

O USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA COMO FATOR DE
DESENVOLVIMENTO SOCIAL PARA SEGMENTOS MARGINALIZADOS DA SOCIEDADE

Wilson Mansur de Aguiar

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE
PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE
JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

Prof. Roberto Schaeffer, PhD.

Prof. Aloísio Campos Machado, PhD.

Dr. Márcio Macedo Costa

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL

JUNHO DE 2004

AGUIAR, WILSON MANSUR DE

O Uso de Fontes Alternativas de Energia
como Fator de desenvolvimento Social para
Segmentos Marginalizados da Sociedade
[Rio de Janeiro] 2004

V, 91 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, M.Sc.,
Planejamento Energético, 2004)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro,
COPPE

1. Energias Alternativas
2. Geração Descentralizada
3. Desenvolvimento Sustentado

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciência (M.Sc.)

O USO DE FONTES ALTERNATIVAS DE ENERGIA COMO FATOR DE
DESENVOLVIMENTO SOCIAL PARA SEGMENTOS MARGINALIZADOS DA SOCIEDADE

Wilson Mansur de Aguiar

Junho / 2004

Orientador: Roberto Schaeffer

Programa: Planejamento Energético

Esta tese focaliza a questão de como minorar a má distribuição de renda tendo a geração de energia elétrica limpa e descentralizada como um de seus agentes. O objetivo é mostrar que existem tecnologias, pouco usadas no Brasil, e que poderiam, se implantadas, ser mais vantajosas pela concomitante geração de empregos e mais favoráveis no aspecto estratégico de independência de suprimentos externos. Esta tese também salienta a importância do investimento em pesquisa e desenvolvimento em tecnologias de conversão térmica de energia solar em energia elétrica.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

THE USE OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES AS A SOCIAL DEVELOPING FACTOR
FOR SOCIAL MARGINALIZED SEGMENTS OF THE SOCIETY

Wilson Mansur de Aguiar

June / 2004

Advisor: Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning

This thesis highlights the question of how to improve the income distribution using clean and decentralized electric energy generation as one of its acting agents. The objective is to show that there are technologies, not yet widely spread in Brazil, that if implemented could be more advantageous for simultaneously generating jobs and being strategic for reducing the country dependence for external energy supplies. This thesis also emphasize the importance of research and development investments in solar thermal energy technologies that converts heat into electricity.

ÍNDICE

- 1 Apresentação**
- 2 A Questão Ambiental e Social da Geração Energética**
 - 2.1 Teorias Sociais e Econômicas sobre o Uso da Energia**
 - 2.2 O Uso de Energia e a Evolução Humana**
 - 2.3 A Insustentabilidade no Uso Atual dos Recursos Energéticos**
 - 2.4 A Geração Local como Fator de Desenvolvimento Sustentável**
- 3 A Questão dos Modelos de Desenvolvimento**
 - 3.1 Críticas aos Modelos de Desenvolvimento**
 - 3.2 O Incentivo ao Desenvolvimento da Área Rural**
 - 3.3 A Geração Descentralizada dentro de uma filosofia de desenvolvimento**
- 4 Eficiência Energética**
 - 4.1 Introdução**
 - 4.1.1 Contextualização**
 - 4.1.2 Programas de combate ao desperdício**
 - 4.1.3 Estratégia internacional**
 - 4.1.4 A eficiência energética como planejamento**
 - 4.2 Motivações para um consumo menor**
 - 4.2.1 Motivações econômicas**
 - 4.2.2 Motivações ecológicas**
 - 4.2.3 Motivações sociais**
 - 4.2.4 Motivação de segurança estratégica**
- 5 O Uso de Fontes Alternativas de Energia**
 - 5.1 Introdução**
 - 5.2 Exercício Hipotético e Comparativo de Fontes de Geração**
 - 5.3 Máquinas com Ciclo Termodinâmico de “Stirling”**
 - 5.4 Considerações Finais**
- 6 Conclusões**
- 7 Bibliografia**

Apêndices

- I Cálculo de capacidade geradora**
- II Máquinas Térmicas**
 - II.1 - Máquinas Térmicas e o conceito de Ciclo**
 - II.2 – A Eficiência das Máquinas Térmicas**
- III Ciclos Termodinâmicos das Máquinas de Combustão Externa**
 - III.1 Introdução**
 - III.2 - Máquina a Vapor**
 - III.3 - Máquina de Stirling**

1 Apresentação

A hipótese que guiará este trabalho é motivada, em primeira instância, pela forma insustentável de apropriação e utilização de recursos, materiais e energéticos não renováveis, diante de uma população mundial crescente, além de questões da conjuntura nacional que instigam e preocupam os especialistas que estudam o setor energético brasileiro neste início de século XXI.

A primeira destas questões conjunturais é a persistência histórica da enorme desigualdade na distribuição de renda, dos recursos e da infraestrutura básica para um contingente proporcionalmente grande da população brasileira.

A segunda se refere à questão de quanto e de que forma o consumo de energia elétrica aumentaria, se aquele contingente de desassistidos passasse a ter as mínimas condições condizentes com os níveis alcançados pelo resto da população brasileira nas últimas décadas. Esta questão do aumento de oferta se prolonga pela certeza de que, para alcançar este nível mínimo é necessária uma oferta contínua de energia elétrica para a informação e formação plena de novos cidadãos.

A terceira questão está relacionada às duas primeiras pela constatação de que o Brasil, pelos índices alcançados nas avaliações de desenvolvimento humano, está muito pior colocado do que países na mesma faixa de Produto Interno Bruto per capita, indicando que a pobreza brasileira não é causada pela inexistência de recursos, mas pela sua perversa distribuição.

A quarta questão, a motivar a hipótese central, é a questão ambiental em países em desenvolvimento. Como aumentar a oferta de energia? Primeiro, sem simplesmente importar os modelos de desenvolvimento de outros países, com matrizes energéticas baseadas fortemente em combustíveis fósseis. Segundo, escolhendo as técnicas de geração que melhor se adaptem aos projetos de assentamento humano, em regiões remotas ou desprovidas de qualquer infraestrutura, para que o fator energia seja bem equacionado na busca por uma melhor colocação do Brasil na relação de países por índice de desenvolvimento humano, sem criar contrapartidas desvantajosas para o ambiente.

Por último persiste o dilema de se a economia de mercado seria capaz, por si só, de apoiar o planejamento em oferta de energia para proporcionar, durante o tempo necessário, este elemento de infraestrutura para que um desenvolvimento distributivo se institucionalize.

A hipótese a ser defendida é que, procurando o caminho da geração de eletricidade descentralizada, poderiam ser dadas novas oportunidades de emprego, de distribuição de renda e de inclusão social se as formas de geração forem as mais adequadas. O que é melhor e mais eficiente? Gerar a energia de forma localmente distribuída sem usar combustível fóssil? Importar painéis fotovoltaicos ou gerar energia elétrica a partir da luz solar, mas de forma térmica? Ou dispor do potencial, já instalado, aumentando indefinidamente a rede de distribuição ou investir em novas usinas térmicas a gás centralizadas e em suas linhas de abastecimento?

O que se pretende mostrar é que a eficiência energética, além de seu aspecto no combate ao desperdício na demanda de energia elétrica, pode ter um outro aspecto a ser mais enfatizado. A eficiência, também, pode ser aplicada na forma de acesso à energia, principalmente, pela parte da população menos aquinhoadas, através da sua geração descentralizada e sustentável. Esta forma de acesso à energia pode se tornar uma política

pública de desenvolvimento que não só contribua para diminuir a pobreza de grande parte da população, mas, também, melhore a distribuição de renda, e conseqüentemente, que abra novas perspectivas de dimensões nacionais e regionais de pesquisa, desenvolvimento e produção de equipamentos, tecnologicamente adaptados às diversas condições brasileiras.

