, disse que foi bom se ver livre "da lamparina velha que, quando não tinha gás, ficava no escuro", acrescentando: "Essa energia limpa foi a melhor coisa que já apareceu para nós nesses matos. Em mais de dois anos, nunca deu problema". Na sua casa, a energia solar é usada "somente para clarear".

Cacimbas e Irapuá são duas das 15 comunidades beneficiadas pelo sistema, que tira da escuridão 420 residências mediante a utilização de energia solar, e inclui 14 escolas, dois postos de saúde e 56 postes de iluminação pública. A parte de iluminação do sistema resultou de uma doação de US$ 593 mil do Departamento de Energia dos Estados Unidos, com execução e acompanhamento da Coelce.

Quanto aos equipamentos de bombeamento de água a energia solar fotovoltaica, foram doados pela Agência Alemã de Cooperação Técnica (GTZ). A Coelce orçou os custos de um sistema de bombeamento fotovoltaico de 700W nos moldes dos que estão instalados no Ceará para bombear água a uma altura de 35 metros, em condições de fornecer 11,9 metros cúbicos/dia, e chegou à seguinte conclusão:

Item	US$
Módulos fotovoltaicos	5,600.00
Inversor CC/CA de 1,5 kW	2,000.00
Moto-bomba submersa de 0,55 kW	1,800.00
Suportes e materiais diversos	900.00
Poços profundos de 50m	3,500.00
Reservatório e canalização	1,500.00
Instalação	3,000.00
Total	**18.300,00**

O custo do metro cúbico de água no sistema de bombeamento fotovoltaico implantado no Ceará é de US$ 0,72, inferior ao que é feito por moto-bomba diesel (US$ 0,99), e mais barato que o do carro-pipa, (US$ 2,29), segundo estudo comparativo feito pela Coelce. A implantação do sistema em 15 comunidades foi acompanhada de reuniões e distribuição de cartilhas contendo orientações sobre utilização da água na higiene, saúde da mulher e criação de hortas.

Na conclusão do relatório de avaliação do suprimento de água para pequenas comunidades via energia solar fotovoltaica (concluído este ano), constata-se que a tecnologia adotada "apresenta viabilidade técnica e econômica de implantação para comunidades não eletrificadas de até 110 residências agrupadas". O estudo acrescenta que o sistema "oferece disponibilidade operacional elevada e exigência de manutenção quase desprezível, além de não provocar danos ao meio ambiente".

Segundo o relatório "a indústria brasileira detém conhecimentos técnicos necessários para a fabricação de todos os componentes destinados a um sistema de bombeamento fotovoltaico; todavia, o interesse pela sua produção depende da existência de mercado". Após testar a tecnologia durante três anos, a Coelce concluiu que "estes sistemas são mais confiáveis do que bombas manuais, cataventos e moto-bombas diesel".

Flamínio Araripe

Projeto São José estimula o uso de renováveis

O Projeto São José, no Ceará, é um programa de apoio ao pequeno produtor rural que contribui na geração de empregos e renda para a população carente do interior. Esta iniciativa permite que as diversas Secretarias de Estado do Ceará apóiem o posicionamento dos Conselhos Municipais, com a participação majoritária dos beneficiários, e elaborem e analisem os subprojetos solicitados pelas comunidades rurais. Caso sejam aprovados, o Governo repassa os recursos correspondentes por intermédio de entidades representativas dos beneficiários, para que possam ser executados. A comunidade, por sua vez, oferece como contrapartida o trabalho e/ou materiais existentes localmente.

Outros modelos de projetos incluem: irrigação comunitária, piscicultura e caprinocultura

Entre os modelos de subprojetos disponíveis na Secretaria de Recursos Hídricos do Estado, destaca-se o sistema de abastecimento comunitário que inclui a perfuração e instalação de poços tubulares com chafariz e/ou lavanderia, com ou sem dessalinizador, com energia solar ou elétrica.

Outros modelos de projetos disponíveis em diversas secretarias, que apresentam grande potencialidade de utilização das energias solar e eólica incluem: irrigação comunitária, piscicultura, caprinocultura eletrificação de creches, postos de saúde e escolas mantidas por associações locais, fábricas comunitárias de gelo, entre outros.