



MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E SAÚDE

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE

**MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: IMPACTOS AMBIENTAIS E À
SAÚDE**

LARISSA MACHADO ELIAS

GOIÂNIA
2009



MESTRADO EM CIÊNCIAS
AMBIENTAIS E SAÚDE

UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS E SAÚDE

**MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA: IMPACTOS AMBIENTAIS E À
SAÚDE**

LARISSA MACHADO ELIAS

Orientador: Prof. Dr. Nelson Jorge da Silva Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Jean Marie Lambert

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde, da Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa da Universidade Católica de Goiás, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais e Saúde.

GOIÂNIA
2009

DEDICATÓRIA

A subida de mais um degrau em minha vida profissional deve-se à permissão de Deus, ao amor e compreensão de meu amado Cláudio, à dedicação infinita de meus queridos pais, Wanderlei e Divina, e ao apoio de minhas irmãs Wanessa e Thaíssa, e, principalmente, aos ensinamentos dos mestres Doutor Nelson Jorge Júnior e Doutor Jean Marie Lambert, aos quais dedico este trabalho.

RESUMO

A matriz energética brasileira é diretamente responsável pelo desenvolvimento econômico, tecnológico e científico do país. A diversidade da matriz energética de um país diminui os riscos de crises energéticas, uma vez que este não dependerá de uma única fonte de energia, mas uma complementar a outra. Diante desta importância, este trabalho visa analisar a MEB e respectivos impactos ao ambiente e à saúde. Assim, através da metodologia dedutiva, este trabalho aborda a divisão energética adotada pela MEB, ou seja, fontes renováveis e não-renováveis. As fontes renováveis são a biomassa, solar, eólica, geotérmica, oceânica e hidráulica. As fontes não-renováveis são o petróleo e seus derivados, carvão mineral, gás natural e urânio. Os impactos ao ambiente, à saúde e à sociedade diante da utilização das fontes energéticas que compõem a MEB foram identificados e analisados, destacando-se a importância dos Poderes Legislativo, Executivo e Judiciário para controlar os referidos impactos. Inquestionavelmente, todas as formas de energia geram, em menor ou maior escala, impacto sobre o ambiente e à saúde humana, primordial, assim, que estes três Poderes independentes e harmônicos trabalhem em sintonia, regulamentando, fiscalizando e aplicando a norma jurídica ao caso concreto a fim de viabilizar o preceito fundamental do artigo 225 da Constituição da República, ou seja, viver dignamente num ambiente ecologicamente equilibrado, sem abster-se, contudo, das comodidades disponibilizadas pela ciência e tecnologia.

Palavra Chave: Energia, impacto, ambiente, saúde.

ABSTRACT

The Brazilian energy matrix is directly responsible for economic development, technology and science in the country. The diversity of the energy matrix of a country decreases the risk of energy crisis, since it does not depend on a single energy source, but a further another. Given this importance, this work aims to analyze the MEB and its impacts on the environment and health. Therefore, through deductive methodology, this paper addresses the division adopted by MEB energy, into renewable and non-renewable. Renewable sources are biomass, solar, wind, geothermal, ocean and water. The non-renewable sources are the oil and its derivatives, coal, natural gas and uranium. The impacts to the environment, health and society before the use of energy sources that make up the MEB were identified and analyzed, emphasizing the importance of Legislative, Executive and Judiciary Powers to control those impacts. Unquestionably, all forms of generating energy, to a lesser or greater extent, can cause an impact on the environment and human health, primary, so that these three independent and harmonious Powers working in harmony, regulating, overseeing and implementing the legal standard to the case to accommodate the fundamental precept of Article 225 of the Constitution of the Republic, to live with dignity in a ecologically balanced environment, without refrain, however, the facilities available for science and technology.

Key words: Energy; impact, environment, health.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE ABREVIACÕES.....	x
1. INTRODUÇÃO	12
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1. Fontes não-renováveis da matriz energética.....	16
2.1.1. Histórico da utilização energética.....	18
2.1.2. Matriz energética brasileira	22
2.1.2.1. Noções básicas	22
2.1.2.2. Petróleo	26
2.1.2.2.1. Noções básicas	26
2.1.2.2.2. Produtos derivados do petróleo.....	28
2.1.2.2.3. O petróleo no Brasil.....	29
2.1.2.3. Gás Natural	32
2.1.2.3.1. Noções básicas	32
2.1.2.3.2. Gás natural e termelétricas	33
2.1.2.4. Carvão Mineral	33
2.1.2.4.1. Noções básicas	33
2.1.2.4.2. Carvão Mineral no Brasil	35
2.1.2.5. Urânio.....	36
2.1.2.5.1. Noções básicas	36
2.1.2.5.2. Energia Nuclear.....	37
2.1.2.5.2.1. Armas Nucleares	39
2.1.2.5.2.2. Lixo nuclear	40
2.1.2.5.2.3. Acidentes Nucleares.....	41

2.1.2.5.2.4. Energia Nuclear no Brasil.....	43
2.2. Fontes renováveis da matriz energética.....	45
2.2.1. Noções básicas	45
2.2.2. Energia Renovável no Brasil	47
2.2.3. Biomassa.....	48
2.2.3.1. Noções básicas	48
2.2.3.2. O uso da biomassa no Brasil.....	51
2.2.3.2.1. Derivados da cana-de-açúcar	51
2.2.3.2.1.1. Etanol	51
2.2.3.2.1.2. Bagaço e palha da cana-de-açúcar	53
2.2.3.2.2. Lenha e Carvão vegetal	55
2.2.3.2.3. Biodiesel.....	58
2.2.4. Energia Solar.....	59
2.2.4.1. Noções básicas	59
2.2.4.2. Tecnologias para o aproveitamento da energia solar.....	62
2.2.4.3. O uso da energia solar	63
2.2.5. Energia Eólica	64
2.2.6. Energia Geotérmica.....	67
2.2.7. Energia Oceânica.....	67
2.2.8. Energia Hidráulica	68
2.2.8.1. Energia hidráulica no Brasil.....	72
3. DISCUSSÃO	76
3.1. Petróleo e seus derivados	77
3.2. Carvão mineral	81
3.3. Urânio.....	82
3.4. Biomassa.....	84
3.5. Energia solar e eólica	87
3.6. Energia hidráulica.....	88
3.6.1. Impactos ambientais.....	88
3.6.2. Impactos sociais e à saúde	90
3.6.3. Legislação ambiental.....	93

4. CONCLUSÕES	98
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Consumo <i>per capita</i> por regiões – 2002.....	22
FIGURA 2. Taxas médias de crescimento anual da capacidade de energia renovável.....	46

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Evolução do consumo de energia primária por fonte (tonelada de equivalente de petróleo – tep)	21
TABELA 2. Quadro resumo da oferta interna de energia – Brasil	24
TABELA 3. Desempenho 2007 – Petróleo Brasileiro S/A – Petrobrás	30

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

AIEA – Agência Internacional de Energia Atômica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

ANP – Agência Nacional de Petróleo

BEN – Balanço Energético Nacional

BIG – Banco de Informações da Geração

CGH – Central Geradora Hidrelétrica

CHESF – Companhia Hidrelétrica do São Francisco

CEMAm – Conselho Estadual do Meio Ambiente

CNEN – Comissão Nacional de Energia Nuclear

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

COOPE – Coordenação dos Programas de Pós-graduação de Engenharia

ELETROBRÁS – Centrais Elétricas Brasileiras S/A

EIA – Estudo de Impacto Ambiental

EUA – Estados Unidos da América

US\$ - Dólar americano

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis

ICM – Instituto Chico Mendes

GJ – gigajoules

GLP – Gás liquefeito de petróleo

GW - gigawatts

Km³ - quilômetro cúbico

kv - quilovolts

LI – Licença de instalação

LO – Licença de operação

LP – Licença prévia

m³ - metros cúbicos

MW – Mega watts

OIE – Oferta interna de energia

OECD – Organization for Economic Co-operation and Development

PCH – Pequena Central Hidrelétrica

PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S/A

PRÓ-ALCÓOL – Programa brasileiro de álcool

PROCONVE – Programa de Controle da Poluição do Ar por Veículos Automotores

PROINFA – Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica

PWR – Pressurized water reactor

RAS – Relatório Ambiental Simplificado

RIMA – Relatório de Impacto Ambiental

SIN – Sistema Interligado Nacional

TEP – Toneladas equivalentes de petróleo

t/ha – tonelada por hectare

TWh – terawatts-hora

EU – União Européia

UHE – Usina Hidrelétrica

ÚNICA – União das Indústrias Canavieira de São Paulo

USP – Universidade de São Paulo

WWEA – World Wind Energy Association

1. INTRODUÇÃO

A Revolução Industrial, ocorrida no século XVIII, iniciou o processo de produção e consumo em massa. A evolução da tecnologia e da robótica concretizou esta situação, incentivando o ser humano a consumir infinitamente.

Produzir, consumir e desenvolver economicamente dependem intrinsecamente de energia. O “homem moderno” do século XXI prioriza o desenvolvimento econômico, tecnológico e científico, modificando seus valores, substituindo o “ser” pelo “ter”.

Observa-se, entretanto, que a sociedade não detém esta percepção. Acreditam que os recursos naturais são infindáveis e a única utilidade da natureza é servir o homem. Não analisam que o uso irracional e desmedido dos recursos ambientais pode trazer conseqüências trágicas para o globo.

Mudar a visão egoísta do ser humano é algo que condiz a sua própria existência. Fundamental, assim, compreender que o ambiente ecologicamente equilibrado representa viver dignamente: num local livre de toda e qualquer poluição e com saúde.

Não pretendemos aqui defender a preservação de um determinado espécime da fauna ou da flora, mas o respeito a todos estes, principalmente, ao *Homo sapiens*. Espécie esta que há muitos anos deixou de amar para destruir, abandonou o diálogo para brigar e abdicou de sorrir para vivenciar a depressão.

Demonstraremos, apenas, que algumas fontes energéticas possuem um custo muito elevado para a sociedade. Não se trata especificamente de dinheiro, mas de bens que são inalienáveis: sítios arqueológicos, diversidade biológica, a casa da família passada de geração para geração, a saúde humana...

Atuais, senão sábias, foram as palavras proferidas pelo Cacique Seattle, em 1855, em sua carta enviada ao presidente dos Estados Unidos:

“O grande chefe de Washington mandou dizer que quer comprar a nossa terra. O grande chefe assegurou-nos também da sua amizade e benevolência. Isto é gentil de sua parte, pois sabemos que ele não necessita da nossa amizade. Nós vamos pensar na sua oferta, pois sabemos que se não o fizermos, o homem branco virá com armas e tomará a nossa terra. O grande chefe de Washington pode acreditar no que o chefe Seattle diz com a mesma certeza com que nossos irmãos brancos podem confiar na mudança das estações do ano. Minha palavra é como as estrelas, elas não empalidecem.

Como pode-se comprar ou vender o céu, o calor da terra? Tal idéia é estranha. Nós não somos donos da pureza do ar ou do brilho da água. Como pode então comprá-los de nós? Decidimos apenas sobre as coisas do nosso tempo. Toda esta terra é sagrada para o meu povo. Cada folha reluzente, todas as praias de areia, cada véu de neblina nas florestas escuras, cada clareira e todos os insetos a zumbir são sagrados nas tradições e na crença do meu povo. Sabemos que o homem branco não compreende o nosso modo de viver. Para ele um torrão de terra é igual ao outro. Porque ele é um estranho, que vem de noite e rouba da terra tudo quanto necessita. A terra não é sua irmã, nem sua amiga, e depois de exaurí-la ele vai embora. Deixa para trás o túmulo de seu pai sem remorsos. Rouba a terra de seus filhos, nada respeita. Esquece os antepassados e os direitos dos filhos. Sua ganância empobrece a terra e deixa atrás de si os desertos. Suas cidades são um tormento para os olhos do homem vermelho, mas

talvez seja assim por ser o homem vermelho um selvagem que nada compreende.

Não se pode encontrar paz nas cidades do homem branco. Nem lugar onde se possa ouvir o desabrochar da folhagem na primavera ou o zunir das asas dos insetos. Talvez por ser um selvagem que nada entende, o barulho das cidades é terrível para os meus ouvidos. E que espécie de vida é aquela em que o homem não pode ouvir a voz do corvo noturno ou a conversa dos sapos no brejo à noite? Um índio prefere o suave sussurro do vento sobre o espelho d'água e o próprio cheiro do vento, purificado pela chuva do meio-dia e com aroma de pinho. O ar é precioso para o homem vermelho, porque todos os seres vivos respiram o mesmo ar, animais, árvores, homens. Não parece que o homem branco se importe com o ar que respira. Como um moribundo, ele é insensível ao mau cheiro.” (Sirvinskas, 2005).

Este trabalho almeja discutir sobre a matriz energética brasileira, bem como sua divisão em fontes renováveis e não-renováveis. Destacaremos, outrossim, as fontes renováveis, especialmente, a energia hidráulica, a qual é responsável por mais de 85% da oferta interna de energia elétrica no Brasil. Foram analisados os aspectos positivos e negativos advindos da hidroeletricidade a fim de demonstrar se esta é ou não uma forma de energia limpa, ou seja, fonte energética viável ao ambiente e à saúde humana. Assim, este estudo aborda, em breve análise, a matriz energética brasileira, verificando-se quais são as fontes não-renováveis e renováveis, e, posteriormente, detém-se sobre a energia hidráulica no Brasil.

No desenvolvimento deste trabalho foi utilizada a metodologia dedutiva-descritiva, qualitativa e compilativa, através da análise de obras literárias, artigos científicos, dados atualizados e certificados por instituições e órgãos responsáveis pelo estudo da matriz energética, principalmente, o banco de dados da Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL e Agência Internacional de Energia - AIE.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Fontes não-renováveis da matriz energética

O avanço do desenvolvimento industrial, tecnológico e econômico, bem como o aumento brusco da população no globo gerou diversos problemas nos âmbitos social, ambiental e da saúde. Os engenhos da ciência ensejaram inúmeras comodidades para a vida humana. Viver bem, atualmente, respalda-se no mundo do “ter”, esquecendo-se do “ser”. O melhor carro, a maior casa, as mais caras grifes de roupas, o perfume da moda, o infinito “ter” impõe ao homem maiores jornadas de trabalho e menos tempo dedicado ao intelecto, à família, à verdadeira amizade e ao lazer.

O consumo desenfreado e a exploração da mão-de-obra são as almas do capitalismo, que ampliam as desigualdades sociais e econômicas. A energia é o principal insumo deste desenvolvimento econômico respaldado na produção em massa, que busca todos os dias ampliar seu mercado consumidor. Nos primórdios da humanidade, a energia necessária para um indivíduo viver bem era 2.000 kcal/dia. Hodiernamente, as necessidades básicas de uma pessoa consomem 250.000 kcal/dia (Reis, 2005).

O aumento abrupto da demanda energética, bem como da população global, enseja um grave problema: insuficiência das fontes de energia para manter as facilidades da vida humana e o desenvolvimento econômico. Neste panorama, a comunidade científica busca a ampliação da matriz energética para manter a atual “qualidade” de vida.

Matriz energética é conceituada como uma representação quantitativa dos recursos energéticos fornecidos por um determinado país, ou seja, toda energia

disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos. A matriz energética de um determinado país (Estado, região, ou qualquer contexto local), em suas perspectivas de evolução ao longo do tempo, é um instrumento fundamental para a execução de um planejamento energético adequado (Reis, 2005).

A matriz energética brasileira divide-se em fontes de energia não renovável e renovável. São fontes de energia não renovável o petróleo e seus derivados, o gás natural, o carvão mineral e a nuclear. A energia proveniente da cana-de-açúcar e seus derivados, a hidráulica, a decorrente da queima de lenha e carvão vegetal são consideradas fontes de energia renovável. No Brasil, 45% da energia ofertada é renovável, diferenciando-se dos demais países, uma vez que a média mundial desta oferta é 12,7% (Brasil, 2008) (Goiás, 2008).

O homem, desde os primórdios, utiliza energia para prover seu sustento, lazer e abrigo. Ao longo da história, a humanidade sempre buscou novas formas de energia a fim de fomentar o desenvolvimento econômico, ampliando rapidamente os lucros e reduzindo drasticamente os custos. “Cinquenta anos em cinco”, o lema da campanha à Presidência da República de Juscelino Kubitschek bem ilustra a perspectiva do mundo na primeira metade do século XX: desenvolvimento econômico imediato, independentemente, dos impactos sociais e ambiental por ele causados (Fiorillo, 2005).

No século XXI, a busca incansável por novas formas de energia tem um novo foco, qual seja, desenvolvimento econômico atrelado à proteção do ambiente e da saúde, ou seja, desenvolvimento sustentável. Teoricamente, esta é uma bela combinação, mas na prática sua concretização encontra barreiras de

ordem econômica, educacional e, até mesmo, política. Desenvolvimento sustentável real é nosso almejo. Por isso, buscaremos através deste trabalho demonstrar a fonte energética que possui a melhor relação custo-benefício quanto aos aspectos econômico, ambiental e de proteção à saúde.

2.1.1. Histórico da utilização energética

O ser humano sempre precisou de energia para viver. No começo da humanidade, esta energia era proveniente da força dos músculos humanos, ou seja, força endossomática, e usada exclusivamente em prol de sua sobrevivência. Nesta fase, a energia consumida era aproximadamente 2.000 kcal/dia.

Da era do homem caçador até meados do século XVIII, outras fontes de energia passaram a ser utilizadas, quais sejam, madeira, força animal e humana, rodas d'água e de vento. A madeira e o carvão mineral eram os combustíveis usados para cozer alimentos e aquecer as residências em locais de clima frio. Posteriormente, estas fontes energéticas fomentaram as indústrias de refino e formatação de utensílios de metal, cerâmica, tinturaria, vidraria e cervejaria.

Durante milênios, a tração animal foi a principal fonte energética utilizada no transporte e na agricultura. Esta energia mecânica foi intensamente explorada até a primeira metade do século XVIII. Atualmente, alguns países ainda utilizam da força de animais domesticados, tais quais, bois, cavalos, búfalos, camelos, no transporte de pessoas e mercadorias, bem como na aragem de terras, moagem de grãos e bombeamento de água.

A Europa e, posteriormente, a América exploraram a mão-de-obra escrava até o século XIX. A força do trabalho escravo era usada, especialmente, na agricultura e no serviço doméstico. Os cursos d'água, desde os primeiros séculos

desta era, representam fonte de energia. Os “moinhos hidráulicos” ou rodas d’água eram responsáveis pela trituração e forja. O vento também passou a ser uma forma de energia cujo aprimoramento ocorreu após o século X, principalmente, nos Países Baixos e Europa Ocidental. A energia cinética dos ventos era usada para moagem de grãos, nas serrarias dos estaleiros navais, nas bombas para secagem de lagos, na impulsão de embarcações e nas bombas de água para irrigação.

Na primeira metade do século XIX, o consumo energético humano era em torno de 40.000 kcal/dia (Reis, 2005). O célere desenvolvimento científico e tecnológico aumentou a demanda de energia ao longo do século XIX, cujo consumo médio anual per capita, na segunda metade deste, alcançou 80.000 kcal/dia (Reis, 2005). Nesta época de sofisticadas máquinas a vapor, as fontes energéticas eram o carvão mineral e o petróleo. O carvão era responsável por 53% no consumo de energia primária total, predominando na matriz energética mundial.

O petróleo começou a ser, comercialmente, explorado em 1853 na Pensilvânia, Estados Unidos da América. Em pouco tempo, os avanços nas técnicas de perfuração e refino e o impulso dado pela indústria automobilística fizeram com que este precioso recurso energético tomasse a dianteira do carvão mineral (Reis, 2005). O querosene foi o primeiro derivado do petróleo a ser comercializado. Diesel e gasolina surgem em 1913 diante do desenvolvimento da indústria automobilística. O gás natural, usado desde a Antiguidade, teve seu mercado consumidor ampliado no século XX face à utilização de canos de ferro fundido para facilitar seu transporte. Este gás era empregado na produção de

eletricidade. No início do século XX, o avanço tecnológico e industrial proporcionou a ampliação do uso da eletricidade. A geração de eletricidade provinha de usinas térmicas e hidrelétricas. A expansão industrial ensejou a construção de redes elétricas a fim de atender novas regiões.

Todas as citadas fontes de energia eram utilizadas, ocasionando certa abundância em seu fornecimento e, conseqüentemente, baixo preço. Até a década de 60, a expressão racionalização energética não existia no vocabulário da sociedade capitalista. O cenário energético mudou radicalmente na década de 70 diante da árdua realidade da escassez energética. Em 1973 e 1979, o fornecimento do petróleo entra em crise. Os dois choques do petróleo ensejaram a diminuição da produção petrolífera e aumento do preço do barril deste combustível.