Este trabalho se estende por cinco capítulos.

No primeiro a tese é apresentada juntamente com a divisão por capítulos e o resumo do assunto de cada um.

No segundo, algumas teorias sobre a influência da energia sobre a evolução humana são analisadas na tentativa de melhor compreensão do problema humano em conseguir energia e de inserção deste problema dentro dos dilemas da modernidade. São também ressaltados os problemas de agravamento dos efeitos do aquecimento planetário e da atual insustentabilidade nas formas predominantes de geração de energia.

No terceiro são analisados os dilemas da necessidade de promover o desenvolvimento e a forma perversa de como os modelos de desenvolvimento são impostos aos países pobres. Aqui também são mostradas algumas evidências da má distribuição de renda no Brasil e de como a pesquisa e implementação da descentralização e da micro-geração de energia elétrica poderiam contribuir para a mudança deste quadro.

No quarto se faz uma resenha pela eficiência e pelo combate ao desperdício como a forma mais barata de aumento de oferta de energia elétrica.

No quinto se procura mostrar que a necessidade de uma melhor distribuição de renda e melhora das condições sociais pode ser conseguida em empreendimentos alternativos e renováveis, através de um exercício hipotético, onde se pode ter a dimensão de quanto seria o aumento no consumo de energia e de como este aumento poderia ser endogenamente atendido, por projetos com preocupação, tanto técnica, quanto social e econômica. Ainda nesta parte são confrontadas algumas formas alternativas de geração elétrica e analisadas as suas potencialidades de aplicação.

Finalmente, no capítulo dedicado às conclusões, será destacado que no Brasil é necessária uma maior aplicação da geração descentralizada de energia, não só, como forma de oferta energética, mas também, como um dos vetores de aumento nas possibilidades de redução das diferenças sociais e regionais. Como meio de financiar este esforço é proposto que esta forma de geração de energia seja limpa, de forma a obter créditos no mercado de carbono, e que este investimento em geração também reverta em benefício da economia interna. Também se salienta que as verbas, de qualquer fonte, também sejam, em parte, destinadas ao financiamento da pesquisa e desenvolvimento de projetos de geração descentralizada.

2 O Problema Ambiental e Social da Geração Energética

2.1 Teorias Sociais e Econômicas sobre o uso da Energia

Vários pensadores, a partir do século XIX, formularam teorias de como a humanidade vem se relacionando com os recursos que tira do ambiente, entre eles a energia. Na opinião de Machado (1998), que procurou condensar e comparar algumas destas teorias, os sociólogos seriam, de maneira geral, críticos em relação ao sistema industrial, muitos antropólogos e sociólogos importantes, inclusive Marx, fizeram apenas referências indiretas, pelo desconhecimento das ciências naturais ou pela pequena importância que davam às reais condições de sobrevivência nas sociedades humanas. Ainda segundo Machado (1998), o contrário acontecia com os físicos, engenheiros e economistas. Carnot, um engenheiro, definiu a maior quantidade de trabalho mecânico que poderia ser conseguido e as perdas, deste processo, a partir de uma quantidade de energia livre. Spencer, um sociólogo, escreveu que tudo o que poderia acontecer em uma sociedade resultaria da energia dos homens, das energias da natureza dirigida pelos homens, ou das energias físicas que estão em torno e sem possibilidade de direcionamento. Georgescu Roegen, um economista, tem contribuído para o equacionamento das questões energéticas e econômicas a partir do conceito de entropia aplicado ao processo econômico. Mas foi Joseph Henry, um físico, quem primeiro sugeriu que os vários estágios da história humana poderiam ser descritos em termos do controle crescente sobre as fontes extra-somáticas de energia. Wilhem Ostwald, um químico, queria ver reconhecidas as leis da energia e suas aplicações. Ele propôs que o progresso da humanidade consistiria essencialmente na acumulação de toda a energia possível. Frederick Soddy, um físico, afirmava que a energia é o fator fundamental da experiência humana e controlaria a ascensão e a queda dos sistemas políticos, a liberdade e a escravidão das nações. Soddy também admitia que a

economia não tinha desenvolvido formas satisfatórias de lidar com os efeitos do esgotamento de recursos e ela somente lidava com uma escassez relativa e que podia apenas presumir a existência, em algum lugar, de um substituto adequado para cada recurso. O que em sua opinião era um absurdo. A crítica de Soddy à pouca importância dada a limitação no uso dos recursos, materiais e energéticos, e feita em 1922, poderia ser considerada a primeira denúncia formal de insustentabilidade dos processos econômicos.

Machado (1998), porém, ressalta que, juntamente com a teoria de Georgescu Roegen, as obras dos antropólogos Leslie White e do sociólogo Fred Cottrell seriam as mais significativas, do ponto de vista social, devido ao caráter central que os dois últimos teriam dado à energia em relação à organização humana, à cultura e ao desenvolvimento tecnológico. Apesar de reconhecer a importância, Machado também deixa claro que principalmente a teoria da evolução cultural de White teria exageros e pontos pouco claros, mas que seria útil como padrão comparativo de idéias contrastantes ou divergentes na explanação do poder da energia na evolução humana.

Fred Cottrell não formulou uma teoria, mas investigou as relações da sociedade com a energia e mostrou a importância da energia na compreensão de um grande número de processos sociais e que os sistemas de valores seriam influenciados pela energia disponível. Cottrell, citado por Machado (1998), expõe a sua tese como “A energia disponível para o homem limita o que ele pode fazer e influencia o que ele fará”. “Não é fácil estabelecer porque os conversores de energia que o homem utiliza estão incorporados numa matriz social na qual é difícil distinguir as relações primariamente de origem social”. Cottrell parece querer estabelecer que haveria uma relação direta entre o uso da energia e de seus conversores com a matriz social na qual estão incorporados, tornando, portanto, a estrutura social responsável pelos seus usos energéticos. Em outra citação, também de Machado (1998), a importância da tese de Cottrell fica clara para o entendimento dos

problemas atuais da geração energética e em especial para o desenvolvimento deste trabalho. “Se desejamos predizer se um dado grupo desejará mudar da maneira requerida para fazer uso de novos combustíveis e conversores, precisamos saber o que, na situação visada, tem que ser mudado para que estes combustíveis e conversores possam ser usados”. “Isto significaria que é preciso fazer um esforço cuidadoso para distinguir entre as relações sociais que são dependentes do uso dos atuais conversores, e aquelas que se pode esperar que continuem, mesmo que novas fontes de energia os energizem. Somente no grau em que saibamos o que precisaria ser mudado, poderíamos conhecer os custos da mudança e estimar o desejo humano de alterar a sua sociedade”. Uma interpretação desta última citação será feita no quarto capítulo a respeito da perpetuação do paradigma no uso de combustíveis fósseis em detrimento de formas sob vários aspectos mais vantajosas. Cottrell admitiria ainda que termodinamicamente o homem só conseguiria existir se conseguisse repor a energia que usa no processo de viver. Isso, dito no começo da década de 1950, no apogeu do desenvolvimentismo pós-guerra, não torna esta tese menos atual diante das decisões, cada vez mais urgentes, em relação às formas de geração energéticas e em relação ao ambiente, como continuaremos a ver mais adiante. Cottrell não arriscou nenhuma predição do comportamento do sistema social baseado na energia. De fato é fácil encontrar exemplos na estratégia de escolha e de aplicação de fontes energéticas nos quais se a energia é abundante nem sempre as escolhas recaíram sobre as mais eficientes, econômica, ambiental ou socialmente falando.

A teoria de White se basearia, então, na definição de cultura como sendo uma organização integrada de três subsistemas: o tecnológico, o sociológico e o ideológico. O primeiro representaria tudo aquilo que constitui a articulação do homem com seu habitat através de técnicas, instrumentos e materiais. O segundo representaria os padrões de comportamento que expressam as relações interpessoais familiares, coletivas ou individuais. O último representaria as formas simbólicas e a linguagem articulada que expressam

conhecimentos, idéias ou crenças. O sistema cultural seria a inter-relação das três categorias, cada uma agindo e reagindo uma sobre as outras. Porém, White reservou ao subsistema tecnológico o primeiro plano argumentando que o homem depende de alimentos e proteção para sua subsistência e conversão de energia, e são os meios tecnológicos que possibilitariam ao homem os meios de sobrevivência. Os outros dois subsistemas, o sociológico e o ideológico ficariam condicionados pelas tecnologias, e todo o sistema social ficaria, portanto, determinado pelo sistema tecnológico. Os sistemas tecnológicos seriam básicos e primários, os sistemas sociais seriam função das tecnologias, e os sistemas ideológicos ou filosóficos expressariam as forças tecnológicas e refletiriam os sistemas sociais. A vida seria então um processo de construção de sistemas mais organizados, contra a tendência do cosmos à desorganização, e uma busca pela energia livre. Assim, a energia precisaria ser dominada (quantidade de energia per capita por ano), dirigida (pela eficiência dos meios) e controlada (quantidade de bens e serviços produzidos) por meios tecnológicos. O grau de desenvolvimento cultural (medido em termos de quantidade de bens e serviços per capita, para a satisfação de necessidades), poderia então ser expresso pelo produto da quantidade de energia controlada per capita pela eficiência dos meios tecnológicos utilizados. Segundo White, se todos os fatores permanecessem constantes a evolução cultural se daria quando aumenta a quantidade de energia controlada per capita por ano ou quando aumenta a eficiência dos meios com os quais o trabalho é conseguido a partir da energia (White – 1949). Ao contrário de Soddy, White não considerou, em sua teoria, os limites da biosfera e dos ecossistemas como fornecedores de energia de baixa entropia, e dos limites termodinâmicos desta obtenção. Com esta crítica, também concordaria Newcomb (1976), que, além disso, ainda menciona o fato de que a mobilização de recursos energéticos pode trazer prejuízo para a saúde, o bem estar e o ambiente. Ele acrescenta “Quanto maior o nível de uso da energia maior é a possibilidade de que os benefícios econômicos e tecnológicos sejam ultrapassados pelos custos sociais e ambientais” (Newcombe -1976). Pode-se dizer até que ele se aproxima de

Ivan Illich em seu conceito de “contraprodução”, citado por Dupuy (1980), pelo qual os incrementos tecnológicos, em um primeiro momento, melhorariam as condições de vida de uma população, mas se continuarem a crescer, a partir de certo ponto, existe a possibilidade de uma piora considerável destas condições, tornando os incrementos tecnológicos em fatores contraproducentes.

As questões da modernidade, que se impõem, transcendem a questão da energia ou do desenvolvimento, mas, a questão energética não pode prescindir de uma análise da forma em que é feita a sua inserção dentro das correntes do pensamento, tanto da ancestralidade intelectual, quanto da atual. As teorias, e os teóricos que as formulam, não deixam de estar eles mesmos inseridos, ou de certa maneira condicionados, pelas condições e circunstâncias em seu em torno. As constatações, que hoje já foram acumuladas pelos ancestrais do pensamento, colocam novos teóricos e críticos mais próximos das novas realidades. Dupuy (1980), destaca que a sociedade civil composta por relações mercantis, de Adam Smith ou de Hegel, não seria a mesma na acepção de Gramsci, na qual sociedade seria o conjunto dos aparelhos ideológicos e culturais que organizam o consentimento social. O que está de acordo com a teoria Marxista, mas ambigualmente, como ela, negando a presença das relações mercantis, e ao mesmo tempo, necessitando a sua presença como fatores reguladores de um equilíbrio natural, Dupuy (1980). Também não seria o resultado dos meios tecnológicos, como definiu White, talvez porque a ele faltou, ou não tenha interessado, a concepção do pensamento ecológico, que segundo Dupuy (1980) é uma tentativa de reconstituição ou consolidação das relações de reciprocidade, no voluntariado, na cooperação e na ajuda mútua, fundadas na vida comunitária.

2.2 O Uso de Energia e a Evolução Humana

Quando a humanidade deu o grande salto, conhecido como a Revolução Agrícola, teve início um processo de acúmulo de alimentos, pelas populações que o praticavam. Este processo baseou-se no favorecimento de algumas espécies, vegetais e animais, através do estabelecimento de condições para que estas espécies eleitas pudessem complementar ou até substituir vantajosamente a simples caça e a coleta de alimentos para a subsistência. O estabelecimento paulatino do novo modelo de vida exigiu toda uma mudança de comportamento, que se por um lado pode ter permitido períodos mais livres após as grandes colheitas, pode também ter trazido a necessidade de uma maior disciplina coletiva e de um trabalho metódico, sem os quais os resultados não apareceriam. O preço desta mudança de hábitos foi absorvido durante milênios. A percepção das vantagens relativas que as populações começaram a ter umas diante das outras, a capacidade de organização e mobilização, melhores condições de vida, fizeram com que o Homem se afastasse cada vez mais de seu ambiente natural no seu trajeto adaptativo, primeiro ao ambiente primitivo, depois às condições que ele mesmo passou a criar. Price (1995), em um trabalho sobre a energia e a evolução humana, ressaltou a capacidade única da humanidade, em relação às outras formas de vida do planeta, de adaptação extra-somática. Este tipo de adaptação faria com que a tradicional tendência da evolução fosse acelerada. Com ela o homem poderia dispor dos recursos ao seu alcance para contornar as eventuais dificuldades que o clima e a busca por alimentos apresentassem, o que corroboraria a teoria de White, mencionada acima. Neste trajeto a humanidade aprendeu como gerar mais energia, de um modo diverso do que era proporcionado pelas próprias mãos humanas, ou posteriormente por animais. Passou, com isso, a produzir muito mais do que poderia imaginar o primeiro caçador ou agricultor. Esta energia, quando extraída dos ventos ou das correntes de água, através de mecanismos ou instrumentos, pouca ou nenhuma alteração introduzia no ambiente, a não

ser a possibilidade de um aumento da concentração das populações em torno das fontes naturais desta “energia” e dos locais mais propícios, primeiramente à caça, posteriormente às culturas agrícola e pecuária. O controle energético do vento e da água permitiria principalmente a diminuição de mobilização de trabalho para a irrigação, transporte, moagem ou outros beneficiamentos da produção (Martin 1990). O aumento das concentrações humanas nestes locais propícios, porém, fazia com que as epidemias e os grandes cataclismos naturais tivessem proporções mais devastadoras. Mas, tão prejudicial quanto esta desvantagem, o ônus da abundância ficaria evidenciado na dependência de estruturas, tanto produtivas quanto administrativas, fundamentais para a manutenção deste novo patamar de existência. No antigo sistema a natureza tinha um poder maior de controle, no sentido de que tudo dela provinha, mas as quantidades eram também por ela proporcionadas, sendo este o limite de qualquer expansão ou concentração populacional (Odum -1983).