Na tentativa de driblar esta tempestade, os países buscaram desenvolver novas fontes energéticas e instituir políticas públicas de racionalização de energia para minimizar a crise então vivenciada. Reis afirma que “É possível citar algumas políticas, tais como a diversificação de seus supridores externos; a substituição do petróleo por outras fontes de energia como o carvão mineral, a energia nuclear; e a reestruturação de seus parques industriais. Tais políticas resultaram num desacoplamento entre consumo de energia e atividade econômica: entre 1973 e 1985, o consumo total de energia *per capita* dos países ricos membros da Organização para Cooperação Econômica e Desenvolvimento (OECD) diminuiu 6%, enquanto o Produto Nacional Bruto (PNB) aumentou 21%” (Tabela 1) (Reis, 2005).

Tabela 1. Evolução do consumo de energia primária por fonte (tonelada de equivalente de petróleo – tep).

Ano	Carvão	Petróleo	Gás Natural	Eletricidade Primária	Total Comercial	Madeira e outros	Total
1700	3	--	--	--	3	144	147
1750	5	--	--	--	5	180	185
1800	11	--	--	--	11	217	228
1850	48	--	--	--	48	288	336
1900	506	20	7	1	534	429	963
1950	971	497	156	29	1.653	495	2.148
1973	1.563	2.688	989	131	5.371	670	6.041
1989	1.226	3.095	1.652	350	7.363	744	8.107

Fonte: Economia Mundial de Energia (Martin, 1990).

A cômoda vida atual exige uma alta demanda energética. O consumo mundial de energia cresceu, aproximadamente, 1,41% ao ano no período de 1990 a 2001. Nos países desenvolvidos, o consumo de energia atual, por pessoa, alcança o patamar de 250.000 kcal/dia. Na evolução da humanidade, em pouquíssimo tempo, este consumo saltou de 2.000 para 250.000 kcal/dia.

De se dizer, ainda, que há uma disparidade entre a distribuição e o consumo energético, uma vez que os países ricos, que têm 30% da população mundial, consomem cerca de 70% da energia comercializada no mundo enquanto os países em desenvolvimento usam apenas 30% desta energia. Segundo dados da EIA / Official Energy Statistics from US Government (2002), a América do Norte foi a região que mais consumiu energia no mundo, ou seja, 6,41 toneladas equivalentes de petróleo per capita. Diferentemente dos países da América Central e do Sul, os quais usaram 1,12 toneladas equivalente de petróleo *per capita* (Figura 1).

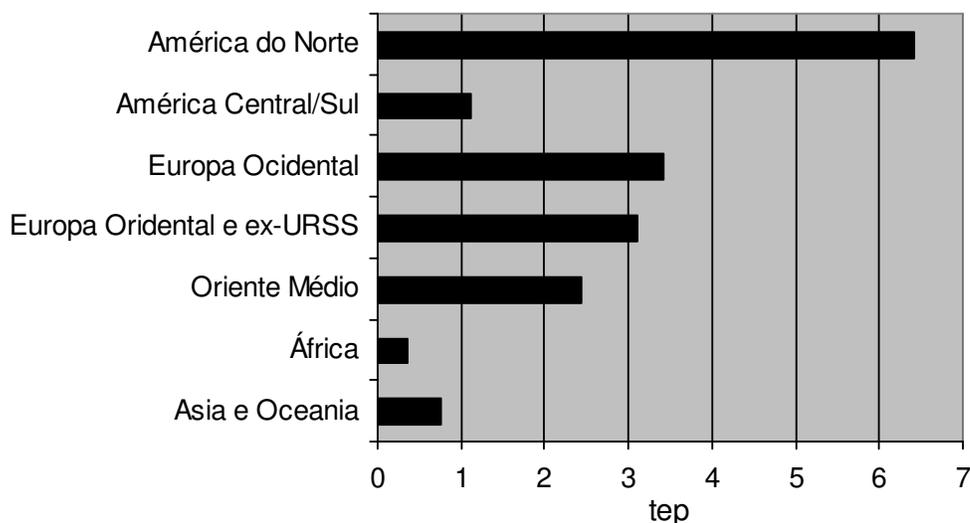


Figura 1. Consumo *per capita* por regiões – 2002 (Reis, 2005).

O abastecimento deste mercado será a maior problemática a ser enfrentada nos próximos anos, décadas, quiçá séculos. Drama este que se agrava quando sopesamos o fornecimento de energia com proteção ao ambiente, incluindo neste complexo mundo chamado natureza, o ser humano sob os aspectos social e de proteção à sua saúde.

2.1.2. Matriz energética brasileira

2.1.2.1. Noções básicas

A matriz energética procura representar, ao longo do tempo, quantitativa e ordenadamente, todas as relações entre os energéticos com sua cadeia energética, desde a utilização dos recursos naturais até os usos finais da energia. Este estudo é um instrumento fundamental para a execução de um planejamento

correto e para o estabelecimento de políticas e estratégias, quando elaborada para cenários futuros, em geral de 20 a 25 anos (Reis, 2005).

O Ministério de Minas e Energia, órgão do Poder Executivo federal, faz anualmente o Balanço Energético Nacional (BEN) a fim de documentar o consumo, a produção e a comercialização de todas as espécies energéticas a nível nacional. O BEN é um instrumento fundamental para conhecer atentamente a matriz energética nacional, bem como projetar políticas públicas no setor energético. O aumento da demanda energética, a perda de energia em seu transporte e armazenamento e os problemas ambientais ensejam estudos eficazes na busca de um melhor aproveitamento da energia.

A energia que movimenta a indústria, o transporte, o comércio e demais setores econômicos do país recebe a denominação de Consumo Final no BEN. Essa energia, para chegar ao local de consumo, é transportada por gasodutos, linhas de transmissão, rodovias, ferrovias etc., processos esses que demandam perdas de energia. Por outro lado, a energia extraída da natureza não se encontra nas formas mais adequadas para os usos finais, necessitando, na maioria dos casos, passar por processos de transformação (refinarias que transformam o petróleo em óleo diesel, gasolina, e outros derivados, usinas hidrelétricas que aproveitam a energia mecânica da água para produção de energia elétrica, carvoarias que transformam a lenha em carvão vegetal e outros). Esses processos também demandam perdas de energia. No BEN, assim como nos balanços energéticos de outros países, a soma do consumo final de energia, das perdas na distribuição e armazenagem e das perdas nos processos de transformação recebe a denominação de Oferta Interna de Energia (OIE),

também, denominada de demanda total de energia. A estrutura da OIE por energético é comumente chamada de Matriz Energética (Brasil, 2007).

No Brasil, em 2007, a demanda total de energia atingiu 238,3 milhões de tonelada equivalente de petróleo (tep). O consumo interno de energia aumentou 5,4% do ano de 2006 para 2007 (Tabela 2) (Brasil, 2007).

Tabela 2. Quadro resumo da oferta interna de energia – Brasil.

Especificação	mil tep		07/06 %	Estrutura %	
	2006	2007		2006	2007
Não Renovável	124.207	129.065	3,9	54,9	54,2
Petróleo e Derivados	85.287	89.224	4,6	37,7	37,4
Gás Natural	21.716	22.239	2,4	9,6	9,3
Carvão Mineral e Derivados	13.537	14.340	5,9	6,0	6,0
Urânio (U308) e Derivados	3.667	3.263	-11,0	1,6	1,4
Renovável	101.880	109.263	7,2	45,1	45,8
Hidráulica e Eletricidade	33.537	35.506	5,9	14,8	14,9
Lenha e Carvão Vegetal	28.589	28.644	0,2	12,6	12,0
Derivados da Cana-de-açúcar	32.999	37.508	13,7	14,6	15,7
Outras Renováveis	6.754	7.606	12,6	3,0	3,2
Total	226.086	238.328	5,4	100,0	100,0

Fonte: Resenha Energética 2007. (Disponível em www.mme.gov.br)

A matriz energética do Brasil possui duas espécies de fonte primária de energia: renováveis e não renováveis. Fontes renováveis são aquelas cuja

reposição pela natureza acompanha o ritmo de utilização, como a hidráulica, cana-de-açúcar e derivados, lenha e carvão vegetal, solar e eólica. Por outro lado, a energia não renovável é passível de esgotamento por ser utilizada numa velocidade bem maior que os milhares de anos necessários para sua formação. Nesta categoria está o petróleo e seus derivados, gás natural, carvão mineral e nuclear são formas energéticas não renováveis. Da OIE total, 45,8% correspondem à oferta de energia renovável. Dado este importante, pois esta proporção é uma das mais altas do mundo, contrastando significativamente com a média mundial, de 12,7%, e mais ainda com a média dos países da OECD de apenas 6,2%.

Nos últimos trinta anos, as matrizes energéticas do Brasil e do mundo apresentaram significativas alterações estruturais. No Brasil, houve forte aumento na participação da energia hidráulica e do gás natural. Já nos países da OECD, houve forte incremento da energia nuclear, seguido do gás natural.

No Brasil, até 1979, o petróleo e seus derivados tinham a maior participação na matriz energética, atingindo 50,4%. De 1973 a 2007, o país, seguindo a tendência mundial, desenvolveu outros energéticos a fim de substituir o petróleo e seus derivados. Aumentou então naquela época o uso da hidreletricidade e de derivados da cana (álcool carburante e bagaço para fins térmicos). Neste panorama, houve uma redução de 8,2% do uso de petróleo.

Em 2007, a demanda por energia renovável no Brasil cresceu em todas as fontes. Pela primeira vez a participação da energia “hidráulica e eletricidade” foi superada pelos “derivados da cana-de-açúcar” na Matriz Energética Brasileira – MEB. Os derivados da cana-de-açúcar têm participação de 15,7% na MEB e de

34,3% nas fontes renováveis, ultrapassando, assim, respectivamente, os 14,9% e 32,5% da “hidráulica e eletricidade”. A lenha apresentou queda na participação da MEB, de 12,6 para 12%.

O sistema elétrico do Brasil é de grande porte, respaldado, principalmente, na energia hidráulica. Em 2006, a energia proveniente da água era responsável por 83,19% do parque gerador elétrico brasileiro (Brasil, 2008). No ano de 2007, a energia hidráulica continuou na supremacia da matriz de oferta de energia elétrica neste país, alcançando o patamar de 85,2% (Brasil, 2007).

A versão preliminar da OIE, no âmbito da eletricidade, do país, em 2007, mostra crescimento de 5,2% em relação a 2006, atingindo um montante de 484,5 TWh, incluindo 45,2 TWh de geração de auto produtores (9,3% de participação) e 38,5 TWh de importação líquida (7,9%). Na composição da matriz de oferta, os destaques ficam com os incrementos da geração hidráulica, de 7,3%; da biomassa, de 12,3% e dos derivados de petróleo, de 10,4%. Os decréscimos na oferta ficam por conta do carvão mineral (10,7%), energia nuclear (10,5%) e gás natural (3,6%) (Brasil, 2007).

2.1.2.2. Petróleo

2.1.2.2.1. Noções Básicas

Petróleo, do latim *petroleum* (*petrus* = pedra e *oleum* = óleo), é uma substância oleosa, inflamável, encontrado no subsolo junto à água e o gás natural, conforme artigo 6º da Lei nº 9.478/97. O petróleo é uma mistura que contém entre 11 e 13% de hidrogênio e entre 83 e 86% de carbono. Esta fonte de energia não renovável é encontrada nos poros das rochas, chamadas de rochas reservatórios, cuja permeabilidade permite a sua produção, Permeabilidade e porosidade são duas

propriedades características de rochas sedimentares, assim, as bacias sedimentares são os principais locais de ocorrência. Na natureza as rochas sedimentares são as mais porosas, e quando possuem permeabilidade elevada, formam o par ideal para a ocorrência de reservatórios de petróleo economicamente exploráveis (Reis, 2005).

A formação do reservatório de petróleo ocorre quando no caminho para a superfície há uma estrutura impermeável, armadilha, confinando-o e o impedindo de sair. Este reservatório é construído pela natureza ao longo de milhares de anos. O petróleo bruto possui em sua composição uma cadeia de hidrocarbonetos, cujas frações leves formam os gases e as frações pesadas o óleo cru. A distribuição destes percentuais de hidrocarbonetos é que define os diversos tipos de petróleo existentes no mundo, (Reis, 2005).

Os óleos também são classificados em razão do teor de enxofre. Óleos doces (*sweet*) são aqueles que possuem menos de 0,5% de conteúdo de enxofre em sua massa. Enquanto que os óleos ácidos (*sour*) possuem mais de 0,5% de enxofre. O enxofre é o elemento químico responsável pela chuva ácida, por isso os óleos doces são preferidos (Reis, 2005). A intensificação do processo de industrialização, destacando-se a automobilística, ensejou o aumento na demanda de petróleo. Conseqüentemente, o petróleo passa a ser uma moeda de troca, enriquecendo os países detentores destas jazidas.

Em 2007, o consumo de energia primária no mundo aumentou em 2,4% (Statistical Review of World Energy – BP, 2008). O consumo de petróleo no globo aumentou 1,1% no referido ano, ou seja, um milhão de barris por dia. Na região

da Ásia-Pacífico, este consumo majorou em 2,3%. O valor do barril de petróleo elevou de US\$ 50 em janeiro de 2007 para US\$ 96 em dezembro do referido ano.

2.1.2.2.2. Produtos derivados do petróleo

O petróleo é um produto de grande importância mundial. Os setores de transporte e industrial dependem deste insumo para prover suas atividades. O petróleo bruto contém centenas de diferentes tipos de hidrocarbonetos misturados e para separá-los é necessário refinar o petróleo, ou seja, separar as frações desejadas, processá-las e industrializá-las. Segundo Reis (2005), os produtos derivados do petróleo podem ser reunidos nos seguintes grupos:

a) combustíveis: gás de petróleo - usado para aquecer, cozinhar, fabricar plásticos; gasolina - combustível, líquido, de motores; querosene - combustível líquido para motores de jatos e tratores, além de ser material inicial para a fabricação de outros produtos; petróleo pesado ou óleo combustível - líquido usado como combustível industrial, também serve como intermediário na fabricação de outros produtos. É aplicado em equipamentos destinados à geração de energia ou calor como caldeiras, fornos, aquecedores.

b) petroquímica: nafta - intermediário que irá passar por mais processamento para produzir gasolina; gasóleo ou diesel destilado - é um líquido usado como diesel e óleo combustível, além de ser um intermediário para fabricação de outros produtos.

c) óleos lubrificantes: óleo lubrificante: trata-se de líquido usado para óleo de motor, graxa e outros lubrificantes.

d) especiais: resíduos: compostos com vários anéis com 70 átomos de carbono ou mais e inclui o coque, asfalto, alcatrão, breu, ceras.

2.1.2.2.3. O petróleo no Brasil

Em 1858, o Marquês de Olinda concedeu a José de Barros Pimentel o direito de extrair betume em terrenos situados nas margens do rio Marau, na Bahia. Este é o marco do uso do petróleo no Brasil.

No ano de 1930, depois de vários poços perfurados sem sucesso em alguns estados brasileiros, o engenheiro agrônomo Manoel Inácio Bastos tomou conhecimento que os moradores de Lobato, na Bahia, usavam uma "lama preta", oleosa, para iluminar suas residências. Este engenheiro realizou várias pesquisas e coletas de amostras da referida lama, constatou que era petróleo e entregou o resultado ao presidente Getúlio Vargas, no Rio de Janeiro, em 1932. Posteriormente, em 1939, o referido engenheiro descobriu o primeiro poço de petróleo, na cidade de Lobato.

O ano de 1938 é a data em que a exploração da atividade petrolífera passou, por lei, a ser realizada exclusivamente por brasileiros. Nesse panorama, em 29 de abril de 1938, foi criado o Conselho Nacional do Petróleo, cujo objetivo era a avaliação dos pedidos de pesquisa e de lavra de jazidas de petróleo. Desde então, as jazidas passaram a patrimônio da União.

Em 3 de outubro de 1953, o presidente Getúlio Vargas assinou a Lei nº 2004, instituindo o monopólio estatal de pesquisa e lavra, refino e transporte do petróleo e seus derivados. Através desta Lei, criou também a Petróleo Brasileiro S.A. – PETROBRÁS. No ano de 1963, este monopólio foi ampliado a fim de incorporar as atividades de importação e exportação de petróleo e seus

derivados. A ANP foi criada em 6 de agosto de 1997, pela Lei n° 9.478, intitulada Lei do Petróleo (Carvalho, 2006). A ANP é uma autarquia federal, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, responsável pela execução da política nacional para o setor energético do petróleo, gás natural e biocombustíveis (Medauar, 2008). A criação da ANP resultou no fim do monopólio da Petrobrás, permitindo-se a exploração do petróleo por outras empresas do ramo como Shell, EIPaso, Texaco, Queiroz Galvão, Esso, Devon e Tecpetrol.

A Lei do Petróleo determina que o prazo de exploração é de três anos. A ANP estabeleceu áreas para exploração do petróleo, denominando-as de blocos. A ANP celebra contrato de concessão para busca de jazidas petrolíferas no bloco. A prorrogação deste contrato depende da descoberta de hidrocarbonetos e notificação à ANP. A autarquia petrolífera analisa os planos de avaliação técnica e comercial da jazida encontrada apresentados pelos concessionários. As áreas que não registram descobertas têm seus contratos de concessão terminados.

Neste ano, a PETROBRÁS divulgou dados sobre seu desempenho de 2007, demonstrando aumento em sua receita operacional líquida em mais de R\$ 10 milhões. Relatou ainda a degradação gerada por sua atividade no ambiente, retratando poluição atmosférica, do solo e de águas (Tabela 3).

Tabela 3. Desempenho 2007 – Petróleo Brasileiro S/A – Petrobrás.

INDICADOR FINANCEIRO	2007	2006	2005
Valor de mercado (R\$ milhões)	429.923	230.372	173.584
Receita operacional líquida (R\$ milhões)	170.578	158.239	136.605
Lucro líquido	21.512	25.919	23.725
Lucro antes de juros, impostos, depreciação e amortização – EBITDA (R\$ milhões)	50.275	50.864	47.808

Continua...

Tabela 3. Continuação.

Valor adicionado total distribuído (R\$ milhões)	120.138	120.695	108.241
Total de investimentos (R\$ milhões)	45.285	33.686	25.710
Lucro por ação (R\$)	4.90	5.91	5.41
OPERACIONAL			
Produção de óleo e gás (mil boed)	2.301	2.298	2.217
Reservas provadas de óleo e gás (bilhões de boe)	15	15	14.9
Índice de reposição de reservas	98,4%	113,9%	102,3%
Produção de derivados (mil bpd)	2.046	1.892	1.839
Venda de derivados (mil bpd)	3.239	3.052	2.808
MEIO AMBIENTE			
Vazamentos de óleo e derivados (m ³)	386	293	269
Consumo de energia (terajoule – TJ)	574.145	576.762	521.613
Emissões de gases de efeito estufa (milhões de toneladas de CO ₂ equivalentes)	49.99	50.43	51.57
Emissões de dióxido de carbono – CO ₂ (milhões de toneladas)	45.37	46.13	46.59
Emissões de metano – CH ₄ – (mil toneladas)	206.02	189.82	222.97
Emissões de óxido nitroso – N ₂ O (toneladas)	919.5	997.23	981
Emissões atmosféricas – NO _x (mil toneladas)	222.8	233.54	223.12
Emissões atmosféricas – SO _x (mil toneladas)	150.9	151.96	151.65
Emissões atmosféricas – material particulado (mil toneladas)	15.22	17.11	17.24
Retirada de água doce (milhões de m ³)	216.49	178.8	158.5
Descarte de efluentes hídricos (milhões de m ³)	172.8	164.3	159
SEGURANÇA E SAÚDE OCUPACIONAL			
Taxa de frequência de acidentados com afastamento – TFCA (inclui empregados e terceirizados)	0.76	0.77	0.97
Fatalidades (inclui empregados e terceirizados)	15	9	15
Taxa de acidentes fatais (fatalidades por 100 milhões de homens-hora de exposição ao risco – inclui empregados e terceirizados)	2.28	1.61	2.81
Percentual de tempo perdido (inclui apenas empregados)	2.19	2,06	2.48

...Continuação.

Fonte: Relatório Anual Petrobrás 2007 – (Disponível em www2.petrobras.com.br)

2.1.2.3. Gás Natural

2.1.2.3.1. Noções Básicas

O gás natural é uma mistura de hidrocarbonetos leves, que à temperatura ambiente e pressão atmosférica, permanece no estado gasoso. É um gás inodoro e incolor, não é tóxico e é mais leve que o ar.

O gás natural (GN) encontra-se em rochas porosas no subsolo, constituindo um reservatório ou acompanhado por petróleo. Nos reservatórios, o gás natural pode ter duas formas: gás livre ou gás dissolvido no óleo. No estado gasoso, o gás natural não precisa ser atomizado para queimar. Isso resulta numa combustão limpa, com reduzida emissão de poluentes e melhor rendimento térmico.

Na composição do gás natural predomina o gás metano, podendo, entretanto, haver outros gases como o etano, propano ou butano, em menores proporções. O GN apresenta baixos teores de dióxido de carbono, compostos de enxofre, água e contaminantes, como nitrogênio. A sua combustão é completa, liberando como produtos o dióxido de carbono e vapor de água (Brasil, 2008).

As especificações do gás para consumo são ditadas pela Portaria n. 41 de 15 de abril de 1998, emitida pela Agência Nacional do Petróleo. Segundo a AIE (2003), a participação do gás natural no consumo mundial é aproximadamente 16,3%, sendo responsável por cerca de 18,3% de toda a eletricidade gerada no mundo.

A Rússia domina o quadro dos maiores produtores, com 2,2 bilhões de m³/dia, 27,7% do total produzido. No segundo lugar estão os Estados Unidos, com 1,5 bilhões, 19,8% do total mundial. Porém, esta produção é insuficiente para

seu consumo, o qual é complementado por importações via gasodutos provenientes do Canadá (Brasil, 2008).

2.1.2.3.2. Gás natural e termelétricas

A geração de energia elétrica a partir de gás natural é feita pela queima do gás combustível em turbinas a gás, cujo desenvolvimento é relativamente recente, mais precisamente após a Segunda Guerra Mundial. No setor elétrico, o uso mais generalizado dessa tecnologia tem ocorrido somente nos últimos 15 ou 20 anos. Baixo rendimento térmico das turbinas e os altos custos de capital foram as principais razões para o baixo grau de difusão do gás natural neste setor.

Nos últimos anos, esse quadro tem-se modificado substancialmente, uma vez que o gás natural surge 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 setembro de 2003, havia 56 centrais termelétricas a gás natural em operação no Brasil, perfazendo uma capacidade de geração de 5.581 MW (Brasil, 2008).

2.1.2.4. Carvão Mineral

2.1.2.4.1. Noções Básicas

O carvão é uma complexa e variada mistura de componentes orgânicos sólidos, fossilizados ao longo de milhões de anos. A qualidade do carvão é determinada pelo conteúdo de carbono, variando de acordo com o tipo e o estágio dos componentes orgânicos. Borba (2001) explica que o carvão mineral – ou simplesmente carvão – é um combustível fóssil sólido formado a partir da matéria

orgânica de vegetais depositados em bacias sedimentares. Por ação de pressão e temperatura em ambiente sem contato com o ar, em decorrência de soterramento e atividade orogênica, os restos vegetais ao longo do tempo geológico se solidificam, perdem oxigênio e hidrogênio e se enriquecem em carbono, em um processo denominado carbonificação.

Quanto mais intensas a pressão e a temperatura a que a camada de matéria vegetal for submetida, e quanto mais tempo durar o processo, mais alto será o grau de carbonificação atingido, ou *rank*, e maior a qualidade do carvão. Os diversos estágios de carbonificação, do menor para o maior *rank*, são dados por: turfa → sapropelito → linhito → carvão → sub-betuminoso → carvão betuminoso → antracito. O estágio mínimo para a utilização industrial do carvão é o do linhito. Outro índice qualitativo do carvão é o grau, que mede de forma inversamente proporcional o percentual em massa de matéria mineral incombustível (cinzas) presente na camada carbonífera. Um baixo grau significa que o carvão possui um alto percentual de cinzas misturado à matéria carbonosa, conseqüentemente, empobrecendo sua qualidade (Borba, 2001).

Na matriz energética mundial, segundo o BEN (Brasil, 2008), o carvão é atualmente responsável por 25,3% da oferta de energia no mundo. No âmbito mundial, apesar dos graves impactos sobre o meio ambiente, o carvão ainda é uma importante fonte de energia. Relevância que se fundamenta em três razões: abundância das reservas; distribuição geográfica das reservas; baixos custos e estabilidade nos preços, relativamente a outros combustíveis.

2.1.2.4.2. Carvão Mineral no Brasil

A história do carvão se inicia há cerca de 210 milhões de anos. Na época, a crosta da terra ainda estava convulsionada por terremotos, vulcões, furacões, vendavais e maremotos. Naquelas épocas geológicas, árvores gigantes e toda sorte de vegetação crescia, formando grandes e espessas florestas, favorecidas pela atmosfera muito rica em CO₂, permitindo a intensificação da função clorofiliana e o crescimento dos vegetais em um clima particularmente quente e úmido. O carvão é então a parte celulósica da vegetação, transformada pelo tempo, pressão, bactérias e outros agentes anaeróbicos, em uma massa carbonosa. A ocorrência do carvão no Brasil encontra-se principalmente nos estados do Rio Grande do Sul (28 bilhões de toneladas), Santa Catarina (3,3 bilhões de toneladas) e Paraná (104 milhões de toneladas). O Rio Grande do Sul atualmente é o maior produtor do país, com 52,3% da produção, ficando Santa Catarina com 46,3% e o Paraná com 1,4%. Em termos de faturamento, porém, o carvão catarinense, com um poder calorífico superior, garante a Santa Catarina uma participação de 68,3%, contra 28,5% do Rio Grande do Sul e 3,2% do Paraná, dentro de um total de cerca de R\$ 533.000.000,00 (Brasil, 2008).

O consumo setorial de carvão mineral, com dados atualizados até 2005, indica um uso de 68% como siderúrgico e de 32% como energético. Dentro do setor energético temos 85% para geração de termoeletricidade e 15% como combustível industrial (4% petroquímica, 3% indústria alimentícia, 3% celulose e 5% outros) (Brasil, 2008).

2.1.2.5. Urânio

2.1.2.5.1. Noções Básicas

O urânio é um elemento químico, U_3O_8 , cuja forma natural é um metal branco-níquel, pouco menos duro que o aço, encontrado nas rochas da crosta terrestre. A principal aplicação comercial do urânio é na geração de energia elétrica, na qualidade de combustível para reatores nucleares de potência. A atividade nuclear traz inúmeros benefícios à sociedade, dentre eles a utilização das radiações em múltiplas aplicações na medicina, indústria, agropecuária e meio ambiente. A medicina nuclear usa os radioisótopos no diagnóstico e na terapia. O elemento iodo, I-131, radioativo ou não, é absorvido pelo organismo humano preferencialmente pela glândula tireóide, onde se concentra. O Tecnécio-99 ($Tc-99m$) é utilizado para obtenção de mapeamentos (cintilografia) de diversos órgãos: renal, cerebral, hepato-biliar, pulmonar, óssea, diagnóstico do infarto agudo do miocárdio e em estudos circulatórios e cintilografia de placenta. O samário-153 ($Sm-153$) é aplicado, injetado em pacientes com metástase óssea, como paliativo para a dor. O céσιο-137 e cobalto-60 são usados em radioterapia para destruir células de tumores, uma vez que estas são mais sensíveis à radiação do que os tecidos normais (Sirvinkas, 2005; Machado, 2008; Reis, 2005)

Na agricultura a atividade nuclear é usada na eliminação de pragas através da esterilização dos respectivos "machos" por radiação gama, para depois soltá-los no ambiente possibilitando sua competição com os normais. Esta técnica enseja a redução da reprodução da praga até sua eliminação, sem qualquer poluição com produtos químicos. A irradiação também é utilizada na conservação de produtos agrícolas, como batata, cebola, alho e feijão. Batatas irradiadas

podem ser armazenadas por mais de um ano sem murcharem ou brotarem. Há também a radioesterilização, ou seja, a esterilização por radiação ionizante, que destrói os microorganismos presentes em produtos médicos através da quebra de suas cadeias moleculares e induz reações dos fragmentos com o oxigênio atmosférico ou compostos oxigenados. Este procedimento mata os microorganismos e previne sua reprodução (Sirvinkas, 2005; Machado, 2008; Reis, 2005).

2.1.2.5.2. Energia Nuclear

A energia nuclear provém da fissão nuclear do urânio, do plutônio ou do tório ou da fusão nuclear do hidrogênio. É energia liberada dos núcleos atômicos, quando estes são levados por processos artificiais, a condições instáveis. A fissão ou fusão nuclear são fontes primárias que levam diretamente à energia térmica, à energia mecânica e à energia das radiações. Uma usina nuclear gera energia térmica, ou seja, a turbina, que é acoplada ao gerador elétrico, se movimenta com força do vapor da água. Nas usinas térmicas convencionais esse vapor é obtido através do calor produzido pela combustão do carvão, de derivados de petróleo, do gás ou de biomassa. Já no caso das centrais nucleares, o calor é obtido pela fissão dos átomos do urânio no núcleo do reator (Brasil, 2008).

Usinas como as de Angra têm três circuitos de água inteiramente independentes. Pelo circuito primário circula a água que é aquecida no reator. Esse aquecimento ocorre em função da liberação do forte calor decorrente da fissão dos átomos de urânio contidos nos elementos combustíveis (compostos de varetas feitas com uma liga de zircônio e estanho onde ficam embutidas as pastilhas cerâmicas de dióxido de urânio). O aspecto positivo da energia nuclear é

a pequena quantidade de combustível, no caso o urânio, para produção energética. Um quilograma de isótopo U-235 é suficiente para produzir uma quantidade de energia similar a 3.000 toneladas de carvão ou 14.000 barris de petróleo (Hinrichs *et al.*, 2003).

A reserva de urânio brasileira foi registrada, em junho de 2001, como a sexta maior reserva geológica do mundo. Segundo o Ministério da Ciência e Tecnologia, a reserva de urânio brasileira possui aproximadamente 309.000 toneladas, as quais estão concentradas nos estados da Bahia, Ceará, Paraná e Minas Gerais. Nos últimos trinta anos, nos países da OECD houve forte incremento da energia nuclear e do gás natural. Esta modificação na matriz energética mundial aconteceu depois dos dois choques do petróleo ocorridos na década de 1970. De acordo com o BEN de 2007, a participação da energia nuclear na geração de eletricidade no mundo caiu dos 16% do ano anterior para 14%. Um dos grandes responsáveis por essa redução foi o aumento da participação do gás natural nesta matriz. Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA) expõe que no término de 2007 estavam em operação 439 reatores em 31 países. Dentre os maiores parques geradores, destacam-se os Estados Unidos com 104 unidades, França com 59 reatores e Japão com 55. Em 2007, seis novas usinas tiveram suas obras iniciadas, na Coreia do Sul, na Rússia, na França e na China, havendo atualmente 35 reatores em construção em 13 países. Três novas usinas entraram em operação em 2007, sendo uma na Índia, uma na China e outra na Romênia, totalizando 1.857 MW. Segundo dados da AIEA, há no mundo 425 usinas nucleares. A maioria das usinas encontra-se na

União Européia, seguida pelos Estados Unidos da América, conforme tabela abaixo (Reis, 2005; Brasil, 2008).

A utilização de energia nuclear na matriz energética brasileira é ínfima, comparando-a com a Europa e América do Norte. Na matriz energética brasileira, o urânio representa 1,4%. Na matriz de energia elétrica do Brasil em 2007, as usinas nucleares produziram 2,5% de eletricidade. De acordo com a revisão estatística da energia mundial, elaborada pela British Petroleum (BP), a Europa e Eurásia são as maiores regiões consumidoras de energia nuclear no globo. (Brasil, 2008). A energia nuclear também possui aspectos negativos: lixo atômico, acidentes nucleares e o uso desta energia para fins bélicos – bomba atômica.

2.1.2.5.2.1. Armas nucleares

Os testes com bombas nucleares foram iniciados com os Estados Unidos da América. Dois são os marcos do uso da energia nuclear para fins bélicos: uma bomba lançada sobre a cidade japonesa de Hiroshima, no dia 6 de agosto de 1945, e outra sobre Nagasaki, em 9 de agosto do mesmo ano, também no Japão. Estes acontecimentos enceraram a 2ª Guerra Mundial, modificando o cenário global diante da expressão de força dos Estados Unidos perante as demais nações. A bomba atômica de urânio detonada a 550 m de altitude de Hiroshima deixou 100 mil mortos. Já em Nagasaki, a bomba de plutônio deixou 74 mil mortos.

A AIEA foi criada com a Convenção de Nova Iorque em 26 de outubro de 1956. É uma organização, autônoma, das Nações Unidas com sede em Viena, na Áustria. Atualmente, 138 nações participam da AIEA, cujos representantes se encontram anualmente para uma conferência geral onde elegem 35 membros

para o Conselho de Governadores. Este Conselho reúne-se cinco vezes por ano e prepara as decisões que serão ratificadas pela Conferência Geral. AIEA constitui um fórum intergovernamental para a cooperação científica e técnica do uso pacífico da tecnologia nuclear. Assim, o objetivo da AIEA é a utilização da energia nuclear para paz, saúde e prosperidade, incentivando a pesquisa e a cooperação entre povos. Nesse panorama de pós-guerra mundial, os Estados, receosos diante de uma futura guerra nuclear, ratificaram o Tratado de Não-Proliferação Nuclear em 1968. Desse modo, todos os Estados que não tinham armas nucleares ficavam proibidos de, entre outros, possuir, produzir ou adquirir armas nucleares ou outros dispositivos nucleares. Todos os signatários assumiam como objetivo o desarmamento nuclear, comprometendo-se, no entanto, usar a energia proveniente de fissão ou fusão nuclear para fins pacíficos (Lambert, 2002).

As tarefas da AIEA aumentaram, significativamente, após a proliferação nuclear ocorrida na década de 1990. A AIEA ficou responsável pelas inspeções e investigações de suspeitas de violações do Tratado de Não-Proliferação Nuclear. Caso a AIEA encontre indícios de uso militar em programas que inspeciona, deverá reportá-los ao Conselho de Segurança das Nações Unidas (Milaré, 2004).

2.1.2.5.2.2. Lixo nuclear

Rejeito nuclear ou lixo nuclear é todo material contaminado cuja produção seja resultado da atividade desenvolvida em uma instalação nuclear (Antunes, 2006). A problemática que envolve o lixo nuclear é sua capacidade de permanecer ativo por milhares de anos exigindo local adequado e o monitoramento constante.

A energia nuclear produz resíduo desde a fase de mineração até a fase final de reprocessamento do combustível nuclear, quando o urânio não queimado do reator e o plutônio gerado são separados dos produtos formados na fissão. Esses resíduos são classificados de acordo com o nível de radioatividade: baixa, média ou alta atividade. O armazenamento segue obrigatoriamente as normas da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) a qual é responsável pelo posterior monitoramento e fiscalização. Recentemente, 16 de outubro de 2008, o Greenpeace denunciou a contaminação da água consumida pela população da cidade de Caetité na Bahia por urânio. Diante da gravidade desta poluição, esta denúncia repercutiu em toda a sociedade local, despertando a atenção dos Poderes Executivo, Legislativo e Judiciário.

A estatal Indústrias Nucleares do Brasil havia solicitado ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis ampliação da licença de operação da unidade de concentração de urânio. Atualmente, a capacidade de extração da mina de urânio é de 400 toneladas por ano. A licença solicitada no IBAMA é para permitir a extração de 800 toneladas de urânio por ano, ou seja, duplicar a capacidade da mina e assim atender a demanda de Angra 3.

2.1.2.5.2.3. Acidentes Nucleares

Dois acidentes nucleares marcaram a história: Central Elétrica Nuclear de Chernobil e Césio 137 em Goiânia, Goiás.

a) Acidente nuclear de Chernobil - em 26 de abril de 1986, acidente no reator 4, da Central Elétrica Nuclear de Chernobil. O sistema de segurança do reator, que deveria ter parado a reação de cadeia, falhou. Em frações de segundo, o nível de potência e temperatura subiu em demasia, incorrendo numa explosão violenta. O

material radiativo começou a ser lançado na atmosfera. É considerado o pior acidente nuclear da história, produzindo uma nuvem de radioatividade que atingiu a União Soviética, Europa Oriental, Escandinávia e Reino Unido. Um relatório da ONU de 2005 atribuiu 56 mortes até aquela data – 47 trabalhadores acidentados e nove crianças com câncer da tireóide – e estimou que cerca de 4000 pessoas morrerão de doenças relacionadas com o acidente (Antunes, 2006).

b) Acidente radioativo com Césio 137 em Goiânia, Goiás - o acidente radiológico ocorrido em Goiânia gerou contaminação por radioatividade em proporções desconhecidas. A tragédia começou em 13 de setembro de 1987, quando um aparelho utilizado em radioterapia foi furtado das instalações do Instituto Goiano de Radioterapia, hospital privado de radioterapia, localizado na Avenida Paranaíba, no centro de Goiânia. O equipamento de teleterapia foi abandonado no interior das antigas instalações, sem que tal fato fosse comunicado às autoridades responsáveis.

A CNEN mandou examinar toda a população da região. No total 112 800 pessoas foram expostas aos efeitos do césio, muitas com contaminação corporal externa revertida a tempo. Destas, 129 pessoas apresentaram contaminação corporal interna e externa concreta, vindo a desenvolver sintomas e foram apenas medicadas. Porém, 49 pessoas foram internadas, das quais 21 precisaram sofrer tratamento intensivo. Quatro não resistiram e morreram. Esta limpeza da região atingida pelo césio 137 produziu 13,4 toneladas de lixo radioativo, o qual foi acondicionado em 14 contêineres lacrados. A fim de atender às recomendações do IBAMA, da CNEN e da CEMAm, o Parque Estadual Telma Ortugal foi criado em Goiânia, hoje, pertencente ao município de Abadia de Goiás. Neste parque, os

rejeitos estão enterrados numa vala de aproximadamente 30 metros de profundidade, revestida de uma parede de aproximadamente um metro de espessura de concreto e chumbo, e sobre esta vala foi construída uma montanha.

2.1.2.5.2.4. Energia Nuclear no Brasil

O desenvolvimento da tecnologia nuclear no Brasil começou na década de 1950. Em 1951, o Almirante Álvaro Alberto criou o Conselho Nacional de Pesquisa – CNPQ, e, posteriormente, em 1953, importou duas ultra-centrifugadoras da Alemanha para o enriquecimento do urânio, as quais jamais foram utilizadas. A decisão de implementação da primeira usina termonuclear no Brasil foi tomada em 1969, delegando sua construção a Furnas Centrais Elétricas S/A. Em junho de 1974, as obras civis da Usina Nuclear de Angra 1 estavam em andamento quando o Governo Federal decidiu ampliar o projeto, autorizando Furnas a construir a segunda usina.

Em 27 de junho de 1975, foi assinado na cidade alemã de Bonn o Acordo de Cooperação Nuclear, em que o Brasil compraria oito usinas nucleares e obteria toda a tecnologia necessária ao seu desenvolvimento nesse setor. Angra 1 encontra-se em operação desde 1982 e fornece ao sistema elétrico brasileiro uma potência de 657 MW. Angra II, após longos períodos de paralisação de suas obras, iniciou sua produção energética com mais 1300 MW. As usinas Angra 1 e Angra 2 são do tipo PWR (pressurized water reactor) ou seja, reator a água pressurizada – água sob alta pressão. Desta forma, o vaso de pressão contém a água de refrigeração do núcleo do reator. Essa água circula quente por um gerador de vapor, em circuito fechado, chamado de circuito primário. A outra corrente de água que passa por esse gerador, chamada de circuito secundário, se

transforma em vapor, acionando a turbina para a geração de eletricidade. A eletricidade é enviada para as torres de transmissão, abastecendo, por fim, o mercado consumidor. Esta energia a abastece, atualmente, 50% do estado do Rio de Janeiro (Brasil, 2008).

A Constituição da República de 1988 determina no artigo 225, §6º, que a localização de uma usina nuclear depende da promulgação de lei federal. O legislador constituinte proibiu o uso da energia nuclear para fins não pacíficos, conforme artigo 21, XXIII, da Constituição Federal. Em 23 de julho de 2008, o IBAMA concedeu licença prévia para localização de Angra 3. Ressalva-se a inexistência de lei federal determinando a localização desta usina sob o argumento que sua dispensa estaria respaldada no artigo 2º da Lei nº 6.453/77. Segundo este dispositivo legal, a construção de nova usina na mesma área em exista usina nuclear já edificada dispensa a elaboração e promulgação de lei ordinária federal (Milaré, 2004).