Enquanto esta energia extra-somática provinha de fontes naturais ou renováveis não houve na atmosfera mudança significativa de origem antrópica, salvo a mais rápida devastação de florestas do que a natureza conseguia naturalmente renovar. Esta fase da humanidade é historicamente encerrada em meados do século XVIII. A partir de então a nova “revolução” em curso, baseada na força do vapor como força motriz, passou a demandar mais do que a natureza conseguiria repor, nos acelerados prazos que esta nova “revolução” determinava. A lenha para alimentar as caldeiras já não seria mais suficiente, e passou-se a usar o carvão mineral como combustível. Toda a tecnologia advinda deste processo acelerou de forma nunca vista a produção de bens e o consumo cada vez maior de recursos. Porém um limite estava sendo ultrapassado. Ao se queimar cada vez mais combustíveis fósseis o nível de gás carbônico na atmosfera começou a aumentar (1), não sendo suficientes os recursos naturais de absorção deste gás para que o equilíbrio se restabelecesse (2). A temperatura média da superfície do planeta desde então vem aumentando pelo agravamento artificial do

“Efeito Estufa”. O aproveitamento do petróleo sucedeu rapidamente, a partir do final do século XIX, ao carvão como principal combustível da máquina desenvolvimentista das nações mais ricas. Deste somatório de ofertas de combustíveis fósseis resultou o aceleração do processo de acúmulo dos gases responsáveis pelo efeito de aquecimento, muito além do equilíbrio conhecido. A maior facilidade de obtenção e uso dos subprodutos do petróleo tornou a queima deste combustível quase que universal pela inércia da infraestrutura técnica e dos hábitos (Martin -1990), pela disponibilidade de tecnologia e pelo preço sem concorrente. Quem não consumisse petróleo, ou seu eventual substituto o carvão, estaria fora do concerto das nações. Entretanto, alternativas renováveis aos combustíveis fósseis eram conhecidas, mas somente em ocasiões de grande crise ou guerra foram usadas pela desproporção do preço que as tecnologias voltadas exclusivamente ao aproveitamento de fósseis, com uma oferta abundante e barata de combustível e que a economia de escala da produção de equipamentos impunham. Como exemplo, ainda recente, o uso de etanol de batatas e beterrabas na Alemanha e de gasogênios veiculares (gaseificadores de carvão vegetal), durante a Segunda Guerra Mundial, para substituir a gasolina. Estes últimos dispositivos inclusive no Brasil, segundo dados da Fundação Getúlio Vargas (CPDOC-FGV) 2003.

2.3 A Insustentabilidade no Uso Atual dos Recursos Energéticos

Na tentativa de fazer com que fosse possível a expansão sem limites das comodidades adquiridas, a humanidade, dita civilizada, ficou refém de um modo de vida insustentável. Esta insustentabilidade (3), já evidenciada por Meadows (1973) e ONU (1987), revela-se desproporcional e injusta quando colocada diante do fato de que para alimentar o enorme desperdício de uma minoria, a totalidade, inclusive esta minoria, depara-se com perspectivas catastróficas pela rápida erosão das condições de vida na atmosfera do nosso planeta. Esta injustiça agravar-se-ia na medida em que os primeiros a sentir esta erosão

nas condições de vida, na maioria das vezes já bem degradada, são exatamente aquelas populações que menos condições e recursos teriam de se proteger e sobre as quais pesam menos responsabilidade na degradação das condições atmosféricas (4), sem querer mencionar aqui a poluição dos solos e das águas, de profundidade ou de superfície.

Com os custos ambientais cada vez mais altos e com a possibilidade de produção de energia renovável cada vez mais disponível (como será visto no quarto capítulo), caberia agora, e na velocidade dos nossos tempos, uma nova “revolução”, que se não trouxer em seu bojo a mesma importância material das suas duas predecessoras, tem como premente função uma modificação acentuada na maneira como a humanidade terá que dispor dos recursos que ainda lhe restam (5). Isto inclui a forma como se dará a relação do Homem com os processos naturais de regulação da atmosfera e diz respeito à forma de obtenção e uso da energia. A proposição para a gradativa substituição dos combustíveis fósseis por renováveis já faz parte da agenda mundial em vários fóruns de debates, como o de Kioto no Japão em 1997. Neste encontro foi assinado, por muitos países, o propalado Protocolo de Kioto. Neste documento, é proposta a redução das emissões de gases do Efeito Estufa. Este documento, entretanto, ainda não foi ratificado pelos principais emissores de CO₂ do planeta. Esta nova maneira de abordar o problema ambiental da geração energética tem defensores com Hermann Scheer, da Alemanha. Ele propõe a substituição de toda e qualquer forma de combustível fóssil por aqueles de origem solar, eólica ou biológica, sem, entretanto, explicar quanto tempo esta mudança levaria e de como o mercado absorveria os custos por esta mudança, Scheer (2002). A motivação para esta “revolução” viria da necessidade de sobrevivência ou do despertar de uma nova consciência, mais do que pela busca de ganho material. Os cenários (6) que se poderiam projetar no futuro produzem impactos diferentes quando se imagina o seu poder nas decisões de escolha, no presente, dos vários segmentos das populações ou de seus governos, atores do drama que hoje

vivemos. Revoluções e novas maneiras de se conceber a vida nunca foram recebidas com facilidade, principalmente por quem detém o poder.

Novos conceitos, como a da sustentabilidade, são sempre passíveis de várias interpretações, e ainda não foram assimilados, principalmente pelas visões econômica e política que tendem a enxergar o planeta como uma massa uniforme ou globalizada. O exame da questão do desenvolvimento sustentável expõe, da perspectiva política de geração de energia, as posições conservadoras ou convencionais de grandes corporações ou mesmo de governos que têm no rápido retorno de investimentos, na manutenção de monopólios ou da hegemonia econômica os únicos interesses. Por um lado existe uma confiança de que a pesquisa em tecnologia resolverá todos os problemas, (ver a crítica de Frederick Soddy no item 2.1), e que esta mesma tecnologia será a mercadoria do futuro, vendida a preços que tornarão mais profundas as diferenças entre os que têm e os que não a tem (7). Por outro, a geopolítica do petróleo torna seu preço sujeito a todo o tipo de especulação (8), fazendo com que as tecnologias “limpas” encontrem nas incertezas do preço do petróleo a maior dificuldade para a sua generalização. Entre estas duas posições se localiza a procura por um convívio harmônico com o planeta e seus mecanismos de regulação onde os sistemas se desenvolvem em torno da imposição axiomática de que para operar organizações cada vez mais complexas (baixa entropia) é necessário um aporte de energia cada vez mais concentrada, para a manutenção desta baixa entropia, e com dissipação de parte da energia nesta atividade.

Eugene P. Odum, em seu trabalho “Ecologia”, (Odum - 1983), explica que tanto a primeira lei da termodinâmica, da conservação da energia, quanto a segunda, lei da entropia, moldam as características de todos os organismos, ecossistemas e da própria civilização. “Eles são sistemas termodinamicamente abertos, fora do ponto de equilíbrio, que trocam continuamente energia e matéria com o ambiente para diminuir a entropia interna, à medida

que aumentam a entropia externa. A civilização é apenas uma das extraordinárias proliferações naturais que dependem do influxo constante da energia concentrada”. O interesse para a ecologia reside em como o uso de energia provinda de fontes energéticas concentradas, como os combustíveis fósseis e nucleares, nas sociedades industrializadas. Ele prossegue comentando que as mesmas leis básicas que regem os ecossistemas regem os sistemas não vivos como motores, elétricos ou de explosão interna. “A diferença é que os sistemas vivos utilizam uma parte da sua energia disponível internamente para o auto conserto e para a expulsão da desordem, enquanto as máquinas têm que ser consertadas e substituídas com o uso de energia externa. No nosso entusiasmo pelas máquinas esquecemos que uma grande quantidade de recursos energéticos deve ser reservada sempre para reduzir a entropia criada pela sua operação”. Poderíamos completar com, e para sua fabricação e obtenção dos recursos e matérias primas.

Portanto, a contradição entre as posturas convencionais e o verdadeiro conceito de sustentabilidade deverá ser o principal, senão o único, grande moto argumentativo para as decisões em torno de qual deverá ser o cenário para a humanidade do futuro.