Porém, esta licença tem 60 exigências para autorização da construção da referida usina pela empresa ELETRONUCLEAR. Entre as principais exigências está a solução definitiva do tratamento do lixo nuclear, a criação de um sistema independente de monitoramento dos níveis de radiação, a realização de obras de saneamento básico dos municípios de Angra dos Reis e Paraty e a gestão do Parque Ecológico da Serra da Bocaina. O IBAMA exige ainda o monitoramento da radiação por uma fundação universitária ou empresa independente da ELETRONUCLEAR, bem como a apresentação de relatório da medição sísmica efetuada na região. Em março de 2009, o IBAMA concedeu à empresa ELETRONUCLEAR licença para edificação do empreendimento.

2.2. Fontes Renováveis da Matriz Energética

2.2.1. Noções básicas

Fontes renováveis de energia são aquelas cuja reposição pela natureza é bem mais rápida do que sua utilização energética – como a água dos rios, marés, sol, ventos – ou cujo manejo pelo homem pode ser efetuado de forma compatível com as necessidades de sua utilização energética – como a biomassa: cana-de-açúcar, florestas energéticas, resíduos animais, humanos e industriais (Reis, 2005).

A utilização de energia renovável é um meio de reduzir emissões de carbono, diminuir a poluição atmosférica e incentivar o desenvolvimento sustentável. A energia renovável amplia a matriz energética dos países, aumentando sua segurança energética e desenvolvimento econômico.

No ano de 2004, em Bonn, Alemanha, aconteceu a primeira conferência entre 150 Estados para discutir sobre energia renovável – “Renováveis 2004”. A partir desta conferência aumentaram os investimentos econômicos e científicos no campo da energia renovável. Em 2007, mais de US\$100 bilhões foram investidos em energia renovável (Renewables, 2007).

A partir de 2004, a capacidade de geração de eletricidade renovável dobrou. Em 2007, esta capacidade energética alcançou cerca de 240 GW, (Figura 4). Das fontes renováveis, a energia eólica obteve o maior crescimento no mundo em 2007, 28%, alcançando 95 GW. As redes de conexão de painéis fotovoltaicos é a tecnologia que cresce mais rapidamente no globo, aumentando, anualmente, 50% na capacidade instalada acumulada de 2006 e 2007, para estimados 7,7 GW. Ou seja, 1,5 milhões de casas com painéis solares alimentando a rede

mundial. A produção de biocombustíveis - etanol e biodiesel – excedeu a estimativa de 53 bilhões de litros em 2007. Em relação a 2005, os biocombustíveis tiveram uma alta de 43%. A produção de etanol em 2007 representou cerca de 4% dos 1,3 bilhões de litros de gasolina consumida globalmente. No ano de 2006, a produção de biodiesel aumentou em mais de 50%, (Figura 4) (Brasil, 2008).

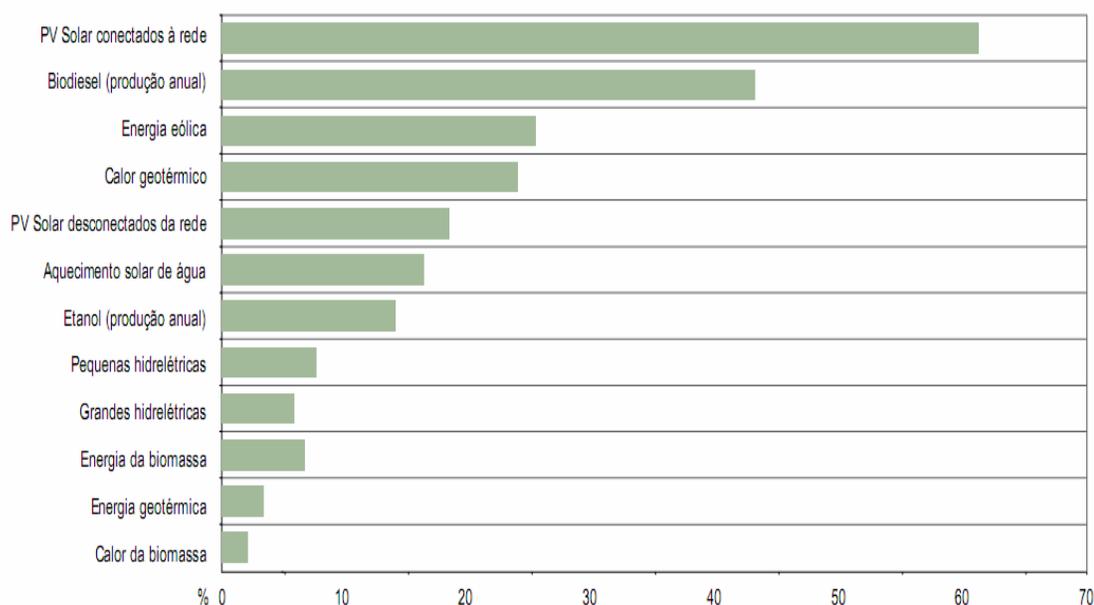


Figura 2. Taxas médias de crescimento anual da capacidade de energia renovável.
Fonte: Renewables 2007 – Global Status Report – Rede de Energias Renováveis para o Século XXI (REN21).

Quatro setores destacam-se na substituição da energia convencional pela energia renovável: geração de energia, aquecimento de água e espaços físicos, combustíveis usados nos meios de transporte e energia rural. Estima-se que cinquenta milhões de casas utilizam coletores solares para aquecimento da água e do espaço interno. No Brasil, o etanol proveniente da cana-de-açúcar substituiu 40% do consumo de gasolina nos meios de transporte.

Nesse panorama, as fontes de energia renováveis estão em voga, seja pelo aspecto de proteção ambiental, seja pela necessidade de ampliação da matriz energética dos países.

2.2.2. Energia Renovável no Brasil

No Brasil, em 2007, 45,8% da OIE total correspondem à energia renovável. Essa proporção é das mais altas do mundo, contrastando com a média mundial, de 12,7%, e mais ainda com a média dos países da OCDE, em sua grande maioria países desenvolvidos, de apenas 6,2%. Em 2006, a demanda por energia renovável no Brasil cresceu em todas as fontes. A lenha, no entanto, teve o menor crescimento, apenas 0,2%, apresentando queda na participação da MEB, de 12,6 para 12%. Esta redução é decorrente do aumento do consumo de gás liquefeito de petróleo – GLP em substituição da lenha residencial. Segundo a ANEEL, o processo de desenvolvimento dos países leva à redução natural do uso da lenha como fonte de energia (Brasil, 2008).

No setor agropecuário, os usos rudimentares da lenha em casas de farinha, em secagem de grãos e folhas, em olarias, em caieiras, na produção de doces caseiros, dentre outros usos, perdem gradativamente a importância por duas razões: urbanização e industrialização. No âmbito residencial, a lenha é substituída por GLP e por gás natural. Em 2007, os derivados da cana-de-açúcar participaram com 15,7% na MEB, o que representa 34,3% nas fontes renováveis. A energia hidráulica tem 14,9% de participação na Matriz Energética Brasileira, o que representa 32,5% nas fontes renováveis (Brasil, 2008).

2.2.3. Biomassa

2.2.3.1. Noções básicas

A matéria orgânica produzida pelas plantas através da fotossíntese é a fonte energética de quase todos os seres vivos. Na cadeia alimentar, essa energia é repassada para os animais, primeiramente, aos herbívoros e destes para os carnívoros primários e secundários. Biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal, que pode ser utilizada na produção de energia. Assim, plantas, animais e seus derivados são considerados biomassa.

O processo de renovação da biomassa é oriundo do ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica ou de seus derivados provoca a liberação de CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO₂ e água nos hidratos de carbono, que compõe sua massa viva, liberando oxigênio.

A utilização do fogo como fonte de calor e luz foi uma das primeiras formas utilizadas pelo ser humano para adquirir energia. Com o passar do tempo, a madeira consagrou-se como a principal fonte energética, possibilitando o desenvolvimento de atividades como a siderurgia e a cerâmica. No período da Revolução Industrial, a biomassa, especificamente, a lenha, foi amplamente utilizada na siderurgia. No século XIX, com a revelação da tecnologia a vapor, a biomassa possibilitou a obtenção de energia mecânica com aplicações nos setores da indústria e dos transportes. Outro fator que ensejou a ampliação do uso da biomassa nas indústrias e nos transportes foi a crise do petróleo ocorrida na década de 1970 (Reis, 2005).

Lenha, bagaço da cana-de-açúcar, galhos e folhas de árvores, papéis, papelão, álcool, gás de madeira, biogás e óleos vegetais nos motores de combustão interna são exemplos de biomassa amplamente utilizados, pois possuem alta densidade energética e facilidades de armazenamento, câmbio e transporte. A partir da biomassa é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição aos derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina. Destaca-se, também, a semelhança entre os motores e sistemas de produção de energia de biomassa e de energia fóssil cuja substituição não afetaria a indústria de produção de equipamentos e tampouco as bases instituídas para transporte e fabricação de energia elétrica. Na produção energética, a biomassa tem vantagens como baixo custo, reaproveitamento de resíduos, é menos poluente que outras fontes de energia como o petróleo e o carvão, facilidades de armazenamento, conversão e transporte, e, principalmente, é fonte de energia renovável. Reis (2005) afirma que: “Fonte de energia renovável (quando manejada adequadamente), a biomassa apresenta vantagens ambientais inexistentes em qualquer combustível fóssil. Como não emite óxidos de nitrogênio e enxofre, e o CO₂ lançado na atmosfera durante a queima é absorvido na fotossíntese, apresenta balanço zero de emissões. Tais características devem, futuramente, reverter sua tendência de troca de combustíveis, e a biomassa vai retomar espaços ocupados pelo petróleo e carvão mineral.”

A ANEEL informa que: “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).”

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, conforme comentado no capítulo 2. No referido capítulo, pode-se observar a participação da biomassa em 30% dos empreendimentos de co-geração em operação no País (Brasil, 2008).

Ressalva-se que a quantidade de biomassa utilizada é difícil de ser estimada, uma vez que esta é muito usada para fins não comerciais. Segundo a ANEEL, estima-se que o uso da biomassa representa 14% do consumo mundial de energia primária. Nos EUA, a biomassa corresponde a 3% da energia primária usada para energia elétrica. Enquanto que nos países em desenvolvimento, essa quantidade pode alcançar o patamar de 34%, chegando até a 60% como no caso da África. No Zimbábue, a biomassa contribui com cerca de 40% da energia primária (Brasil, 2008).

No Brasil, em 2007, a biomassa foi a segunda principal fonte de energia, com participação de 31,1% na matriz energética, superada apenas pelo petróleo e derivados. Dentre as fontes de energia elétrica, a biomassa só foi superada pela hidreletricidade, cuja produção foi 77,4% da oferta total, segundo o BEN (Brasil, 2008).

2.2.3.2. O uso da biomassa no Brasil

2.2.3.2.1. Derivados da cana-de-açúcar

2.2.3.2.1.1. Etanol

O álcool etílico ou etanol pode ser obtido a partir de vegetais ricos em açúcar, como a cana-de-açúcar, a beterraba e as frutas do amido, extrato da mandioca, do arroz e do milho, e da celulose extraída da matéria principalmente dos eucaliptos. A maior parte do álcool produzido é obtida através da cana-de-açúcar.

Segundo o Centro de Ensino e Pesquisa Aplicada da USP, um hectare de cana-de-açúcar produz 3.350 litros de álcool, um hectare de mandioca produz 2.550 litros de álcool, um hectare eucalipto produz 2.100 litros. O cultivo da cana-de-açúcar tem as fases de crescimento, maturação e safra. A safra acontece durante os meses de abril a dezembro, uma vez que o frio e a seca favorecem o aumento da quantidade de açúcar e conseqüentemente uma maior produção de álcool. Após o corte, a cana-de-açúcar é transportada até a usina. Após a limpeza, esta é picada e moída, obtendo-se assim o etanol. O Brasil é o segundo maior produtor mundial de etanol, obtido a partir da cana-de-açúcar. Este fato é decorrente de incentivos governamentais para o desenvolvimento de tecnologias a fim de reduzir a dependência do petróleo e seus derivados (Coelho, 2007).

O Programa Nacional do Álcool (Pró-Álcool), criado pelo Decreto n° 76.593/75, incentivou a substituição dos combustíveis veiculares derivados de petróleo por álcool. Este programa foi financiado pelo governo brasileiro partir de 1975 devido à crise do petróleo em 1973. O baixo preço do açúcar, naquela época, foi o maior incentivo para produzir etanol a partir da cana-de-açúcar por via fermentativa. Outras fontes alternativas foram testadas, como a mandioca, no

entanto, a melhor produtividade é aquela obtida da cana-de-açúcar. A queda do preço do barril de petróleo e o aumento no preço do açúcar ensejaram o fim do citado Programa. Dessa forma, os usineiros deixaram de produzir etanol para fabricar açúcar, o que redundou na falta de álcool para o abastecimento veicular.

A tecnologia dos veículos bi-combustível ou *flex fuel*, ou seja, que utilizam mais de um tipo de combustível, desenvolvida nos Estados Unidos da América, reacenderam a produção de etanol no Brasil. Essa tecnologia surgiu no final da década de 80 por causa da crescente pressão do estado americano da Califórnia por carros menos poluentes. De acordo com os dados do Centro Nacional de Referência em Biomassa, desde 1998, a produtividade de cana-de-açúcar aumentou, saltando de 65 t/ha em 1998 para 100 t/ha no ano de 2003. Desenvolvimento de tecnologias, melhoria dos processos, o gerenciamento e controle da fabricação de açúcar e álcool elevaram os rendimentos da extração do açúcar de cana de 88% em 1977 para 98% em 1995 (Coelho, 2007).

O setor sucroalcooleiro brasileiro conta, atualmente, com 379 unidades para produção de álcool e açúcar, responsáveis pela moagem de 432 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, 30,25 milhões de toneladas de açúcar e, 17,4 bilhões de litros de álcool (Natari, 2006).

Segundo a União das Indústrias Canavieira de São Paulo (UNICA) (2006) o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, seu cultivo espalha-se pelo Centro-Sul e pelo Norte-Nordeste do país, ocupando 2,4% da área agricultável do solo brasileiro, aproximadamente 5,5 milhões de hectares.

Na região Centro-Sul a cultura canavieira representa cerca de 85% da produção nacional, compreendendo os Estados de São Paulo, Paraná, Goiás,

Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Rio de Janeiro e Espírito Santo. Na Região Nordeste os Estados de Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Sergipe, Rio Grande do Norte e Bahia são responsáveis pelos 15% restante da produção de cana-de-açúcar (Coelho, 2007).

No Brasil, os automóveis *flex fuel*, que utilizam tanto gasolina quanto etanol, consumiram mais de 60 milhões de litros de álcool em 2007. O etanol brasileiro apresenta potencial energético similar e custo inferior ao etanol, proveniente do milho e trigo, produzido por países da União Européia e Estados Unidos. A produção mundial de álcool aproxima-se dos 40 bilhões de litros. Deste montante, 15 bilhões de litros são produzidos no Brasil. O álcool é utilizado em mistura com gasolina no Brasil, EUA, UE, México, Índia, Argentina, Colômbia e, mais recentemente, no Japão. Somente o Brasil, usa exclusivamente álcool como combustível veicular (Coelho, 2007).

Segundo dados do BEN, em 2006, a produção brasileira alcançou 6.395 mil tep. No ano de 2007, o Brasil produziu 8.612 mil tep, o que representa um aumento de 34,7% (Brasil, 2008).

2.2.3.2.1.2. Bagaço e palha da cana-de-açúcar

O bagaço e a palha de cana-de-açúcar são recursos atualmente utilizados na geração de energia elétrica no Brasil. A grande quantidade de matéria orgânica proveniente da produção do açúcar e etanol e a coincidência entre o período de colheita da cana-de-açúcar com o de estiagem das principais bacias hidrográficas do parque hidrelétrico brasileiro tornam o bagaço e a palha da cana-de-açúcar excelente fonte de energia elétrica, principalmente, pela co-geração. De acordo

com dados da ANEEL, na produção de etanol, cerca de 28% da cana é transformada em bagaço.

Em pesquisa desenvolvida pelo Centro Nacional de Referência em Biomassa, em 2002, há no Brasil um potencial técnico de co-geração de excedentes de energia elétrica de 3.851 MW no setor sucroalcooleiro.

De acordo com estimativas da UNICA, em 2020 a eletricidade produzida pelo setor poderá representar 15% da matriz brasileira, com a produção de 14.400 MW médios (ou produção média de MWh ao longo de um ano), considerando-se tanto o potencial energético da palha e do bagaço quanto a estimativa de produção da cana, que deverá dobrar em relação a 2008, e atingir 1 bilhão de toneladas.

Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, o maior potencial de produção de eletricidade encontra-se na região Sudeste, particularmente no Estado de São Paulo, e é estimado em 609,4 milhões de GJ por ano. Na seqüência estão Paraná (65,4 milhões de GJ anuais) e Minas Gerais (63,2 milhões de GJ anuais).

A evolução da regulamentação, da legislação e dos programas oficiais também estimulam os empreendimentos. Em 2008, novas condições de acesso ao Sistema Interligado Nacional (SIN) foram definidas pela ANEEL, o que abre espaço para a conexão principalmente das termelétricas localizadas em usinas de açúcar e álcool mais distantes dos centros de consumo, como o Mato Grosso. Além disso, acordo fechado entre a Secretaria de Saneamento e Energia de São Paulo, a transmissora Isa Cteep, a UNICA e a Associação Paulista de Cogeração de Energia, estabelece condições que facilitam o acesso à rede de transmissão

paulista e a obtenção do licenciamento ambiental estadual. A iniciativa pode viabilizar a instalação de até 5 mil MW pelo setor sucroalcooleiro (CENBIO, 2003).

O método tradicional de colheita da cana é o manual acompanhado da queima da palha, ou seja, a queimada. A colheita manual produz a emissão de grandes volumes de CO₂, constituindo em fator de risco para a saúde humana, bem como para a segurança da população diante da ocorrência de incêndios de grandes proporções nas áreas adjacentes. No entanto, diante do aumento da produtividade, várias usinas têm optado pela colheita mecânica, que prescinde das queimadas. Ademais, as instituições financeiras somente financiam a produção sucroalcooleira em se tratando de colheita mecanizada, face à responsabilidade civil por dano ambiental, que neste caso é solidária. Nesta vertente, o uso de resíduos da produção sucroalcooleira na geração de eletricidade beneficia o ambiente – redução de descarte de matéria orgânica na forma de lixo no ambiente e geração de energia, bem como o usineiro – auto-sustentabilidade energética do empreendimento. A utilização sustentável do bagaço da cana para a produção de eletricidade por meio de usinas termelétricas também reduz as emissões de CO₂, uma vez que as emissões resultantes da atividade são absorvidas e fixadas pela planta durante o seu crescimento, (Coelho, 2007).

2.2.3.2.2. Lenha e carvão vegetal

A lenha é provavelmente o energético mais antigo usado pelo homem. Origina-se de árvore nativa ou proveniente de reflorestamento. A mata nativa sempre foi uma fonte de lenha, aparentemente inesgotável. Nesta visão de abundância, alguns biomas do Brasil foram explorados de forma irracional, gerando graves problemas

ambientais como degradação do solo, alteração no regime de chuvas e desertificação. A substituição da lenha de mata nativa por lenha de reflorestamento está crescendo a cada ano, destacando-se o eucalipto como a principal árvore cultivada para este fim. Originário da Austrália, o eucalipto tem mais de 600 espécies, sendo que muitas delas foram desenvolvidas e adaptadas no Brasil, onde encontrou condições propícias para o seu rápido crescimento. As árvores de eucalipto podem ser cortadas a partir do sexto ano, apresentando boa produtividade. O setor residencial é o que mais consome lenha, aproximadamente, 29%. O consumo no setor industrial é aproximadamente 23%. As principais indústrias consumidoras de lenha no país são alimentos e bebidas, cerâmicas e papel e celulose (Brasil, 2008).

Na produção de lenha para fins comerciais, uma parte da árvore, troncos e galhos finos, é rejeitada constituindo os resíduos florestais. Além disso, as indústrias que usam a madeira para fins não energéticos, como as serrarias e as indústrias de móveis, produzem resíduos industriais como; pontas de toras, costaneiras e serragem em diferentes tamanhos de partículas e densidade, os quais podem ser aproveitados para a produção de energia.

No Brasil, cerca de 40% da lenha produzida é transformada em carvão vegetal. A transformação da lenha em carvão vegetal é conhecida como carbonização ou pirólise, cujo produto final é uma substância de cor negra.

O carvão vegetal é usado desde a antiguidade. No antigo Egito era utilizado na purificação de óleos e para aplicações medicinais. Na segunda guerra mundial foi utilizado para remoção de gases tóxicos devido a sua capacidade absorvente, por ser um material extremamente poroso. Os índios brasileiros

utilizavam o carvão vegetal misturando-o às gorduras animais no tratamento de tumores e úlceras malignas. Atualmente, o carvão é utilizado como combustível para aquecedores, lareiras, churrasqueiras e fogões a lenha. No setor industrial, o ferro-gusa, aço e ferroligas são os principais consumidores (Brasil, 2008).

As variações no consumo de energia de madeira estão fortemente associadas ao grau de desenvolvimento do país. O uso da lenha é especialmente comum em áreas rurais dos países em desenvolvimento. Normalmente, o seu consumo ocorre, em sua quase totalidade, no local de produção. Já o carvão vegetal é mais consumido nas áreas urbanas e suburbanas das cidades, demandando cerca de 6m³ de madeira para a produção de uma tonelada de carvão. Segundo a ANEEL, o processamento da madeira na extração da celulose é possível extrair a lixívia negra ou licor negro, usando-o como combustível em usinas de co-geração da própria indústria de celulose (Brasil, 2008).

A ANEEL afirma ainda que, até novembro de 2008, há, no Brasil, 302 termelétricas movidas à biomassa, o que corresponde a um total de 5,7 mil MW instalados. Deste total, 13 usinas são abastecidas por licor negro, com potência total de 944 MW. Vinte e sete usinas por madeira, gerando 232 MW. Três por biogás, produzindo 45 MW; quatro por casca de arroz, com potência de 21 MW e duzentos, 52 por bagaço de cana, produzindo quatro mil MW. Uma das características desses empreendimentos é o pequeno porte com potência instalada de até 60 MW, o que favorece a instalação nas proximidades dos centros de consumo (Brasil, 2008).

2.2.3.2.3. Biodiesel

Biodiesel é um combustível biodegradável derivado de fontes renováveis, que pode ser obtido por diferentes processos tais como o craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Sua produção é proveniente de gorduras animais ou de óleos vegetais.

No Brasil, várias são as espécies vegetais que podem ser utilizadas na produção do biodiesel, como a mamona, o dendê ou palma, o girassol, o babaçu, o amendoim, o pinhão manso e a soja. A transesterificação é processo mais utilizado atualmente para a produção de biodiesel. Consiste numa reação química dos óleos vegetais ou gorduras animais com o álcool comum (etanol) ou o metanol, estimulada por um catalisador, da qual também se extrai a glicerina, produto com aplicações diversas na indústria química. O biodiesel substitui total ou parcialmente o óleo diesel de petróleo em motores ciclodiesel automotivos, como por exemplo, caminhões, tratores, camionetas, automóveis, ou estacionários, geradores de eletricidade, calor. A utilização do biodiesel pode ser puro ou misturado ao diesel em diversas proporções. A mistura de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo é chamada de B2 e assim sucessivamente, até o biodiesel puro, denominado B100 (Brasil, 2008).

A Lei nº11.097, de 13 de janeiro de 2005, estabelece a obrigatoriedade da adição de um percentual mínimo de biodiesel ao óleo diesel comercializado ao consumidor, em qualquer parte do território nacional. Esse percentual mínimo obrigatório será de 5% a ser implementado no decorrer de oito anos após a publicação da referida Lei. No entanto, nos primeiros três anos após esta publicação, o acréscimo de 2% de biodiesel no período de três é obrigatório.

Assim, a partir de janeiro de 2008, em todo território nacional, será obrigatória a mistura B2, ou seja, 2% de biodiesel e 98% de diesel de petróleo. Em janeiro de 2013, essa obrigatoriedade passará para 5%, B5. A produção de biodiesel também é destinada a exportação para países desenvolvidos, como os membros da União Européia. Segundo a ANP, gás natural e biocombustíveis, em 2007, o país produziu 402.154 m³ do combustível puro, B100, diante dos 69.002 m³ de 2006.

O Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel almeja, não só ampliar a matriz energética brasileira, mas, principalmente, fomentar o desenvolvimento sócio-econômico da população rural que vive da agricultura familiar, e a proteção ambiental mediante a diminuição progressiva do uso do diesel veicular derivado do petróleo, reduzindo o lançamento de gases de efeito estufa na atmosfera.

2.2.4. Energia Solar

2.2.4.1. Noções básicas

A energia solar chega à Terra nas formas térmica e luminosa. A maioria das fontes energéticas, como hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos, é forma indireta de energia solar. A radiação do sol pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Ademais, esta radiação também pode ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos termoelétrico e fotovoltaico. O aproveitamento da iluminação natural e do calor para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, decorre da penetração ou absorção da radiação solar nas

edificações, reduzindo-se, com isso, as necessidades de iluminação e aquecimento. Assim, um melhor aproveitamento da radiação solar pode ser feito com o auxílio de técnicas de arquitetura e construção (Reis, 2005).

O Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sergio de Salvo Brito criou a Casa Solar Eficiente. Esta casa, energeticamente auto-suficiente, é um agente multiplicador de tecnologias de utilização de energia solar térmica e fotovoltaica, bem como técnicas de combate ao desperdício energético.

A transformação da luz solar em energia térmica ou elétrica, depende dos equipamentos utilizados em sua captação. A utilização de uma superfície escura para a captação transformará a energia solar em calor. O uso de células fotovoltaicas, ou seja, painéis fotovoltaicos resultarão em eletricidade. Os equipamentos necessários à produção do calor são chamados de coletores e concentradores – pois, além de coletar, às vezes é necessário concentrar a radiação em um só ponto. Este é o princípio de muitos aquecedores solares de água. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética, a irradiação de luz solar por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo. Esta radiação, porém, não atinge de maneira uniforme toda a crosta terrestre, dependendo de fatores como a latitude, a estação do ano e as condições atmosféricas como nebulosidade e umidade relativa do ar. Isto decorre da inclinação do eixo imaginário em torno do qual a Terra gira diariamente, ou seja, movimento de rotação, e à trajetória elíptica que a Terra descreve ao redor do Sol, translação ou revolução (Brasil, 2008).

A maior parte do território brasileiro está localizada relativamente próxima da linha do Equador, de forma que não há grandes variações na duração solar do dia. Em média, a insolação diária é superior a seis horas, o que viabiliza o desenvolvimento da energia solar.

2.2.4.2. Tecnologias para o aproveitamento da energia solar

Segundo dados da ANEEL (2003), as tecnologias de aproveitamento da energia solar são:

a) Coletor solar - a radiação solar pode ser absorvida por coletores solares, principalmente para aquecimento de água, a temperaturas relativamente baixas (inferiores a 100°C). O uso dessa tecnologia ocorre predominantemente no setor residencial, mas há demanda significativa e aplicações em outros setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Esse sistema de aproveitamento térmico da energia solar, também denominado aquecimento solar ativo, envolve o uso de um coletor solar discreto. O coletor é instalado normalmente no teto das residências e edificações. Devido à baixa densidade da energia solar que incide sobre a superfície terrestre, o atendimento de uma única residência pode requerer a instalação de vários metros quadrados de coletores. Para o suprimento de água quente de uma residência típica (três ou quatro moradores), são necessários cerca de 4 m² de coletor. A energia térmica proveniente da energia solar é a mais utilizada pela população.

b) Concentrador solar - o aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente

grande e concentrá-la numa área muito menor, de modo que a temperatura desta última aumente substancialmente. A superfície refletora (espelho) dos concentradores tem forma parabólica ou esférica, de modo que os raios solares que nela incidem sejam refletidos para uma superfície bem menor, denominada foco, onde se localiza o material a ser aquecido. Os sistemas parabólicos de alta concentração atingem temperaturas bastante elevadas e índices de eficiência que variam de 14% a 22% de aproveitamento da energia solar incidente, podendo ser utilizada para a geração de vapor e, conseqüentemente, de energia elétrica. Entre meados e final dos anos 1980, foram instalados nove sistemas parabólicos no sul da Califórnia, EUA, com tamanhos que variam entre 14 MW e 80 MW totalizando 354 MW de potência instalada. Trata-se de sistemas híbridos, que operam com auxílio de gás natural, de modo a atender a demanda em horários de baixa incidência solar (Brasil, 2008).

c) Energia elétrica - segundo a ANEEL, para a produção de energia elétrica existem dois sistemas: o heliotérmico e o fotovoltaico. No heliotérmico, a irradiação solar é convertida em calor, sendo utilizado em usinas termelétricas para a produção de eletricidade. O processo completo compreende quatro fases: coleta da irradiação, conversão em calor, transporte e armazenamento e, finalmente, conversão em eletricidade. Para o aproveitamento da energia heliotérmica é necessário um local com alta incidência de irradiação solar direta, o que implica em pouca intensidade de nuvens e baixos índices pluviométricos, como ocorre no semi-árido brasileiro. Já no sistema fotovoltaico, a transformação da radiação solar em eletricidade é direta. Para tanto, é necessário adaptar um material semicondutor, exemplificativamente o silício, para que, na medida em

que é estimulado pela radiação, permita o fluxo eletrônico (partículas positivas e negativas).

2.2.4.3. O uso da energia solar

Segundo a REN21, durante muito tempo Israel foi o único país que exigiu uma participação mínima de aquecimento de água a partir da energia solar. Em 2006, a Espanha passou a exigir níveis mínimos de energia solar tanto para o aquecimento de água quanto para a geração de eletricidade em novas construções como prédios residenciais, hotéis e hospitais. Em 2007, a iniciativa foi acompanhada por países como Índia, Coréia, China e Alemanha. Os percentuais exigidos variam de 30% a 70%, dependendo do clima, nível de consumo e disponibilidade de outras fontes de energia (Brasil, 2008).

No Brasil, não há lei federal que determine a obrigatoriedade de percentuais mínimos na geração de energia para aquecimento de água e eletricidade. No entanto, a cidade de São Paulo promulgou a Lei n° 14.459/2007, sancionada pelo Prefeito Gilberto Kassab, tornando obrigatória a preparação de todas novas casas e edifícios para o uso dos aquecedores solares de água. Casas e apartamentos com quatro ou mais banheiros, incluindo lavabos, são obrigados a instalar os aquecedores solares. Além das casas e apartamentos, ficam, também, obrigados a instalar aquecedores solares de água os seguintes tipos de edificação: a) hotéis, motéis e similares; b) clubes esportivos, casas de banho e sauna, academias de ginástica e lutas marciais, escolas de esportes, estabelecimentos de locação de quadras esportivas; c) clínicas de estética, institutos de beleza, cabeleireiros e similares; d) hospitais, unidades de saúde com leitos, casas de repouso; e) escolas, creches, abrigos, asilos e albergues; f)

quartéis; g) indústrias, se a atividade setorial específica demandar água aquecida no processo de industrialização ou, ainda, quando disponibilizar vestiários para seus funcionários; h) lavanderias industriais, de prestação de serviço ou coletivas, em edificações de qualquer uso, que utilizem em seu processo água aquecida; e i) todas as edificações novas ou não que venham a construir uma piscina aquecida.

Resta, neste instante, aguardar que este exemplo seja seguido pelos demais municípios brasileiros. A energia solar praticamente não enseja impacto ao ambiente e à saúde. O maior problema, atualmente, é o custo para implementá-la. Na Inglaterra, recentemente, foi edificada uma casa cuja energia é totalmente proveniente do sol. Porém, o custo do telhado feito de placas fotovoltaicas é superior da construção de toda a casa.

2.2.5. Energia Eólica

Os moinhos de vento foram inventados na Pérsia no século V. Naquela época, estes eram usados para bombear água para irrigação. No Brasil, esta realidade não é muito distinta, uma vez que o vento é usado principalmente para produzir energia mecânica no bombeamento de água na irrigação. Os mecanismos básicos de um moinho de vento não mudaram desde então: o vento atinge uma hélice que ao movimentar-se gira um eixo que impulsiona uma bomba, gerando eletricidade. Energia eólica é obtida da energia cinética gerada pela migração das massas de ar, a qual é provocada pelas diferenças de temperatura existentes na superfície do planeta. A geração eólica ocorre pelo contato do vento com as pás do cata-vento. Ao girar, essas pás dão origem à energia mecânica que aciona o rotor do aerogerador, produzindo a eletricidade. A quantidade de energia

mecânica transferida está diretamente relacionada à densidade do ar, à área coberta pela rotação das pás e à velocidade do vento. O desenvolvimento de novas tecnologias, estudos sistemáticos de coleta e análise de dados sobre a velocidade e o regime dos ventos permitem o aumento na produção energética gerada pelos ventos (Brasil, 2008).

De acordo com dados da ANEEL, não há estudos precisos sobre o potencial eólico bruto existente no planeta. Porém, estimativas apontam que este potencial seja aproximadamente 500 mil TWh por ano. A World Wind Energy Association (WWEA) registrou o aumento da capacidade instalada mundial de energia eólica, o qual alcançou o patamar de 1.155% entre 1997 e 2007, ou seja, de 7,5 mil passou a gerar 93,8 mil MW em 2007. Em 2007 foi instalado, aproximadamente, 20 mil MW de geração eólica no globo. Os maiores produtores foram Alemanha, Estados Unidos e Espanha que, juntos, concentravam quase 60% da capacidade instalada total. O maior parque estava na Alemanha e o segundo nos Estados Unidos (WWEA, 2007).

A ANEEL afirma ainda que os “ventos brasileiros” são favoráveis à produção de energia eólica, pois estes possuem uma presença duas vezes superior à média mundial e a volatilidade, cuja oscilação da velocidade é 5%, o que aumenta a previsibilidade do volume a ser produzido. Outro fator positivo é a maior velocidade dos ventos em períodos de estiagem, possibilitando a operação das usinas eólicas num sistema complementar com as usinas hidrelétricas. Esta é uma questão importante, haja vista a possibilidade de preservar a água dos reservatórios no período de estiagem e o armazenamento de energia elétrica. A primeira turbina eólica foi instalada no Brasil em 1992, no Arquipélago de

Fernando de Noronha, gerando 75 kW, através do rotor de 17 metros de diâmetro e torre de 23 metros de altura. Em 1994, foi instalada a Central Eólica Experimental no Morro do Carmelinho, em Gouveia, MG, cuja capacidade nominal era 1 MW. Esta central é constituída por quatro turbinas de 250 kW, tem rotor de 29 metros de diâmetro e torre de 30 metros de altura (Brasil, 2008).

No Ceará, a Central Eólica de Prainha tem capacidade para 10 MW, a partir da instalação de 20 turbinas de 500 kW. Na Paraíba, são 13 turbinas de 800 kW e potência de 10.200 kW. Até o ano de 2003, a potência eólica total instalada no país era 22 MW. Em 2008, foi registrada a geração de 273 MW provenientes da energia eólica, o que significa que, nos últimos cinco anos, a taxa média anual de crescimento foi 65%.

Além disso, não foi só o número de unidades que aumentou, mas, também, o seu porte e, em conseqüência, a potência. O que funcionou como trava à expansão foi, de um lado, a alta dependência das importações de equipamentos para montagem das unidades e, de outro, a exigência do PROINFA para que os projetos inseridos no programa tivessem índice de nacionalização de 60%. De qualquer maneira, no segundo semestre de 2008 o Ministério de Minas e Energia anunciava a intenção de rever as regras do PROINFA para solucionar o impasse, ao mesmo tempo em que anunciava, para 2009, a realização de leilões da energia a ser produzida pelos futuros empreendimentos eólicos – instrumento que funciona como sinalizador ao investidor, por permitir a contratação presente da energia que será produzida (Brasil, 2008).

O Atlas do Potencial Eólico de 2001, editado pela ANEEL, aponta para um potencial de geração de energia eólica de 143 mil MW no Brasil. Volume este

superior à potência total instalada no Brasil, em novembro de 2008, qual seja, 105 mil MW.

2.2.6. Energia Geotérmica

A energia geotérmica é aquela obtida pelo calor que existe no interior da Terra. Neste caso, os principais recursos são os gêiseres, ou seja, fontes de vapor no interior da Terra que apresentam erupções periódicas. A partir desta água aquecida é produzido o vapor utilizado em usinas termelétricas. A primeira usina foi construída em 1904. No entanto, a evolução deste segmento foi lenta e se caracterizou pela construção de pequeno número de unidades em poucos países. No Brasil, por exemplo, não há nenhuma unidade em operação, nem sob a forma experimental. A potência instalada no campo de gêiseres da Califórnia é de 500 MW (Brasil, 2008).

Nos últimos anos, no esforço para diversificar a matriz, alguns países, como México, Japão, Filipinas, Quênia e Islândia expandiram o parque geotérmico. Nos Estados Unidos também há iniciativas neste sentido. De acordo com os dados sobre energias renováveis constantes do BP Statistical Review of World Energy de 2008, a capacidade mundial total instalada em 2007 era de 9.720 MW. A maior parte desta potência concentrava-se nos Estados Unidos, com 2.936 MW, Filipinas, com 1.978 MW e México, com 959 MW (Brasil, 2008).

2.2.7. Energia Oceânica

O estudo sobre Fontes Alternativas inserido no Plano Nacional de Energia 2030 afirma que o potencial de geração de energia elétrica a partir do mar inclui o aproveitamento das marés, correntes marítimas, ondas, energia térmica e

gradientes de salinidade. A eletricidade pode ser obtida a partir da energia cinética, produzida pelo movimento das águas ou pela energia derivada da diferença do nível do mar entre as marés alta e baixa. Segundo o citado estudo, um dos países que se destaca nas pesquisas sobre usina maremotriz é Portugal, que tem diversos projetos pilotos. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética – EPE, o total estimado para a energia potencial da maré é de 22 mil TWh por ano, dos quais 200 TWh seriam aproveitáveis. Em 2008, menos de 0,6 TWh, ou 0,3%, eram convertidos em energia elétrica. Os principais locais para aproveitamento das marés são Argentina, Austrália, Canadá, Índia, Coréia do Sul, México, Reino Unido, Estados Unidos e Rússia. Entre os países com projetos piloto para aproveitamento das marés ou das ondas estão Estados Unidos, Canadá, França e Rússia (Brasil, 2008).

A Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia (COPPE) da Universidade Federal do Rio de Janeiro, analisou o potencial energético proveniente do mar no Brasil, o qual seria de 40 GW. A COPPE, atualmente, está implantando um projeto piloto para geração de energia a partir das ondas no litoral do Ceará. Este projeto está sendo realizado em parceria com o governo local e financiado pela Eletrobrás e pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). O almejo é construir uma usina composta por 20 módulos, com capacidade de geração de 500 kW (Brasil, 2008).

2.2.8. Energia Hidráulica

A água é o recurso natural mais abundante na Terra. De acordo com a ANEEL, estima-se que 2/3 da superfície do planeta esteja coberto por um volume de 1,36 bilhão de km³, sob a forma de oceanos, calotas polares, rios, lagos e aquíferos

subterrâneos. A energia advinda da água depende da vazão do rio, da quantidade de água disponível em determinado período de tempo e dos desníveis do relevo, independentemente, destes serem naturais ou artificiais. A usina hidrelétrica é composta por barragem, sistema de captação e adução de água, casa de força e vertedouro, os quais funcionam em conjunto e de maneira integrada.

Altura da queda d'água, vazão, capacidade ou potência instalada, tipo de turbina empregada, localização, tipo de barragem e reservatório são fatores interdependentes, compondo as principais variáveis utilizadas na classificação de uma usina hidrelétrica. Assim, a altura da queda d'água e a vazão dependem do local de construção e determinarão qual será a capacidade instalada. Esta capacidade determina o tipo de turbina, barragem e reservatório. Os reservatórios podem ser de acumulação e fio d'água. Os primeiros, geralmente, localizados na cabeceira dos rios, em locais de altas quedas d'água, dado o seu grande porte permitem o acúmulo de grande quantidade de água e funcionam como estoques a serem utilizados em períodos de estiagem. As unidades a fio d'água geram energia com o fluxo de água do rio, ou seja, pela vazão com mínimo ou nenhum acúmulo do recurso hídrico. Desta forma, as usinas a fio d'água dispõem de uma capacidade de armazenamento muito pequena, utilizando, geralmente, somente a vazão natural do curso d'água. A potência instalada é o fator que determina se a usina é de grande ou médio porte ou uma pequena central hidrelétrica – PCH (Brasil, 2008).