2.4 A Geração Local como fator de Desenvolvimento Sustentável

O Brasil, que pela sua matriz energética relativamente limpa, é um dos países que mais condições tem de se tornar “auto suficiente em sustentabilidade”, pode e deve assumir a sua parte no desenvolvimento e institucionalização deste conceito. Condições naturais não faltam, as condições sociais imploram e a contradição entre o paradigma de apropriação de recursos não renováveis e o verdadeiro conceito de sustentabilidade já são suficientes para que este caminho seja procurado. A geração descentralizada de energia e a adoção de práticas e técnicas eficientes, que melhorem as condições de vida, ao mesmo tempo em que tornem a mão de obra mais bem aproveitada e a economia melhor distribuída,

certamente não encerrarão esta busca pela sustentabilidade, mas certamente oferece uma perspectiva de um cenário futuro, hoje utópico, de população com o crescimento controlado, a igualdade social e econômica mais próxima, a tecnologia mais eficiente e ambientalmente mais amigável difundida e aplicada, e, portanto, com menores possibilidades para o aparecimento de conflitos.

O Brasil, hoje, toma cada vez mais consciência de que social, econômica e energeticamente existem dois tipos de população em seu território. O tratamento dispensado a estes dois estratos, para ser igualitário em sua filosofia, universalizante nos princípios de como será a distribuição dos recursos, e engajado na manutenção das condições atmosféricas, deveria, entretanto, fazer distinções. Para aquela parcela da população brasileira, já de certo modo atendida pela oferta de energia elétrica e de outros itens de infraestrutura básica, cabe a adoção de posturas eficientes com a busca simultânea pelo combate ao desperdício. Esta consciência é fundamental para a futura existência nos populosos centros urbanos e em qualquer cenário futuro. Portanto, o planejamento de um aumento de oferta deverá contar com uma diminuição do consumo pelos vários programas de Gerenciamento pelo Lado da Demanda, Eficiência Energética e Combate ao Desperdício, como será visto no capítulo 4. Porém, para aqueles brasileiros que vivem nos bolsões de pobreza, nos campos e nas cidades, desprovidos de qualquer infraestrutura para a sua manutenção dentro de padrões aceitáveis, caberá para a sua inserção, dentro destes padrões, uma grande quantidade de energia, sem, entretanto, abdicar da Eficiência Energética e Combate ao Desperdício. O planejamento para o aumento proporcional desta oferta, independentemente do tempo e da intensidade da demanda, terá que levar em consideração os graves problemas climáticos advindos da queima de combustível fósseis. A consciência aqui é talvez mais importante que para o primeiro estrato, porque envolve a abertura de um horizonte a uma população atualmente marginalizada. Este resgate ético ou moral deve, também, ser racional pelas oportunidades de aplicação em seu

desenvolvimento de técnicas sustentáveis que, sem dúvida, reforçará a instituição de uma nova filosofia de convívio com a natureza sem agredi-la irremediavelmente, como tem sido feito até agora.

Portanto, é tendo em foco a continuidade da própria vida, como conhecemos, que o discurso deste trabalho se desenvolverá dentro da idéia de que o bem estar da humanidade deve vir do convívio sustentável com o ambiente. Este trabalho pretende mostrar que hoje no Brasil se encontram condições para que seja difundida entre uma boa parcela da população, hoje alienada da vida econômica do país, uma maneira de viver economicamente viável, com produção de alimentos, energia e dignidade social. Não se trata, entretanto, de condenar outras formas de geração de energia, mas, de demonstrar que novos empreendimentos podem ser iniciados de forma que com a aplicação de tecnologias sustentáveis, e hoje já disponíveis, como será visto no quinto capítulo, possam ser logrados vários dos objetivos, necessários para um futuro melhor e sustentável.

NOTAS

1 – A média de energia solar que incide na superfície da atmosfera é de 1.368 W/m^2 . Aplicando-se a Lei de Stefan – Boltzmann, onde: S = energia solar/ m^2 , A = albedo ou reflectividade (0,36), $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ Wk}^4/\text{m}^2$, T = temperatura K,

$$S \times \pi \times R^2 (1-A) = \sigma T^4 \times \pi \times R^2.$$

Saberemos a temperatura da Terra se ela se comportasse como um corpo negro. T seria igual à -18°C , o que corresponderia a um clima gelado. Para manter os seus 15°C de média alguma energia é absorvida, ficando presa na atmosfera pelo Efeito Estufa. Fazendo-se agora $T = 15^\circ\text{C}$, na fórmula acima, se obtém a diferença entre a energia do sol incidente e retida pelo Efeito Estufa. Esta diferença é de $1.062,9 \text{ W/m}^2$, correspondendo a 74% da energia incidente.

O Efeito Estufa consiste neste fenômeno de absorção de energia, que, vinda do sol na forma de ondas curtas (ultravioleta e espectro visível) e na reflexão de energia, na forma de ondas longas.

As nuvens, o CO_2 e outros gases, presentes na atmosfera, não absorvem o espectro de ondas curtas, mas somente a radiação, na forma de ondas longas que a Terra reflete. Então ocorre que de toda a energia que vem do sol, o espectro de ondas curtas é absorvido na superfície, enquanto o espectro de ondas longas é parte absorvido na atmosfera e parte absorvido pela superfície. A superfície volta a emitir a energia recebida sob a forma de ondas longas, estas ficam sendo absorvidas e refletidas pela superfície e pelos gases na atmosfera. Uma pequena parte é perdida para o espaço, correspondendo a 36%.

O balanço de energia pode ser avaliado tomando-se o gráfico superposto [Irradiância espectral ($\text{W/m}^2\text{Å}$) x Comprimento de onda (μm)] das irradiações solares extraterrestres do corpo negro a 5900 K e a radiação ao nível do mar. O corpo negro e o sol se assemelham, enquanto que a radiação ao nível do mar se assemelha ao corpo negro a 300 K . Devido à absorção dos gases da atmosfera existem várias descontinuidades nesta curva.

O oxigênio molecular e o ozônio absorvem nas faixas do ultravioleta ($0,3\mu\text{m}$) e no começo do infravermelho ($0,8\mu\text{m}$). A água, sob a forma de vapor, e o CO_2 absorvem em várias faixas, sendo as mais expressivas no espectro infravermelho, (acima de $0,7 \mu\text{m}$). O espectro visível ($0,4$ a $0,7 \mu\text{m}$) só é um pouco absorvido pelo O_3 e o vapor de água. (NASA, 2002)

2- A importância do Efeito Estufa é o seu equilíbrio, alcançado pelas interações harmônicas entre os seres vivos e o planeta, nas atividades complementares de respiração e fotossíntese associadas aos inventários de carbono na forma de vegetação, fósseis (petróleo, carvão e calcário marinho) e sedimentos (metano). Com a queima de combustíveis fósseis e desmatamento acelerado, aumentou a presença de CO_2 na atmosfera, além de outros gases, que incrementam o Efeito Estufa, fazendo com que a superfície da Terra se aqueça aceleradamente. A quebra deste equilíbrio alteraria o clima, produzindo secas ou inundações fora dos padrões até então observados. O degelo das camadas polares e a interrupção de forma irreversível de correntes marítimas, como a Corrente do Golfo, são hipóteses plausíveis, que se materializadas trariam consequências desastrosas para toda a biosfera (Broecker, 1991).

A absorção do gás carbônico se dá na superfície principalmente pelo fenômeno da fotossíntese nos vegetais. Desta maneira o carbono é retido nos tecidos celulares das plantas. Nos animais o carbono também está presente em todas as estruturas celulares. A importância dos vegetais para a acumulação do gás carbônico é o volume e a inércia dos depósitos. Nos oceanos o acúmulo de carbono é feito nas carapaças de microorganismos marinhos. Os depósitos deste material no fundo dos mares constituem o que geologicamente se conhece por depósitos sedimentares de calcário e de magnésio (carbonato de cálcio e de magnésio). Outra forma de aprisionamento de carbono é sob a forma de metano. Este gás, produzido pela decomposição de matéria orgânica, é arrastado pelos rios e depositado no fundo dos mares, junto com o material decomposto originado em ambiente marinho. Com a temperatura baixa o metano é acumulado em grandes depósitos. Vigorando a hipótese do aquecimento global, este gás se desprenderia dos leitos oceânicos, pelo aumento de temperatura, agravando ainda mais os efeitos do aumento da concentração do gás carbônico.

3 – Dentre os diversos relatórios, que denunciaram o consumo excessivo e a injustiça na divisão dos recursos, podem ser citados dois:

3.1 - Em 1972 o Clube de Roma, lançou o relatório “The Limits to Growth” (Os Limites do Crescimento), seus autores - Donella H. Meadows, Dennis I. Meadows, Jorgen Randers, William W. Behrens III – alertavam para os problemas que o modelo de crescimento não se sustentaria por muito mais tempo, mantidos os níveis de consumo no mundo rico e o empobrecimento e agravamento das questões social das parcelas mais desvalidas do planeta. Propuseram um modelo de análise para as cinco maiores tendências mundiais: rápido crescimento populacional, má nutrição generalizada, esgotamento de recursos não renováveis, deterioração ambiental e crescimento industrial. Este relatório foi um marco no que diz respeito às preocupações ambientalistas em vários países.

3.2 - O Relatório Bruntland (nome derivado da presidente desta comissão desde 1983, Gro Harlem Bruntland) – “O Nosso Destino Comum”, foi o relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento das Nações Unidas, de abril de 1987 Neste relatório é proposto o conceito de desenvolvimento sustentável para que os recursos naturais e o ambiente fossem uma herança possível para as futuras gerações. Suas recomendações levaram à realização da Conferência das Nações Unidas para o Desenvolvimento e o Ambiente, Rio 92.

4 – Living Planet Report 2002 - World Wild Life Foundation, neste relatório seus autores procuraram denunciar que os objetivos da conferência Rio 92 estão longe de ter começado a ser atingidos e divulgaram uma série de dados comprovando que as minorias mais ricas da Terra consomem de cinco a dez vezes mais por habitante do que o planeta seria capaz de suportar, enquanto que a maioria mais pobre consome por habitante até menos do que o limite do aceitável. Um dos critérios utilizados neste relatório foi o de comparar quanto cada habitante necessitaria em termos de área para o seu sustento. Enquanto um americano consome o equivalente a dez hectares de área um africano estaria perto de um e um brasileiro com pouco mais de que dois, sendo o limite de sustentabilidade proposto, na época da realização do estudo, 1,9 ha/habitante (WWF – 2002).

5 – Em um capítulo dedicado ao Preço da Energia, Políticas de Estado e Estratégias das Firms, Martin (1990) salienta que, umas das causas determinantes das intervenções estatais, são a incorporação de externalidades e irreversibilidades que as atividades energéticas introduzem na economia e no preço final da energia.

6 – Branch Points: Global Scenarios and Human Choice, estudo publicado pelo Global Scenarios Group”. Neste trabalho são apresentados três principais grupos de cenários, onde as tendências de seis variáveis são analisadas. Estas variáveis são: População, Economia, Ambiente, Equidade, Tecnologia e a possibilidade de conflitos. Em cada um dos três grupos de cenários foi apresentada uma versão otimista e pessimista, segundo a tendência de cada grupo. Os grupos são construídos conforme uma visão convencional do mundo e outras duas mais extremas. Na visão convencional as tendências atuais são colocadas como o mundo de referência. A contrapartida otimista ao mundo atual seria o de soluções políticas, onde um maior avanço e divulgação das tecnologias limpas por acordos internacionais fariam com que o ambiente e a distribuição de riquezas melhorassem em relação aos patamares atuais, enquanto a tendência a conflitos diminuiria. Os outros dois grupos são visões mais drásticas tanto do ponto de vista de um recrudescimento das desigualdades, desrespeito a natureza e a multiplicação dos conflitos quanto de um ponto de vista revolucionário onde a questão ambiental assumisse um papel quase religioso, por um lado mais negativo, ou fosse tratado com o conceito de sustentabilidade, onde o aumento da população, a economia e o ambiente encontrariam patamares harmônicos de convivência, a tendência à maior igualdade e difusão tecnológica seria paralela a quase eliminação dos conflitos, (Gallopín et al. – 1997).

7 – Um exemplo para se retratar duas posições antagônicas no tratamento da questão de diminuir as emissões de gases do efeito estufa, pela queima de fósseis, foi o debate entre os Partidos Republicano e Democrata, na campanha pela sucessão presidencial americana de 2000/2001.

Enquanto a posição do Partido Republicano, vitorioso nas eleições, era o de abertamente não reconhecer o Tratado de Kioto, para a redução de emissões de CO₂ pela queima de combustíveis fósseis, e de aumentar a prospecção e produção de petróleo, no território americano e no resto do mundo, a posição do Partido Democrata era pela pesquisa em novas tecnologias e a sua futura comercialização com as nações que não as tivessem. Fonte: Transmissão ao vivo do debate pela rede de notícias CNN

8 – As técnicas alternativas de produção de energia, especialmente a solar, foram estimuladas nos EUA, no começo dos anos 70, pela crise no abastecimento de petróleo. A energia solar se presta à geração descentralizada. Ela foi entretanto preterida pelo Departamento de Energia Americano em detrimento de projetos em larga escala, onde as grandes “utilities” pudessem ser beneficiadas. Ver Gozan, J., em “Solar Eclipsed” e Dushoff, J. em “Citizen Power vs. Big Business Energy” – www.multinationalmonitor.org)

3 A Questão dos Modelos de Desenvolvimento

3.1 Críticas aos Modelos de Desenvolvimento

A simples imitação de modelos de desenvolvimento, por países ou regiões, sem uma análise crítica e uma adaptação aos novos contextos, não tem justificativa cultural nem econômica. Estes modelos carregam intrinsecamente características que, independentemente de terem sido “satisfatórios” em seus ambientes de origem, se tornam muitas vezes danosos quando aplicados em outros cenários com circunstâncias e particularidades bastante diversas. Esta constatação registrada por muitos autores, como Celso Furtado (Furtado, 2002), que sintetiza seu pensamento criticando as formas de desenvolvimento, adotado nas últimas décadas no Brasil dizendo:

“Mas que esperar de um processo de crescimento que derivava seu dinamismo da reprodução indiscriminada de padrões de consumo de sociedades que já alcançaram níveis de produtividade e bem estar muitas vezes superiores aos nossos? Como não perceber que os elevados padrões de consumo de nossa chamada alta classe média têm como contrapartida a esterilização de parte substancial da poupança e aumentam a dependência externa do esforço de investimento.

Portanto, a crise que aflige nosso povo não decorre apenas do amplo processo de reajustamento que se opera na economia mundial. Em grande medida ela é o resultado de um impasse que se manifestaria necessariamente em nossa sociedade, a qual pretende reproduzir a cultura material do capitalismo mais avançado, privando assim a grande maioria da população dos meios de vida essenciais. Não sendo possível evitar que se difundam, de uma ou outra forma, certos padrões de comportamento das minorias de altas rendas, surgiu no país a

confrontação de uma sociedade de massas em que coexistem formas sofisticadas de consumo supérfluo e carências essenciais no mesmo estrato social, e até na mesma família”.