A ANEEL adota três classificações: a) Central Geradora Hidrelétrica (CGH): até 1 MW de potência instalada; b) Pequena Central Hidrelétrica (PCH): entre 1,1

MW e 30 MW de potência instalada; c) Usina Hidrelétrica de (UHE), cuja potência instalada é superior a 30 MW.

A dimensão da rede de transmissão, responsável por levar a energia da usina ao centro de consumo, é determinada pelo porte da usina. Normalmente, quanto maior a usina, mais distante ela estará dos grandes centros, exigindo-se, para tanto, a construção de grandes linhas de transmissão em tensões alta e extra-alta voltagem, ou seja, de 230 Kv a 750 Kv. A princípio, pode-se apontar alguns aspectos positivos da utilização da energia hidráulica: fonte renovável de energia, não gera poluição atmosférica, do solo – não há descarte de resíduos (Reis, 2005).

No entanto, a participação da água na matriz energética mundial é decrescente. Segundo o relatório, publicado em 2008, Key World Energy Statistics, da IEA, entre 1973 e 2006, a participação da força das águas na produção total de energia recuou de 2,2% para 1,8%. Neste período, a produção da energia proveniente da água decresceu de 21% para 16%. Este fato está relacionado ao potencial hidráulico, pois a maioria das nações possui poucos rios para desenvolvimento da energia hidráulica. Ademais, países como os Estados Unidos da América vivenciam graves problemas ambientais em decorrência da implementação de usina hidrelétrica. O primeiro fator é a destruição do manancial e o segundo é a dificuldade de desativar uma hidroelétrica diante da quantidade de resíduos acumulados nos reservatórios, os quais se lançados nos rios acarretariam a destruição da vida aquática local. Se a China e o Brasil observassem a experiência norte-americana provavelmente não implantariam um parque hidrelétrico.

Enquanto o uso da hidreletricidade decresce, a utilização do gás natural, carvão mineral e energia nuclear na matriz de energia elétrica mundial aumentam 4,5%, 1,5% e 5,1%, respectivamente. Questão esta intrigante, uma vez que estas são fontes energéticas não-renováveis, sendo as duas primeiras responsáveis pela emissão de gases de efeito estufa e a terceira pela geração de resíduo nuclear.

Vários elementos explicam esse aparente paradoxo. Um deles relaciona-se às características de distribuição da água na superfície terrestre. Do volume total, a quase totalidade está nos oceanos e, embora pesquisas estejam sendo realizadas, a força das marés não é utilizada em escala comercial para a produção de energia. Da água doce restante, apenas aquela que flui por aproveitamentos com acentuados desníveis e/ou grande vazão pode ser utilizada nas usinas hidrelétricas – características necessárias para a produção da energia mecânica que movimenta as turbinas das usinas (Brasil, 2008).

Estudos da IEA afirmam que nos últimos 30 anos, apenas dois continentes aumentaram a oferta de hidroeletricidade, Ásia, especificamente a China, e América Latina, particularmente o Brasil, em que esta fonte de energia corresponde a 85% da matriz de energia elétrica. A China está construindo a maior hidroeletrica do mundo – Três Gargantas – cuja capacidade instalada será de 18.200 MW, superando a binacional Itaipu, no Brasil, com 14 mil MW. Nesse panorama, em 2007, a China e o Brasil são os maiores consumidores de hidroeletricidade, segundo dados do relatório, *Statistical Review of World Energy*, apresentado pela BP Global (Brasil, 2008).

Coincidentemente, estes países também são os maiores produtores de hidreletricidade. Segundo a Agência Internacional de Energia, o Brasil é o terceiro país do mundo no ranking de capacidade instalada de geração hidroelétrica. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, elaborado em 2004, a China é o país que mais investe em energia hidrelétrica. Além de Três Gargantas, as usinas que estão em edificação na China gerarão um total de 50 mil MW de potência. Ademais, a China tem um dos maiores potenciais tecnicamente aproveitáveis de energia hidráulica no mundo. América do Norte, antiga União Soviética, Índia e Brasil também se destacam em seu potencial de geração de hidroeletricidade. O parque hidrelétrico da Índia está em expansão com 10 mil MW em construção e 28 mil MW planejados para médio prazo (Brasil, 2008).

2.2.8.1. Energia hidráulica no Brasil

No Brasil, água e energia caminham de mãos dadas. A princípio, a força da água foi usada para a produção de energia mecânica. A primeira hidrelétrica brasileira foi construída no final do século XIX, durante o reinado de D. Pedro II, no município de Diamantina, utilizando as águas do Ribeirão do Inferno, afluente do rio Jequitinhonha. A potência desta usina era 0,5 MW, cuja linha de transmissão tinha dois quilômetros.

O Brasil, no entanto, não foi o pioneiro na edificação de usina hidrelétrica. A primeira usina do mundo foi construída em 1961 nas Cataratas do Niágara. A construção de Itaipu Binacional solucionou um impasse diplomático envolvendo Brasil e Paraguai. Os dois países disputavam a posse de terras na região do Salto de Sete Quedas. Este conflito começou no século XVIII, precisamente, em 1750, quando Espanha e Portugal assinaram o Tratado da Permuta, delimitando a

fronteira de suas colônias Paraguai e Brasil, respectivamente. A usina é, hodiernamente, a maior usina hidrelétrica do mundo em geração de energia. Esta possui 20 unidades geradoras e 14.000 MW de potência instalada. Itaipu é responsável por 19,3% da energia consumida no Brasil e 87,3% do consumo paraguaio. Em 2008, a usina de Itaipu gerou 94.684.781 MWh.

O Plano 2015 da ELETROBRÁS, último inventário produzido em 1992, afirma que o Brasil é o país com maior potencial hidrelétrico: 260 mil MW. Porém, atualmente, apenas 30% deste potencial foram transformados em usinas construídas ou outorgadas. De acordo com BEN, elaborado pela Empresa de Pesquisa Energética em 2007, a energia respondeu por 14,7% da matriz energética brasileira. Os derivados da cana-de-açúcar e o petróleo e derivados superaram a energia hidroelétrica, as quais representaram 16% e 36,7%, respectivamente, da matriz energética. Na oferta interna de energia elétrica, a fonte hidráulica representou 85,6%, totalizando 482,6 TWh (Brasil, 2008).

Segundo o Banco de Informações da Geração (BIG) da ANEEL, 2008, o parque hidrelétrico brasileiro era composto por 227 CGHs, com potência total de 120 MW; 320 PCHs, com 2,4 mil MW de potência instalada, e 159 UHEs, com capacidade total instalada de 74,632 MW. Segundo o Plano Nacional de Energia 2030, mais de 70% do potencial hidrelétrico do Brasil encontram-se nas bacias do Amazonas e do Tocantins/Araguaia.

A concentração das duas regiões não se relaciona apenas com a topografia do país. Tem a ver, também, com a forma como o parque hidrelétrico se desenvolveu. A primeira hidrelétrica de maior porte começou a ser construída no Nordeste (Paulo Afonso I, com potência de 180 MW), pela Companhia

Hidrelétrica do São Francisco (CHESF, estatal constituída em 1948). As demais, erguidas ao longo dos 60 anos seguintes, concentraram-se nas regiões Sul, Sudeste e Nordeste (com o aproveitamento integral do rio São Francisco). No Norte foram construídas Tucuruí, no Pará, e Balbina, no Amazonas. Mas apenas nos anos 90 a região começou a ser explorada com maior intensidade, com a construção da Usina Serra da Mesa (GO), no rio Tocantins.

Assim, em 2008, a maioria das grandes centrais hidrelétricas brasileiras localiza-se nas bacias do São Francisco e, principalmente, do Paraná, particularmente nas sub-bacias do Paranaíba, Grande e Iguazu, apesar da existência de unidades importantes na região Norte. Os potenciais da região Sul, Sudeste e Nordeste já estão, portanto, quase integralmente explorados.

O estudo sobre energia hidrelétrica constante do PNE 2030 relaciona o potencial de aproveitamento ainda existente em cada uma das bacias hidrográficas do país. A bacia do rio Amazonas é a maior, com um potencial de 106 mil MW, superior à potência já instalada no Brasil, em 2008, de 102 mil MW. Nesse ano, existem em operação nesta bacia apenas cinco Unidades Hidrelétricas de Energia (UHE): Balbina (AM), Samuel (RO), Coaracy Nunes (AP), Curuá-Una (PA) e Guaporé (MT) (Brasil, 2008).

Segundo dados da ANEEL, as usinas de Jirau e Santo Antônio, no rio Madeira, região Norte, são os novos alvos para expansão da oferta de energia elétrica prevista para o período 2006-2015.

Outra bacia importante é a Tapajós. Em 2008, a ANEEL estuda viabilidade de três aproveitamentos no rio Teles Pires – todos de caráter estruturante – que somam 3.027 MW. Além desses, um estudo encaminhado pela Eletrobrás à

ANEEL prevê a construção de cinco usinas com capacidade total de 10.682 MW no próprio Tapajós. Outra é a bacia do rio Xingu, para a qual está prevista a construção da Usina de Belo Monte, que, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), deverá entrar em obras até o fim da década, com potência instalada de 5.500 MW. Em fase de construção em novembro de 2008, o BIG relaciona 21 empreendimentos. Destes, os maiores, novamente, podem ser observados na região Norte. Entre eles destaca-se a usina de Estreito, com 1.087 MW de potência no rio Tocantins, e Foz do Chapecó, com 855 MW, no rio Uruguai, região Sul do país. No total, tanto as UHEs apenas outorgadas quanto aquelas já em construção deverão agregar 13.371 MW à potência instalada do país (Brasil, 2008).

A transformação da força da água em energia, aparentemente, traduz a inexistência de qualquer impacto socioambiental. Os órgãos atuantes no setor hidrelétrico expõem este discurso diante do almejo de fomentar a construção das grandes centrais hidrelétricas. Porém, estudos de impacto ambiental e respectivos relatórios – EIA/RIMA demonstram o contrário, provando que a construção das hidrelétricas causa severo impacto à fauna e flora local, bem como ao modo de vida da população.

3. DISCUSSÃO

A matriz energética brasileira, como supra-aludido, é composta de fontes não-renováveis e renováveis. As fontes não-renováveis são petróleo e seus derivados, carvão mineral e o urânio. As renováveis são a hidráulica, biomassa, solar e eólica. Todas as formas de energia, inclusive as renováveis, acarretam determinado impacto ao ambiente e à saúde. A Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) nº 01/86, em seu artigo 1º, define impacto ambiental como: *“(...) qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente (...) resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afete: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições sanitárias e estéticas do meio ambiente; e a qualidade dos recursos ambientais.”* (Medauar, 2008).

Da análise dos estudos de impacto ambiental, os resultados surpreendem, uma vez que a sociedade idolatra certas fontes de energia renovável como energia viável e limpa, atendo-se apenas quanto ao aspecto de poluição atmosférica. No entanto, a diminuição do padrão de qualidade do ar não é a única degradação que o ambiente e a saúde podem sofrer. Energia limpa é aquela que não gera qualquer impacto ao ambiente, ou seja, não afeta maleficamente o ar, a água, o solo, a diversidade biológica, o patrimônio paisagístico e histórico e tampouco a saúde humana.

As fontes energéticas atuais são impactantes, umas em maior escala e outras em menor. Estes impactos alcançam interesse difuso cuja proteção depende da conscientização de toda sociedade. Proteger interesse difuso é função do Ministério Público, o qual possui legitimidade ativa *ad causam* para

promover ação civil pública, bem como a ação penal pública, conforme o artigo 129 da Constituição da República (Gonçalves, 2007 a, c). Daí, a importância do estudo dos malefícios advindos do uso da energia, ponderando, para tanto, qual seria a melhor fonte a ser utilizada largamente na matriz energética pátria.

3.1. Petróleo e seus derivados

Na matriz energética brasileira o petróleo e seus derivados são responsáveis por mais de 40% do consumo energético. O alto consumo do petróleo demanda maior cautela das autoridades públicas para dirimir os malefícios causados ao ambiente e à sociedade. O petróleo desde sua extração até sua queima ocasiona impacto ao ambiente e à saúde. A exploração do petróleo pode acontecer em parte terrestre, mar territorial e plataforma continental, cujo domínio pertence à União, conforme artigo 177 da Constituição da República. A administração da atividade de exploração do petróleo pertence à Agência Nacional de Petróleo, a qual foi instituída pela Lei nº 9.478/97. A União, através da ANP, pode por concessão autorizar a exploração petrolífera por outras pessoas (Carvalho, 2006) (Paulo, 2006) (Pietro, 2005).

Todavia, a citada Lei, em seu artigo 8º, IX, impõe proteção ao meio ambiente diante da exploração e produção de petróleo. Determina, outrossim, o uso racional do petróleo e seus derivados, gás natural e biocombustíveis, viabilizando, assim, a preservação do ambiente. A Resolução nº 8 de 21/07/2003 do Conselho Nacional de Produção Energética regulamenta a política de produção de petróleo e gás natural, bem como as diretrizes para efetuar a licitação em blocos exploratórios. O artigo 2º desta resolução exige a observância do aspecto ambiental como variável da exploração petrolífera: “A Agência

Nacional do Petróleo - ANP, deverá, na implementação da política supramencionada, observar as seguintes diretrizes: V - selecionar áreas para licitação, adotando eventuais exclusões de áreas por restrições ambientais, sustentadas em manifestação conjunta da ANP, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis - IBAMA e de Órgãos Ambientais Estaduais.”

A citada Resolução utiliza o princípio da consideração da variável ambiental no processo decisório de políticas de desenvolvimento econômico, uma vez que no processo de definição das áreas a serem licitadas para exploração petrolífera deve-se observar eventuais exclusões de áreas por restrições ambientais, com base nos estudos realizados pela ANP em conjunto com o IBAMA, com o Instituto Chico Mendes de Conservação de Biodiversidade (ICMBIO) e com órgãos ambientais estaduais (Medauar, 2008).

Deve-se ressaltar que qualquer dano ambiental decorrente da atividade de exploração e produção petrolífera enseja o dever de reparar ou indenizar o mal ocasionado ao ambiente. Esta responsabilidade civil respalda-se na teoria objetiva, conforme artigo 14, §1º, da Lei nº 6.938/81 e artigo 927 e seguintes do Código Civil (Mazzilli, 2003). Neste sentido, independentemente, da existência de culpa (imperícia, imprudência e negligência) ou dolo (Gagliano *et al*, 2006, a, b) (Gonçalves, 2007). A União e a ANP são subsidiariamente responsáveis pelo referido dano ambiental diante da detenção do monopólio das jazidas e exploração do petróleo, outrora determinado pelo legislador constituinte. A responsabilidade civil do Estado encontra amparo no artigo 37, §6º, da

Constituição da República, também fundamentada na teoria objetiva (Carvalho, 2006) (Pietro, 2005).

Monié (2003) afirma que a exploração e produção de petróleo pode acarretar risco de acidentes e derramamento de óleo, vazamentos, catástrofes, desastre ecológico, poluição ambiental, degradação ambiental, desmatamento, impacto sobre ecossistemas marinhos e terrestres, potencial poluidor de praias, de costões rochosos, de manguezais, de águas oceânicas, das águas dos rios, poluição do ar, estresse ambiental, alteração dos ecossistemas vizinhos, mudanças no ecossistema marinho/ costeiro, super exploração de recursos naturais, impactos na colocação de dutos, pesquisas sísmicas, riscos de vida; introdução de espécies exóticas, extinção de espécies, destruição da fauna aquática em caso de derramamento de óleo, esgotamento de jazidas, consumo e captação desordenada de água, lançamento de resíduos, aumento do esgoto, mananciais aterrados, pressão sobre o ambiente natural e sobre outros recursos naturais.

Diante da possibilidade de ocorrência dos citados impactos ao ambiente, o CONAMA editou a Resolução n°23/94 a fim de regulamentar a atividade nomeada como EXPROPER (Exploração, Perfuração e Produção de Petróleo e Gás Natural). Na tentativa de minimizar os supramencionados impactos ambientais, esta Resolução determina um conjunto de procedimentos específicos para o licenciamento ambiental inerentes às referidas atividades.

Não obstante os aludidos problemas, a queima de combustível fóssil libera na atmosfera gases de efeito estufa, como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), dióxido nitroso (N₂O) e dióxido de enxofre (SO₂). Segundo, o Programa

Nacional da Racionalização do Uso dos Derivados do Petróleo e do Gás Natural – CONPET, Programa do Ministério de Minas e Energia, os efeitos da exposição dos seres humanos ao monóxido de carbono estão associados à capacidade de transporte de oxigênio na combinação com hemoglobina do sangue, uma vez que a afinidade da hemoglobina com o monóxido de carbono é 210 vezes maior do que com o oxigênio, por exemplo. Se aspirado, o CO substitui o oxigênio na reação que este forma com a hemoglobina, podendo causar morte por asfixia.

O inchaço das capitais brasileiras e o crescente aumento de veículos automotores agravaram a poluição atmosférica nas regiões metropolitanas. Fato este que aumenta severamente os problemas de saúde humana. Nesta perspectiva, o CONAMA editou a Resolução 18/86, instituindo o Programa de Controle de Poluição do Ar para Veículos Automotores (PROCONVE), que visa à diminuição da poluição atmosférica, principalmente em grandes capitais brasileiras, aplicando-se, para tanto, a Resolução CONAMA 242/98 (Sirvinskas, 2005) (Fiorillo, 2005).

Em 1996, o CONAMA elaborou a Resolução 20, a fim de limitar a emissão do monóxido de carbono, hidrocarbonetos e óxido de nitrogênio pela indústria automobilística. A Lei nº8.723/93 determina a redução de emissão de poluentes por veículos automotores. Esta Lei impõe aos fabricantes de motores, veículos e combustíveis uma obrigação de fazer, qual seja, modificar seus produtos para reduzir a emissão de gases de efeito estufa. Esta Lei, embasada no Princípio do Poluidor-Pagador, representa uma solução tomada pelo Poder Legislativo para minimizar os efeitos negativos do desenvolvimento econômico, balanceando, de

um lado, a necessidade do uso do transporte individual e coletivo, e de outro, a proteção ao ambiente e à saúde humana (Kiss, 2004) (Rodrigues, 2005).

Neste sentido, Prier (2001) enfatiza que: *“Sem negar os imperativos técnicos e econômicos, a regulamentação deve ser suficientemente firme para constranger os poluidores a se alinharem à norma fixadora de um limite de toxicidade. O Direito não deve aqui seguir docilmente e com atraso o avanço científico, devendo ser fator de progresso precedendo e provocando por suas exigências as descobertas e melhorias técnicas. É pela obrigação jurídica de atingir um certo resultado julgado necessário para a saúde pública (um teto limite para os poluentes) que os poluidores chegarão a purificar o ar.”*

Neste contexto, os poderes Executivo, Legislativo e Judiciário exercem papel fundamental na tutela ambiental, pois somente a lei pode impor uma determinada conduta social à sociedade, cabendo à polícia administrativa o dever de fiscalizar o cumprimento da norma e ao juiz de aplicar a lei ao caso concreto (Bulos, 2008; Lenza, 2009; Moraes, 2009; Didier *et al*, 2007a,b,c,d).

3.2. Carvão mineral

O carvão mineral tem baixa representatividade na matriz energética nacional, aproximadamente, 6% da oferta interna de energia. Segundo o World Coal Institute, o carvão mineral gera impactos ao ambiente e à saúde. Estes impactos surgem na extração deste minério, bem como através de sua queima. A retirada do carvão mineral da superfície e do subsolo enseja o desflorestamento da área a ser minerada, erosão do solo e, conseqüentemente, deslocamento da fauna local, diminuindo a diversidade biológica.

O uso do carvão mineral nas indústrias acontece através da queima, cujo produto final é a liberação de CO₂ e CH₄. Estes gases são considerados responsáveis pelo efeito estufa, ou seja, gases de efeito estufa ou GEE. De acordo com o Painel Internacional de Mudança Climática, o aumento indiscriminado destes gases na atmosfera são os responsáveis pelo aquecimento global. O aumento da temperatura do globo pode aumentar a incidência de doenças transmitidas por mosquitos como dengue, malária e febre amarela. Ademais, estas doenças podem surgir também em locais em que antes não existiam, como os casos de dengue registrados na Flórida, Estados Unidos. A queima do carvão enseja poluição atmosférica atingindo a saúde humana, agravando doenças como bronquite e câncer pulmonar.