Mas, estas e outras críticas, como a de Osvaldo Sunkel, não têm sido suficientes para deter a insistência de várias administrações em adotar modelos de desenvolvimento que resultam em uma forte estratificação social, com um segmento minoritário se beneficiando das vantagens desta imitação, enquanto os representantes dos segmentos não representativos do modelo são rejeitados. Os investimentos privados, geralmente de curto prazo e de rápido retorno, não têm a visão do desenvolvimento global do país ou da região e muito menos levam em consideração suas particularidades, (Sunkel 1981).

Os cenários de deterioração ambiental e social que se apresentam os modelos de desenvolvimento, a serem adotados, além de corrigir as discrepâncias cometidas no passado terão que contemplar as sérias ameaças que o uso desregrado de recursos naturais causam aos delicados sistemas naturais que abrigam a humanidade desde o seu aparecimento. Deste tema, além de Sunkel (1981), especificamente para a América Latina, também já se encarregaram autores, como Ignacy Sachs, (Sachs, 1993), que sugeriram caminhos para o século XXI. Ele propõe, como marco conceitual, para se escapar do ciclo vicioso da pobreza e da destruição ambiental, a superação dos obstáculos políticos e sociais que realmente impedem a transição para o desenvolvimento sustentável. A partir de constatações como a de que a teoria econômica clássica do livre mercado torna-se insuficiente como diretriz política e econômica, sendo, portanto, necessária uma nova contabilidade que inclua parâmetros sociais e ambientais. Os instrumentos puramente econômicos não operam eficientemente na ausência de instrumentos reguladores, acompanhamento efetivo e sistemas de coação. E esta constatação axiomática pode ser extrapolada desde o controle da poluição e gestão de resíduos industriais e domésticos, até

de como funcionam as relações entre os dois principais grupos de países, os pobres e os ricos. Ele sugere cinco dimensões de sustentabilidade para se planejar o desenvolvimento:

- “- A sustentabilidade social, orientada para a equidade e a satisfação de necessidades materiais e não materiais para o desenvolvimento humano;*
- A sustentabilidade econômica, orientada no sentido macrosocial ao invés de microempresarial, superando-se as atuais combinações de fatores negativos como barreiras protecionistas, serviço da dívida, condições adversas de troca e limitação ao acesso à ciência e tecnologia;*
- A sustentabilidade ecológica, pela intensificação do uso dos recursos potenciais de cada sistema, limitação do consumo de combustíveis fósseis e de outros recursos, facilmente esgotáveis ou ambientalmente prejudiciais, limitação dos resíduos pela conservação e reciclagem de energia e de recursos, autolimitação do consumo material pelos países ricos e pelas camadas sociais privilegiadas, intensificação da pesquisa tecnológica limpa para a promoção do desenvolvimento urbano, rural e industrial e a definição de regras para a proteção ambiental e instrumentos institucionais, legais, administrativos e econômicos para assegurar o cumprimento das regras;*
- A sustentabilidade espacial, voltada para o equilíbrio da configuração rural - urbano e uma melhor distribuição territorial de assentamentos humanos;*
- A sustentabilidade cultural, respeitando as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local”*

Além do problema do tipo de desenvolvimento existe o problema da concentração de renda. O grau de desigualdade, observado no Brasil, em 1999 é similar ao do final da década de 1970. Neste período a desigualdade é quase que estável exceto por uma pequena flutuação ascendente entre 1986 e 1989, onde culminou uma crise de instabilidade macroeconômica. O coeficiente de Gini, no período variou do mínimo de 0,59, em 1984, ao máximo de 0,64,

em 1989. A razão entre a renda dos 20% mais ricos e a renda dos 20% mais pobres variou de 23,6, em 1984 a 34,3, em 1989. A razão entre a renda dos 10% mais ricos e a renda dos 40% mais pobres variou de 21,8, em 1992, a 30,4, também em 1989 (Barros et al – 2001).

Em um trabalho sobre esta persistência da taxa de pobreza e de indigência na população brasileira, levaram Barros et al (2001) a uma conclusão de que com investimentos em torno de 8% da renda das famílias seria possível elevar toda a população acima do limiar de pobreza. Portanto, a pobreza subsiste não pela falta de recursos, mas pela perversa desigualdade distributiva em nosso país, seja de renda seja de oportunidades. Seria conseqüentemente mais importante para o enfrentamento da desigualdade o estabelecimento de estratégias que enfatizassem as políticas redistributivas, do que as que visam apenas o crescimento econômico. Esta constatação, portanto, deveria permear tanto o aparato governamental, no planejamento e em suas decisões, quanto o acadêmico, na sua pesquisa e formulação de técnicas. Os montantes de investimento representam uma porcentagem muito significativa da produção nacional. Portanto, se os investimentos em soluções puderem, ser em parte, os mesmos, ou seja, se dois ou mais problemas puderem ser resolvidos juntos se estaria poupando ao país um grande esforço (1).

Assim, é necessário pensar não só soluções paralelas, mas, também convergentes. A necessidade de criação de infraestrutura, incluindo a energia, a necessidade de inserção social e econômica da população e o investimento na área rural, pode ser uma das soluções convergentes que com um mesmo orçamento ataque vários problemas simultaneamente.

3.2 O Incentivo ao Desenvolvimento da Área Rural

A razão para a adoção de modelos de desenvolvimento sustentáveis, incluindo soluções de geração de energia, em camadas da população com baixa renda é investir para que esta faixa demográfica se afaste da linha de pobreza e com características de desenvolvimento adaptadas às especificidades geográficas locais. Este caminho, se dirigido à Área Rural, cria a possibilidade de estabelecimento de um fluxo migratório de sentido oposto ao que se tem testemunhado e responsável pelo inchamento crônico das periferias metropolitanas.

O dimensionamento da Área Rural tem sofrido críticas por alguns estudos, como Veiga (2002) e Abramovay (2000). Segundo eles o órgão oficial de estatística, o IBGE, ainda se baseia em critérios instituídos em 1938. Por estes critérios, é considerada Urbana a sede de município e distritos, assim como sua população. Um novo critério de contabilização é proposto por Veiga (2002). Neste novo critério a população rural seria aquela em municípios fora das regiões metropolitanas e com densidade populacional menor do que 80 habitantes por km² ou com população menor do que 50.000 habitantes. Pelo critério vigente a importância da Área Rural é subestimada pelo fato de que sua população estaria diminuindo e tendendo a desaparecer. Com a adoção do novo critério proposto a Área Rural seria redimensionada, passando dos atuais 10% para 30% da população do país. A valoração do termo “rural” deixaria de ser, como em muitos casos, pejorativa, e então favorecendo a atração de projetos e incentivos, como acontece em países mais ricos ou desenvolvidos, dando impulso a um novo processo de desenvolvimento. Neste processo de desenvolvimento poderá haver um deslocamento da economia rural de exportação de produtos primários para as atividades rurais não agrícolas e de agricultura familiar, Veiga (2002).

A estes argumentos se acrescentam as conclusões de Abramovay (2000),

“A ruralidade não é uma etapa do desenvolvimento social a ser superada com o avanço do progresso e da urbanização. Ela é e será cada vez mais um valor para as sociedades contemporâneas”.

Este valor, para a sociedade contemporânea, seria, então, sintetizado na condição de ambigüidade que as áreas não densamente povoadas, ou rurais, que na concepção destas sociedades teriam. Por um lado as áreas rurais ou com dispersão populacional representariam um sério limite para o aproveitamento de oportunidades de desenvolvimento e onde se concentram os piores indicadores sociais. Por outro representa uma oposição aos transtornos e à insegurança da vida metropolitana e urbana, um dos fatores que produzem mundialmente um movimento migratório, inclusive de camadas de média e alta renda e com boa formação educacional, para áreas não densamente povoadas. E ainda por outro nas áreas menos densamente povoadas seria menor o sentimento de solidão trazido pelo anonimato da vida urbana, sobretudo quando essas áreas podem representar a recuperação e o reforço de relações de proximidade familiar.