3.3. Urânio

O urânio é um elemento radioativo utilizado em term nucleares para gerar energia elétrica. Na matriz energética brasileira, o urânio corresponde a 1,4% da energia ofertada. O incentivo ao desenvolvimento da energia nuclear no Brasil é ínfimo, diferentemente, de outros países como os Estados Unidos da América, que detêm política de crescimento desta fonte energética.

Embora pouca quantidade de urânio gere muita energia, a extração deste minério e resíduos é extremamente maléfica ao ambiente e à saúde humana. No processo de extração do urânio enseja o desflorestamento da área e a contaminação do solo e da água pelo minério. Não obstante a contaminação do solo e da água na extração do urânio para abastecer os reatores nucleares, outro problema é o descarte dos resíduos provenientes de sua queima. Até hoje não há tecnologia precisa para tratar o lixo nuclear de alta radioatividade. Nicholas

Lensen afirma que até hoje não se sabe ao certo quais são os efeitos da radiação (Brown, 1992). Daí, o questionamento quanto ao local mais adequado para “guardar” este lixo enquanto perdurar sua atividade.

Na realidade, o manejo do lixo radioativo ultrapassa a questão ambiental e alcança o âmbito político, pois a localização deste lixo é algo totalmente indesejado por qualquer país diante dos possíveis riscos à saúde e segurança pública. Ademais, o Ministério do Meio Ambiente detém relatório sobre a existência de perigo de explosões subterrâneas em decorrência do acúmulo de gases no depósito. As explosões poderiam romper as proteções blindadas do depósito, contaminando todo o ambiente e a população local (Antunes, 2006).

Outrossim, há pessoas que defendem o uso da energia nuclear, uma vez que uma pequena porção de urânio tem alto potencial energético, gerando pequeno volume de resíduo. Esta é a tese adotada por James Lovelock (2006) que afirma: *“Uma vantagem incrível da energia nuclear, em comparação com a energia dos combustíveis fósseis, é a facilidade ao lidar com os resíduos produzidos. A queima de combustíveis fósseis produz 27 bilhões de toneladas de dióxido de carbono anualmente, o suficiente, como já mencionei, para formar, se solidificado, uma montanha com mais de 1,5 quilômetro de altura e 19 quilômetros de circunferência na base. A mesma quantidade de energia produzida por reações de fissão nuclear geraria 2 milhões de vezes menos resíduos e ocuparia 16 metros cúbicos. Os resíduos do dióxido de carbono são invisíveis, mas tão mortais que, se suas emissões não forem controladas, matarão quase todo mundo. Os resíduos nucleares soterrados em fossos nos locais de produção não*

ameaçam Gaia e só são perigosos para quem for louco de se expor à sua radiação.”

Na balança de custo-benefício, deve-se sopesar todos os fatores, quais sejam, produção energética, quantidade de resíduos, impacto ambiental e à sociedade. Assim, apesar da energia nuclear gerar muita energia com pouca produção de resíduo, os malefícios deste são graves e de difícil reparação. Expor a população e o ambiente à radiação do lixo nuclear pode gerar problemas de saúde, como câncer, e destruição ou modificação da biodiversidade e da estrutura paisagística do local de armazenamento deste lixo.

Ademais, não há no globo espaço suficiente para armazenamento de resíduo nuclear diante de uma produção em massa deste tipo de energia. Por isso, descabida a análise de Lovelock (2006), pois a energia nuclear gera impactos ambientais e à saúde humana mais severos que a queima de combustível fóssil. De se dizer ainda, que o gás carbônico resultante da queima desta fonte energética é absorvido pela flora no processo de fotossíntese, enquanto que o lixo nuclear precisa de milhares de anos para cessar a radioatividade e se decompor.

3.4. Biomassa

A utilização da biomassa como fonte energética é crescente no Brasil, destacando-se a cana-de-açúcar na produção de etanol e biodiesel. Produto brasileiro cujo preço é inferior ao do petróleo e seus derivados. Neste panorama favorável ao consumidor, a oferta energética por biomassa é crescente na matriz energética brasileira. Como toda fonte energética gera impacto no meio ambiente e na sociedade, a biomassa faz parte desta regra, uma vez que enseja

desflorestamento, seja pela retirada da madeira para transformá-la em carvão vegetal ou para o cultivo da cana-de-açúcar. O desflorestamento gera impactos negativos sobre o solo, fauna e água (mananciais).

A cana-de-açúcar precisa de grandes extensões de terra agricultável para seu plantio, o que demanda a destruição do bioma local, substituindo-o pela monocultura. O incentivo a este tipo de energia favorece à expansão das fronteiras agrícolas, o que no caso do Brasil pode atingir biomas especialmente protegidos como Floresta Amazônica, Mata Atlântica e a Zona Costeira, conforme artigo 225, §4º, da Constituição da República.

Strapasson (2006) aponta os possíveis impactos ao ambiente decorrentes da implementação da cana-de-açúcar como fonte energética: a) redução da biodiversidade, causada pelo desmatamento e pela implantação de monocultura; b) contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo, por meio da prática excessiva de adubação química, corretivos minerais e aplicação de herbicidas e defensivos agrícolas; c) compactação do solo, pelo tráfego de máquinas pesadas, durante o plantio, tratos culturais e colheita; d) assoreamento de corpos d'água, devido à erosão do solo em áreas de reforma; e) emissão de fuligem e gases de efeito estufa, na queima, ao ar livre, de palha, durante o período de colheita; f) danos à flora e fauna, causados por incêndios descontrolados; g) consumo intenso de óleo diesel, nas etapas de plantio, colheita e transporte; e h) concentração de terras, rendas e condições subumanas do trabalho do cortador.

A queima da cana-de-açúcar e da respectiva palha acarreta problemas ambientais e sociais, pois há o lançamento na atmosfera de gases de efeito

estufa, como monóxido de carbono (CO), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x) e óxido nitroso (N₂O), diminuindo o padrão de qualidade do ar. A sociedade que vive nas redondezas do plantio de cana relata o problema cotidiano causado pela fuligem, quais sejam, a dificuldade de manutenção dos ambientes residenciais e de trabalho limpos, a impossibilidade de secagem de roupas em varais no lado externo dos domicílios e o aumento de doenças pulmonares.

Na tentativa de dirimir esta problemática, o Conselho Nacional do Meio Ambiente editou a Resolução 408/09, considerou a queima da palha de cana-de-açúcar como atividade poluidora, determinando estudo de impacto ambiental como requisito para concessão de licença autorizadora desta queima controlada. Todas as propriedades rurais que se dediquem ao plantio de cana-de-açúcar, bem como as outras que utilizam da queima controlada, da palha de cana-de-açúcar, deveriam ser cadastradas. Esta Resolução era um mecanismo jurídico de extrema importância, eis que limitava a emissão de gases de efeito estufa ao ambiente. Porém, em maio de 2009, o CONAMA editou a Resolução 409, revogando a Resolução 408/09, ou seja, a queima da palha da cana-de-açúcar deixou de ser considerada atividade poluidora. Fato este que representa um verdadeiro retrocesso normativo (Benjamin, 2003).

Ressalva-se que as instituições financeiras são solidariamente responsáveis pelos danos ambientais causados pelos projetos por estas financiados, conforme dispõe os artigos 3º, VI, e 14, §1º, da Lei nº 6.938/81.

A oferta de energia a partir da lenha na matriz energética brasileira diminuiu. Este fator se deve pela substituição desta fonte de energia pelo gás natural. Este fator é positivo, pois os impactos ambientais do uso da lenha são

mais graves que aqueles que tangem ao gás natural. Desflorestamento, destruição da fauna e conseqüente diminuição da diversidade biológica são os primeiros impactos causados pela lenha, diante da extração da madeira. Além destes problemas, há a poluição atmosférica diante da liberação de gases de efeito estufa através da queima da madeira.

3.5. Energia solar e eólica

A energia solar praticamente não afeta o ambiente, ao contrário, beneficia, pois o único impacto gerado é a placa fotovoltaica para absorção do calor do sol, a qual possui certo tempo de vida útil. Ofertando tratamento adequado ao descarte da placa, os problemas gerados são praticamente nulos diante dos benefícios alcançados pelo fornecimento de energia solar.

Os impactos ambientais gerados pela energia eólica também são pouco expressivos se comparados a outras fontes de energia. Os problemas ambientais referem-se alteração das paisagens através das torres e hélices, além da ameaça aos pássaros, quando da instalação destas em rotas de migração. Há também a possibilidade de poluição sonora, uma vez que emitem certo nível de ruído. (Reis, 2005).

Na matriz energética brasileira, estas fontes de energia têm ínfima representatividade, menos de 1%. No âmbito jurídico, apenas o município de São Paulo, através de lei municipal, exige a implementação da energia solar pelas atividades de comércio e residências. Almeja-se que este exemplo seja seguido pelos demais municípios brasileiros. Porém, esta evolução legislativa depende da atuação efetiva e consciente do Poder Legislativo, cuja função primordial é a elaboração de leis eficazes a fim de proporcionar o cumprimento do preceito

constitucional exposto no artigo 225: o direito humano ao ambiente ecologicamente equilibrado.

3.6. Energia hidráulica

3.6.1. Impactos ambientais

Os impactos ambientais gerados pelas usinas hidrelétricas iniciam com sua edificação e agravam com seu funcionamento: retirada da flora – desmatamento e alagamento, mortandade da fauna, diminuição da diversidade biológica e destruição de patrimônios histórico, cultural e paisagístico. A perda da vegetação enseja conseqüências graves como a alteração na diversidade ou riqueza da comunidade de aves silvícolas do local da construção. A formação do reservatório atrai aves típicas de ambientes de lago (Reis, 2008).

O tráfego de veículos de grande porte, eventuais explosões em decorrência de detonações planejadas, funcionamento de maquinários diversos ocasionam aumento de ruídos na área do empreendimento, resultando na fuga de aves mais sensíveis. A fauna também sofre impactos com a edificação de grandes hidrelétricas. Mamíferos de grande porte são os mais sensíveis, uma vez que precisam de áreas maiores para se reacomodar. A inundação das áreas florestadas representa a redução de recursos, como espaço, abrigos e alimento para os animais. Insurge, assim, uma tendência à competição por territórios e recursos. Dessa forma, as espécies mais exigentes quanto à qualidade do ambiente são forçadas a partir em busca de outro território.

Os animais que conseguem escapar para áreas mais altas, poderão não se adaptar aos novos *habitats*. Os efeitos da migração forçada ou sobre a dinâmica populacional e utilização de recursos só poderão ser calculados com

monitoramento, antes, durante, depois do alagamento, dentro e fora das áreas afetadas pela edificação da usina. Estas interferências são permanentes nas áreas recobertas de vegetação em estágios mais avançados de regeneração ou outros ambientes que se constituem habitats da fauna silvestre (Reis, 2005).

Aumento do risco de acidentes com ataque de cobras venenosas à população local e atropelamento da fauna também são impactos gerados pela construção das usinas. Há possibilidade de diminuição do número de espécies de peixes que migram rio acima na época da reprodução. A construção de barragens pode causar o isolamento de espécies da fauna e da flora, o que impede o fluxo gênico, ou seja, a passagem das características de um indivíduo vivo a outro.

A contenção da água pela barragem ocasiona alterações nas características ambientais da água e das margens, trazendo alterações no meio biótico. Espécies típicas de ambientes de água corrente, com boa oxigenação e de corredeiras, podem ser extintas. Os espécimes que conseguem habitar ambientes de água parada serão beneficiados.

A caça e a pesca predatória podem aumentar, pois há o aumento da circulação de trabalhadores do empreendimento e fácil acesso às áreas naturalmente protegidas. A alteração do clima na região da usina também é possível, diante do aumento da superfície líquida para evaporação, aumentando o teor de umidade atmosférica, maior incidência de nebulosidade e da intensidade dos ventos, bem como crescente regularidade da temperatura média do ar – menor variação de temperatura.

Assim, os principais impactos gerados pela edificação de usina hidrelétrica incluem:

- inundação de áreas agricultáveis;
- perda de vegetação e da fauna terrestres;
- interferência na migração dos peixes;
- mudanças hidrológicas a jusante da represa;
- alterações na fauna do rio;
- interferências no transporte de sedimentos;
- aumento da distribuição geográfica de doenças de veiculação hídrica;
- perdas de heranças históricas e culturais;
- alterações em atividades econômicas e usos tradicionais da terra;
- problemas de saúde pública, devido à deterioração ambiental;
- problemas geofísicos diante da acumulação de água;
- perda da biodiversidade, terrestre e aquática;
- efeitos sociais por realocização.

Reservatórios em cascata como os construídos nos rios Tietê, Grande, Paranapanema e São Francisco, produzem efeitos e impactos cumulativos, transformando inteiramente as condições biogeofísicas, econômicas e sociais de todo o rio. As usinas hidrelétricas também contribuem com o “efeito estufa”, agravando-o com o lançamento de CO₂ e CH₄.

3.6.2. Impactos sociais e à saúde humana

Não obstante os impactos ambientais gerados pela edificação de usinas hidrelétricas há ainda impactos sociais e à saúde humana. Estes impactos relacionam-se com a contratação de mão-de-obra, alojamentos, desocupação da área a ser submersa pelo reservatório, operação da usina e geração de energia.

Na fase de implementação da usina, seja grande ou pequena central hidrelétrica, a mão-de-obra utilizada, normalmente, é proveniente de outras cidades distintas do local da obra. Estes trabalhadores, em sua maioria, não são qualificados, o que, ao término da obra, acarreta o desemprego.

A demissão da mão-de-obra contratada agrava a situação econômica dos municípios que se vincularam ao empreendimento, uma vez que há a diminuição dos interesses econômicos e sociais que existiram durante a edificação da usina. Fator este que enseja a redução da demanda por produtos e serviços e da circulação de capital.

A construção da barragem ocasiona a elevação do lençol freático, que, conseqüentemente, redundará em efeitos negativos em fundações de edificações, em estruturas enterradas, na estabilidade de encostas marginais, na contaminação de aquíferos, aumento de áreas úmidas e alagadiças que podem funcionar como área de criação de vetores de doenças.

Estes vetores transmissores de doenças parasitárias de interesse médico poderão ter sua proliferação modificada, devido à interferência antrópica na região das PCHs. Na maioria dos casos, os vetores adultos freqüentam o ambiente terrestre, enquanto seus ovos e larvas proliferam em ambiente aquático, deste modo, a fragmentação deste ultimo, bem como as modificações estruturais definitivas na área das usinas, que ocorrem nas fases de implantação, operação e enchimento dos reservatórios, podem favorecer à formação de poças temporárias e alagados com regiões ribeirinhas rasas, o que incrementa as áreas de ocorrência desses insetos, afetando, conseqüentemente, a população. Além disso, a chegada de indivíduos já contaminados por doenças endêmicas

transmitidas por vetores de interesse médico, a geração e acúmulo de lixo e a instalação de caixas d'água e cacimbas podem se constituir em ambientes responsáveis à proliferação de vetores.

A etapa de desmobilização também é caracterizada como geradora de eventos que acarretam a propagação de vetores, pois nesta fase, observa-se o abandono do lixo e detritos, além de alterações físicas no meio ambiente. Como forma de mitigação desse impacto, deve ser adotada a medida preventiva de controle de vetores, através das técnicas usuais de eliminação de criadouros potenciais, implantação de equipamentos de saneamento básico, coleta de destinação adequada de lixo e resíduos gerados pelo empreendimento. A sobrecarga nos equipamentos de saúde da comunidade residente nas proximidades do empreendimento, também se caracteriza em um impacto negativo de grande importância, sendo necessários programas de reforço ao núcleo urbano envolvido (Aguilar, 2006).

O aumento da densidade populacional na área do empreendimento, bem como a ampliação da mobilidade de serpentes, aracnídeos e insetos peçonhentos, durante as fases de implantação, operação das obras principais e enchimentos dos reservatórios, incrementa o número de acidentes.

A construção do empreendimento exige a desapropriação dos imóveis, afetando diretamente famílias que utilizam suas propriedades para a economia rural familiar. O deslocamento das famílias desestrutura as unidades produtivas, obrigando-as a deixar sua história, mudar as técnicas de cultura utilizadas, alterando a rede de relações sociais. Perda de terras agricultáveis, sítios arqueológicos, áreas de preservação ambiental e espaço físico-cultural de tribos

indígenas é um impacto inevitável e irreversível. Ou seja, a hidroeletricidade representa o extermínio da diversidade biológica e da história da humanidade é um caminho sem volta.

A construção de linhas de transmissão e subestações pode ofertar impactos negativos no ambiente e nas pessoas. Efeitos de campos elétricos e magnéticos, inviabilização de áreas agricultáveis, poluição sonora e desmatamento.

A instalação das redes de transmissão enseja a destruição da flora e fauna local para a abertura de estradas de acesso a fim de transportar estruturas e equipamentos, fundação das torres e implantação dos canteiros de obras. Obras de terraplanagem são necessárias para implementar esta fase. No entanto, o procedimento de terraplanagem provoca intenso processo erosivo, que poderão resultar na alteração da drenagem natural, compactação do solo, erosão e desestabilização de encostas, assoreamento e degradação dos cursos de água. Os formigueiros representam grave problemática a atingir as torres de transmissão, pois estes se proliferam em regiões desmatadas. A energia hidráulica é uma fonte de energia renovável, com baixo custo econômico, mas que acarreta severos impactos ao ambiente e à sociedade, nos aspectos social, histórico, paisagístico e da saúde (Aguilar, 2006).

3.6.3. Legislação ambiental

A legislação ambiental brasileira possui quatro marcos: Lei de Política Nacional do Meio Ambiente – Lei n° 6.938/81, Lei da Ação Civil Pública – Lei n° 7.347/85, Constituição da República de 1988 e a Lei Ambiental – Lei n° 9.605/98. A Lei n° 6.938/81 instituiu o Sistema Nacional do Meio Ambiente, ou seja, um conjunto de

órgãos ambientais, dentre estes o Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, Ministério do Meio Ambiente – MMA, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis – IBAMA.

Além dos órgãos ambientais, a citada norma também criou os instrumentos de política ambiental, destacando-se o estudo de impacto ambiental, relatório de impacto ambiental – EIA/RIMA, licenciamento ambiental e a auditoria ambiental (Benjamin, 2003).

A Lei de Política Nacional do Meio Ambiente determina que a construção, instalação, ampliação e funcionamento de estabelecimentos e atividades utilizadoras de recursos naturais, considerados efetiva ou potencialmente poluidores, bem como capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento de órgão estadual competente, integrante do SISNAMA, e do IBAMA, em caráter supletivo. Instrumentos de caráter preventivo e de planejamento, a avaliação de impacto ambiental e o licenciamento ambiental são regulamentados pelas Resoluções CONAMA n° 001/86, 006/87, 009/87, 237/97 e 279/01 (Benjamin, 2006, a, b, c, d).

A Resolução 001/86 impõe a elaboração de EIA/RIMA para todas as usinas de geração de eletricidade, independentemente da fonte de energia primária, que geram acima de 10MW. Esta Resolução determina, ainda, que o EIA/RIMA é público e prevê a realização de audiência pública, possibilitando, assim, a discussão e informação sobre o projeto e respectivos impactos ambientais. A Resolução 006/87 e 237/97 regem o licenciamento ambiental de obras de grande porte, dentre estas as grandes usinas hidrelétricas (Benjamin, 2006, a, b, c, d). São exigidas três licenças:

- licença prévia (LP): concedida na fase de planejamento do empreendimento, aprovando sua localização e concepção, atestando sua viabilidade ambiental e estabelecendo requisitos a serem preenchidos nas fases seguintes;
- licença de instalação (LI): autoriza o início da construção de acordo com as especificações constantes nos planos e projetos apresentados;
- licença de operação (LO): permite a operação do empreendimento, após a verificação do cumprimento do que consta nas licenças retro mencionadas.

O EIA e o RIMA são essenciais para concessão da licença prévia, segundo a determinação da Resolução 237/97, sendo dever do Poder Público exigí-lo no processo de licenciamento ambiental, conforme artigo 225, § 1º, VI, da Constituição da República. Ressalva-se que a exploração e aproveitamento de recursos hídricos em terras indígenas dependem de autorização do Congresso Nacional, de acordo com os artigos 49 e 231, §3º, da Constituição da República.

No ano de 2001, o Brasil passou por uma grave crise energética. Na tentativa de resolver esta problemática, o Poder Executivo editou a Medida Provisória 2.147-2, a qual criou o Programa Emergencial de Redução do Consumo de Energia Elétrica e o Programa Estratégico Emergencial de Energia Elétrica, a fim de compatibilizar oferta e demanda energética, evitando-se a falta deste insumo.

Neste panorama, foi editada pelo CONAMA a Resolução 279/01. Esta Resolução estabeleceu os procedimentos para o licenciamento ambiental simplificado dos empreendimentos elétricos com pequeno potencial de impacto

ambiental, ofertando celeridade ao licenciamento ambiental de pequenas centrais hidrelétricas, usinas termelétricas, sistemas de transmissão de energia elétrica e usinas eólicas.

No entanto, a mencionada norma não conceitua pequeno potencial de impacto ambiental, relegando esta análise ao órgão ambiental licenciador diante do relatório ambiental simplificado apresentado pelo empreendedor. Esta resolução determina que o procedimento de licenciamento ambiental das PCHs deverá ultimar-se em sessenta dias. Neste licenciamento exige-se Relatório Ambiental Simplificado (RAS), conforme artigo 2º, I, da Resolução 279, diferentemente dos demais empreendimentos, os quais são obrigados a apresentar o RIMA (Benjamim, 2003).

Além do RAS, o empreendedor, ao tempo do requerimento da LP, deverá apresentar o registro na ANEEL, Relatório de Detalhamento dos Programas Ambientais, declaração do enquadramento do empreendimento aos termos da resolução, firmada pelo responsável técnico do RAS, cronograma físico-financeiro e outorga de direito de uso dos recursos hídricos ou da reserva de disponibilidade hídrica. Os empreendimentos que não preencherem os requisitos exigidos pela Resolução 279/01 deverão sujeitar-se ao procedimento de licenciamento ambiental ordinário, em conformidade à Resolução CONAMA 006/87 e Resoluções 001/86 e 237/97.

Embora exista um controle prévio de impacto ambiental para implementação da energia hidráulica, licenciamento ambiental e estudo de impacto ambiental, é inquestionável a concretização de danos ao ambiente e à sociedade. O desequilíbrio da balança custo-benefício da implantação da

hidreletricidade é cristalino, uma vez que os danos ocasionados por este empreendimento são, em sua maioria, irreversíveis: destruição da fauna e flora local, diminuição da diversidade biológica, extinção de sítios arqueológicos, deslocamento da população e desaparecimento do patrimônio histórico, cultural e paisagístico. De se dizer ainda, que a PCH também gera, em menores proporções, os mesmos impactos ambientais que uma UHE.

Estes bens ambientais são protegidos pela Constituição da República de 1988, artigo 225, determinando sua preservação às presentes e futuras gerações. Insurge, neste âmbito, o direito do cidadão ao ambiente ecologicamente equilibrado e ao mesmo tempo o dever de preservá-lo para as futuras gerações.

A implantação de usinas hidrelétricas viola o princípio da consideração da variável ambiental no processo decisório de políticas de desenvolvimento Econômico, pois a questão ambiental e social resta visivelmente à mercê do desenvolvimento econômico. Os impactos ambientais, sociais e à saúde humana se sobrepõem aos benefícios ofertados por este empreendimento. Daí, concluímos que, inobstante a ausência de efetiva poluição, a hidreletricidade é uma atividade extremamente impactante. De se dizer ainda que, o Brasil possui potencial para ampliar outras fontes energéticas renováveis em sua matriz energética, quais sejam, eólica, solar e oceânica. Fontes estas que geram menos impacto ao ambiente e à saúde quando comparadas à hidreletricidade.

4. CONCLUSÕES

Associar proteção ambiental ao desenvolvimento econômico, na tentativa de alcançar o desenvolvimento sustentável, é imprescindível para resguardar a vida digna. Viver num ambiente ecologicamente equilibrado é um direito essencial do ser humano, respaldado no Princípio da Dignidade da Pessoa Humana, artigo 1º, III, da Constituição da República (Canotilho, 2007).

Elevador, ar condicionado, aquecedor, microondas, automóvel, aeronave, computador: a tecnologia ofertou à humanidade inúmeros benefícios e comodidades. A manutenção destas facilidades está diretamente ligada à matriz energética. Aliás, o desenvolvimento econômico depende de energia. A tarefa mais árdua atualmente é sopesar este desenvolvimento com o equilíbrio ambiental e da saúde.

A matriz energética brasileira é composta de fontes energéticas renováveis e não-renováveis. Fontes renováveis são aquelas cuja reposição pela natureza acompanha o ritmo de utilização, como a hidráulica, cana-de-açúcar e derivados, lenha e carvão vegetal, solar e eólica. A reposição da energia não-renovável depende de um lapso temporal bem maior que seu consumo, precisando de milhares de anos para sua formação. O petróleo e seus derivados, gás natural, carvão mineral e nuclear são formas energéticas não renováveis.

No Brasil, da OIE total, 45,8% correspondem à oferta de energia renovável. Este fato, a princípio, soa positivamente. No entanto, as fontes energéticas responsáveis por este índice são a energia hidráulica e a cana-de-açúcar e seus derivados, cuja produção gera impactos diretos ao ambiente e à saúde.

Hodiernamente, a energia hidráulica é responsável por 85,3% da oferta interna de energia elétrica no Brasil. Embora esta energia seja uma fonte renovável, ela não pode ser considerada energia limpa, pois severos são os impactos ambientais, sociais e à saúde humana. A sociedade não tem qualquer conhecimento dos impactos gerados pela edificação e manutenção de uma usina hidrelétrica, seja esta pequena, média ou grande.

Daí a necessidade de estudar e analisar os impactos ao ambiente e à saúde provenientes da hidreletricidade e compará-los com as demais fontes energéticas. Afinal, precisamos de energia para prover o desenvolvimento econômico, tecnológico e científico e ao mesmo tempo dependemos de um ambiente ecologicamente equilibrado para vivermos dignamente. Todas as formas de energia têm aspectos positivos e negativos, o que almejamos não é o descarte de uma determinada fonte energética, mas ponderar o uso racional e em conjuntos destas.

Desta forma, ao analisarmos a energia hidráulica encontramos muitos problemas ambientais, sociais e à saúde. Esta conclusão pode ser facilmente demonstrada. Para tanto, tomemos uma balança, equilibrada pelo Princípio da Razoabilidade, num prato colocaremos os impactos advindos da construção e uso da energia hidráulica e no outro os benefícios.

Neste âmbito, ao sopesar os aspectos negativos e positivos da hidreletricidade, os primeiros transparecem a inviabilidade ambiental, social e à saúde na construção de usinas hidrelétricas no Brasil, especialmente, aquelas de grande porte.

O Brasil não possui recursos naturais para sustentar a energia eólica, pois somente a região nordeste do país possui vento suficiente para manter os gigantes ventiladores. No entanto, esta tecnologia além de cara apresenta impacto ao meio ambiente diante da mortandade de aves, as quais são sugadas pelos ventiladores. Ademais, a energia eólica também enseja poluição visual modificando por completo o patrimônio paisagístico e histórico.

A energia solar é uma excelente solução energética. Limpa e renovável, a energia solar praticamente não acarreta impacto ao ambiente e à saúde. Ao que condiz à energia oceânica e geotérmica, não há ainda estudos seguros sobre as conseqüências ao ambiente diante de sua utilização em massa, uma vez que a primeira pode afetar a vida marinha e desequilibrar este ecossistema.

O biodiesel e a cana-de-açúcar e seus derivados são boas possibilidades energéticas, desde que seu consumo esteja voltado para o mercado interno. A exportação desta fonte energética redundaria em graves problemas ambientais, sociais e à saúde. A produção destas fontes energéticas depende de terra para cultivo, o qual é feito por grandes agricultores. Desse modo, a economia familiar rural ficaria prejudicada, pois os grandes agricultores adquirem a pequena propriedade rural, ensejando, assim, o êxodo rural e o agravamento do inchaço das grandes cidades brasileiras. A exportação de bicomcombustível e álcool redundaria na necessidade de aumentar a produtividade, ou seja, mais espaço para o cultivo. Além desta problemática, há a destruição do bioma diante da retirada da vegetação, cuja conseqüência é o afugento e mortandade da fauna.

Outro fator contrário a exportação deste produto é a água, pois a queima do álcool produz gás carbônico e água. Esta água retorna ao meio ambiente local

através das precipitações. Desta feita, exportar álcool é dar, gratuitamente, a água inerente aos mananciais brasileiros aos países estrangeiros.

Após a Revolução Industrial, verifica-se a intensificação do uso de combustíveis fósseis na indústria e nos transportes. A extração do carvão mineral e do petróleo gera impacto ambiental, como qualquer atividade mineradora, como por exemplo, destruição da flora, fauna e topografia. A queima desta fonte energética emite gases de efeito estufa, os quais colaboram na intensificação da mudança climática e agravamento da poluição atmosférica.

Conciliar o uso do biodiesel e do álcool com os combustíveis fósseis é uma estratégia positiva, pois diminuiria a poluição atmosférica pela emissão de enxofre e chumbo, os quais são produtos da queima do petróleo e seus derivados. Outrossim, o uso de combustível fóssil evitaria a expansão das fronteiras agrícolas para o plantio da cana-de-açúcar e a concorrência do cultivo de outras monoculturas destinadas à alimentação humana.

De todas as fontes energéticas, a mais perigosa é a nuclear. Após, a ratificação do Tratado de Não-Proliferação Nuclear, em 1968, a energia nuclear somente pode ser usada para fins pacíficos. A defesa da utilização de urânio como fonte energética deve-se a alta produtividade mediante pouca quantidade do referido minério. As manifestações contrárias a edificação de usinas nucleares tangem ao descarte do lixo nuclear: um problema real e indesejável por todas as nações. Até o presente momento, inexistente solução efetiva para o tratamento dos resíduos nucleares, os quais ficam em atividade por inúmeros anos, expondo a sociedade e o ambiente à contaminação por radiação nuclear. Césio 137 e Usina de Chernobyl são exemplos claros das consequências ambientais, sociais e à

saúde humana pela exposição à radiação: destruição do ambiente, doenças como câncer e morte.

Não obstante os impactos supramencionados, é crescente o uso da energia nuclear no globo, especialmente, pelos países desenvolvidos. O Brasil possui duas term nucleares em atividade e uma em construção. O urânio tem ínfima representação na matriz energética brasileira.

Nesta análise de prós e contras das fontes energéticas, inquestionável é a existência de aspectos positivos e negativos em todas elas. Ao ponderar sobre qual seria a melhor fonte energética sobre o aspecto ambiental e da saúde, a resposta seria nenhuma. Quiçá pudéssemos viver sem depender de produção energética. Todavia, a sociedade jamais abdicará das comodidades e benefícios ofertados pela industrialização, tecnologia e ciência.

Neste panorama, o ideal é usar um pouco de cada fonte energética, ou seja, conciliar todas as formas de energia, tanto renováveis como não-renováveis. Assim, apesar da existência de diferentes impactos ao ambiente e à saúde, estes aconteceriam em menor escala, de forma tal a possibilitar o desenvolvimento de políticas públicas e projetos para minimizar estes impactos.

A História da humanidade já demonstrou ser irrazoável a extrema dependência de uma certa fonte de energia. O uso excessivo de uma única forma energética pode gerar problemas ambientais irreversíveis ou de difícil reparação. Ademais, a escassez desta fonte pode afetar intrinsecamente a economia do país, redundando em problemas sociais. Por isso, a matriz energética de um país deve ser diversificada, devido a sua importância social, econômica e ambiental.

A dependência brasileira da hidreletricidade é temerária, haja vista os citados impactos ambientais e sociais diante da edificação das usinas e os problemas ambientais inerentes às mudanças do clima. Hoje, a energia hidráulica é fonte renovável, mas no futuro esta vertente pode mudar, relegando ao Brasil quantidade insuficiente de água para produção energética (Benjamin, 2009). A desativação das usinas hidrelétricas agrava esta situação, uma vez que ao longo dos anos inúmeros e diversos sedimentos são armazenados nas barragens, impossibilitando a simples abertura das comportas sob pena de incorrer na mortandade de toda fauna e flora existente no manancial. Ademais, o padrão de qualidade da água restaria aniquilado, inviabilizando seu consumo pela sociedade. Esta é uma situação extremamente delicada, pois água significa vida.

Incube ao Poder Executivo o dever de cautela a evitar os supramencionados problemas ambientais, sociais e à saúde humana, conforme determinação do artigo 225, §1º, da Constituição da República, sob pena de ser responsabilizado pelo dano causado à sociedade e ao ambiente em decorrência de suas ações e omissões, como determina o artigo 37, §6º, da Constituição da República.

Por fim, os Poderes Legislativo e Judiciário também são responsáveis em garantir o direito humano ao ambiente ecologicamente equilibrado. Direito este que ultrapassa o presente e alcança as futuras gerações. Às Casas Legislativas incumbe o dever de editar leis eficazes, as quais devem equilibrar as necessidades da sociedade e o respeito ao ambiente (Bonavides, 2008) (Lenza, 2009). A função jurisdicional, exercida pelos magistrados, aplicará esta lei eficaz aos casos concretos, impondo à sociedade o seu fiel cumprimento. A

credibilidade desta função depende da aplicação dos princípios processuais da celeridade e da cooperação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, G. T. (2006). Avaliação de Impacto Social e proposição de medidas mitigadoras – Compromisso com a Responsabilidade Social.
- Antunes, P. B. (2000). Dano ambiental: uma abordagem conceitual. Ed. Lúmen Júris. Rio de Janeiro.
- Antunes, P. B. (2006). Direito Ambiental. Ed. Lúmen Júris. Rio de Janeiro.
- Benjamin, A. H. (2009). Mudanças Climáticas, Biodiversidade e Uso Sustentável de Energia. Instituto Direito por um Planeta Verde. São Paulo.
- Benjamin, A. H. (2006 a). Revista de Direito Ambiental. Ano 11. 41. Ed. Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Benjamin, A. H. (2006 b). Revista de Direito Ambiental. Ano 11. 42. Ed. Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Benjamin, A. H. (2006 c). Revista de Direito Ambiental. Ano 11. 43. Ed. Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Benjamin, A. H. (2006 d). Revista de Direito Ambiental. Ano 11. 44. Ed. Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Benjamin, A. H. V. (2003). Estudo Prévio de Impacto Ambiental. Ed. Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Borba, R. F. (2001). Carvão Mineral. Balanço Mineral Brasileiro. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM.

- Borba, R. F. (2001). Carvão mineral. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM. www.dnpm.gov.br
- BP Statistical Review of World Energy (2008). BP Global. Disponível em www.bp.com. Acesso em: 15/07/2008.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. (2002). Atlas da Energia – Caderno 5 – Biomassa.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. (2003). Atlas de energia elétrica do Brasil – caderno 3.
- Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. (2008). Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Parte II. Fontes renováveis. Capítulo 4. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 25/08/2008
- Brasil. Congresso Nacional. (2005). Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, a qual dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira.
- Brasil. Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2008). Sumário Mineral. Disponível em: <http://www.dnpm.gov.br>. Acesso em: 16/02/2009.
- Goiás. Governo do Estado de Goiás. (2008). Parque gerador elétrico de Goiás. Secretaria de Estado de Infra-Estrutura. Superintendência de Energia e Telecomunicações. Editora Grafset. Goiânia.
- Brasil. Ministério de Minas e Energia. (2007). Resenha Energética Brasileira: resultados preliminares de 2007. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso: 08/05/2009.
- Bonavides, P. (2008). Curso de Direito Constitucional. Malheiros Editores. São Paulo.

- Brown, L. R. (1992). *Desafiando o lixo nuclear*. Ed. Globo. São Paulo.
- Bulos, U. L. (2008). *Constituição Federal Anotada*. Ed. Saraiva. São Paulo.
- Canotilho, J. J. G. (2007). *Direito Constitucional Ambiental Brasileiro*. Ed. Saraiva. São Paulo.
- Carvalho, J. S. F. (2006) *Manual de Direito Administrativo*. Editora Lúmen Júris. Rio de Janeiro.
- Coelho, S. T., Lora, B. A., Monteiro, M. B. C. A., Gorren, R. (2007). *A Sustentabilidade da Expansão da Cultura Canavieira*. Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO. Universidade de São Paulo – USP.
- Didier, F. J. (2007 a). *Curso de Direito Processual Civil*. Volume 1. Ed. Jus Podium. Salvador.
- Didier, F. J., Braga, P. S. e Oliveira, R. (2007 b). *Curso de Direito Processual Civil*. Volume 2. Ed. Jus Podium. Salvador.
- Didier, F. J. e Cunha, L. J. C. (2007 c). *Curso de Direito Processual Civil*. Volume 3. Ed. Jus Podium. Salvador.
- Didier, F. J. e Zaneti, H. J. (2007 d). *Curso de Direito Processual Civil*. Volume 4. Ed. Jus Podium. Salvador.
- Empresas de Energia Elétrica Ipueiras (2005). *Relatório de impacto ambiental/RIMA*. Themag Engenharia. Usina Hidrelétrica Ipueiras.
- Fiorillo, C. A. P. (2005). *Curso de Direito Ambiental Brasileiro*. Ed. Saraiva. São Paulo.

- Gagliano, P. S. e Pamplona, R. F. (2006 a) Novo Curso de Direito Civil. Volume II. Editora Saraiva. São Paulo.
- Gagliano, P. S. e Pamplona, R. F. (2006 b) Novo Curso de Direito Civil. Volume III. Editora Saraiva. São Paulo.
- Gonçalves, M. V. R. (2007 a). Novo Curso de Direito Processual Civil. Volume 1. Editora Saraiva. São Paulo.
- Gonçalves, M. V. R. (2005 b). Novo Curso de Direito Processual Civil. Volume 2. Editora Saraiva. São Paulo.
- Gonçalves, M. V. R. (2007 c). Novo Curso de Direito Processual Civil. Volume 3. Editora Saraiva. São Paulo.
- Gonçalves, C. R. (2007). Direito Civil Brasileiro. Volume 5. Editora Saraiva. São Paulo.
- Hinrichs, R. A. & Kleinbach, M. K. (2003). Energia e meio ambiente. 3. Editora São Paulo: Pioneira. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/Adm/artigos.pdf>. Acesso em: 12/11/2008.
- Kiss, A. (2004). Droit International de l'environnement. Pedone. Paris.
- Lambert, J. M. (2002). Curso de Direito Internacional Público. O MERCOSUL em questão. Volume IV. Editora Kelps. Goiânia.
- Lenza, P. (2009). Direito Constitucional Esquemático. Editora Saraiva. São Paulo.
- Lovelock, J. (2006). A Vingança de Gaia. Editora Intrínseca. Rio de Janeiro.

- Machado, P. A. L. (2008). *Direito Ambiental Brasileiro*. Editora Malheiros. São Paulo.
- Monié, F. (2003). *Petróleo, industrialização e organização do espaço regional*. Garamond. Rio de Janeiro.
- Moraes, A. (2009). *Direito Constitucional*. Editora Atlas. São Paulo.
- Mazzilli, H. N. (2003). *Tutela dos Interesses Difusos e Coletivos*. Editora Damásio de Jesus. São Paulo.
- Medauar, O. (2008). *Coletânea de legislação ambiental*. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Milaré, E. (2004). *Direito do Ambiente*. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Mukai, T. (2002). *Direito Urbano-Ambiental Brasileiro*. Editora Dialética. São Paulo.
- Nucci, G. de S. (2006). *Leis penais e processuais penais comentadas*. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Oliveira, R. R. (1998). *Impactos da instalação de linhas de transmissão sobre ecossistemas florestais*.
<http://www.if.ufrj.br/revista/pdf/Vol5%20184A191.pdf>. Acesso em 06/10/2008.
- Paulo, V. (2006) *Aulas de Direito Constitucional*. Editora Impetus. Niterói.
- Pietro, M. S. Z. (2005) *Direito Administrativo*. Editora Atlas. São Paulo.
- Prier, M. (2001). *Droit de l'environnement*. Editora Dalloz. Paris.

- Reis, L. B. (2005). Energia, recursos naturais e a prática do desenvolvimento sustentável. Editora Manole. Barueri. São Paulo.
- Reis, L. B. (2003). Geração de energia elétrica. Tecnologia, inserção ambiental, planejamento, operação e análise de viabilidade. Editora Manole. São Paulo. pág. 106/107.
- Renewables. (2007). Global Status Report. Disponível em: <http://www.ren21.net>. Acesso em: 08/09/2008.
- Rodrigues, M. A. (2005). Elementos de Direito Ambiental. Editora Revista dos Tribunais. São Paulo.
- Sirvinskas, L. P. (2005) Manual de Direito Ambiental. Editora Saraiva. São Paulo.
- Strapasson, A. B. e Job, L. C. M. A. (2006) Etanol, Meio Ambiente e Tecnologia. Revista de Política Agrícola do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, edição especial Agroenergia, ano XV, nº 3, julho/agosto/setembro 2006.