3.3 A Geração Descentralizada dentro de uma filosofia de desenvolvimento

Se o desenvolvimento e o crescimento econômico são condições imperativas, que sejam pautadas pela visão de futuro com responsabilidade e com características vocacionadas para cada região com uma concomitante reversão do declínio ambiental e social. Assim os projetos de eletrificação rural como trazem conforto doméstico, melhoria nos padrões sanitários, melhoria nas condições para estudo, leitura, informação, seja ela em áreas remotas ou carentes, dirigida a populações locais ou que desejariam fugir do inchaço da metrópole, obviamente introduzem benefícios extremamente positivos, do ponto de vista distributivo, porque estes melhoramentos não são exclusivamente apropriados pelo setor melhor aquinhado da economia. Portanto, as soluções paralelas para os problemas de

infraestrutura energética e melhoramento da distributividade, podem trazer embutido tanto o fator distributivo, no seu efeito imediato, como, também, um fator estratégico, nos seus efeitos a médio e longo prazo.

A iniciativa terá que ser governamental, visto que não existe no mercado competitivo nenhum interesse imediato que justifique este tipo de investimento, embora, devido às externalidades introduzidas na economia, o setor privado também poderia se beneficiar, inicialmente, pelo aumento na fabricação e venda de equipamentos de geração elétrica descentralizada, (como veremos mais adiante). Em uma fase posterior, após um eventual aumento de renda o benefício para a indústria seria o aumento na venda de eletrodomésticos, além de mais equipamentos de geração descentralizada, que pela redução dos custos em economia de escala, poderão inclusive atingir um grau de preferência em relação às formas convencionais de oferta de eletricidade e energia.

Portanto, se uma parte da oferta de energia fosse originada em pequenas unidades, com hibridação das fontes disponíveis e com a exploração de recursos renováveis, poderia contribuir para a institucionalização de um modelo de desenvolvimento mais adaptado às necessidades e realidades de populações ainda marginalizadas. Mais do que contribuir, a micro geração de eletricidade poderia fazer parte de uma filosofia mais abrangente. Esta filosofia seria a de proporcionar aos pequenos produtores rurais a possibilidade de se tornarem auto-suficientes na produção de energia em pequenas unidades geradoras, onde a fonte fosse a energia de pequenas hidroelétricas, a energia solar por concentração, a energia eólica, a biomassa produzida em suas propriedades. A geração poderia ser descentralizada e híbrida. A matéria prima advinda de biomassa cultivada poderia ser bastante diversificada. Estas unidades podem produzir o etanol, por fermentação e destilação da matéria prima processada, (2) e ainda produzir diretamente eletricidade, pela queima, em caldeiras, do bagaço de cana e outros resíduos culturais. O aproveitamento do

calor desprendido pelos ciclos térmicos da geração elétrica aumentaria a eficiência do sistema se fosse dirigido ao próprio processo de fabricação do etanol, como já largamente utilizado pelas grandes usinas, mas também ao processamento de alimentos e outras aplicações onde a eletricidade poderia ser economizada. O aproveitamento energético de resíduos de culturas agrícolas pode ser otimizado se o efeito sazonal das colheitas for minimizado pela plantação de florestas com uso racionalmente coordenado para a sua exploração ser complementar ao da biomassa proveniente das culturas não permanentes. O aproveitamento da energia solar por concentração com coletores parabólicos e com o acúmulo do calor captado, durante as horas de insolação, pode reunir comunidades rurais, em regiões semi áridas, que se beneficiariam da energia gerada para a melhora de seu padrão de vida e de renda. Mas, o aproveitamento de máquinas com ciclo termodinâmico de Stirling parecem ser as de melhor aplicação quando as exigências são: a baixa manutenção, capacidade de utilizar diferentes fontes de calor e bom rendimento com baixas diferenças entre a fonte fria e a fonte quente, como será visto no capítulo 5.

O efeito multiplicativo destas formas de geração descentralizada pode residir no aparecimento de toda uma indústria que produziria equipamentos, na escala de produção destas unidades, e da pesquisa para otimização de técnicas que façam do aproveitamento da energia solar, eólica e da biomassa uma cultura integrada no seu escopo, onde até os efluentes da fermentação fossem reprocessados em biodigestores, por exemplo, fazendo do aproveitamento de gás e do adubo orgânico produzidos um fator economicamente interessante inclusive para a viabilização destes projetos (3).

O Brasil, com sua potencialidade inata para o desenvolvimento de aproveitamentos energético baseados na biomassa, se expõe a ter que, mais uma vez, comprar tecnologia externa, já tendo sido um pioneiro, com sucesso, na utilização de álcool como combustível. Um exemplo claro disto é o processo para aumentar a produção de álcool em 15%, a partir

do bagaço, usando bactérias recombinantes, que quebram as moléculas de outros açúcares, presentes ainda no bagaço, que as leveduras comuns não transformam em álcool. Este processo, fruto da recombinação genética de duas bactérias, foi desenvolvido por um bio-químico brasileiro em conjunto com dois americanos. Por não encontrarem, no Brasil, quem estivesse disposto a financiar uma unidade piloto, hoje a patente deste processo é americana (Fapesp, 1999).

O financiamento destes projetos poderia vir dentre uma série de mecanismos de incentivo fiscal, programas governamentais existentes, como o PRODEEM e Luz no Campo, ambos do Ministério de Minas e Energia, ou da Conta de Desenvolvimento Energético – CDE, criada pela Lei 10438 de abril de 2002. Esta última é uma contribuição mensal fixada pela ANEEL e recolhida ao Tesouro Nacional pelas Empresas Concessionárias de Energia Elétrica. Esta conta foi regulamentada pelo Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia – PROINFA, para subsidiar a geração elétrica a partir desses fundos administrados pela Eletrobrás, ANEEL (2003). A previsão é de que este fundo seja da ordem de um bilhão de reais por ano. Mas poderiam ser destacados outros dois mecanismos, pela estreita relação com a questão energética e principalmente com a questão da sustentabilidade :

- A alocação de créditos de carbono nos chamados “Mecanismos de Desenvolvimento Limpo”, onde a negociação de certificados de redução de emissão abre a possibilidade de implantação de projetos em locais pouco desenvolvidos, com potencialidades para a sustentabilidade e desde que a emissão de carbono seja evitada. Potencialidades estas, capazes não só de absorver mão de obra, mas melhorá-la, agrega-la à vida econômica do país e dinamizar toda uma indústria e pesquisa tecnológica.

- Da parcela de 0,5% da renda anual das empresas concessionárias de energia elétrica, que por contrato de concessão deve ser empregado em programas de eficiência energética e combate ao desperdício.

Concluindo, vemos que é necessário o investimento em eletrificação rural, mas para ser coerente com uma política que pudesse não só desenvolver, mas também, incluir econômica e socialmente, pela melhora da distribuição dos recursos. Assim, se chama a atenção para à micro geração de eletricidade com tecnologias que usem combustíveis renováveis, e que a energia gerada tenha o seu custo estratégico baixo, ou seja, que não exponham o país a novas dependências, portanto, de investimento justificável no médio e longo prazo. No Brasil a geração de energia atual é fruto de um esforço estatal e usando a tecnologia nacional de construção de barragens, a micro geração poderá ou não ser, além de nacional, também um fator de maior distribuição de renda. Na próxima parte se fará uma comparação entre formas de geração a partir da energia solar, e a geração de energia a partir de biomassa. Um dos objetivos desta comparação será justamente mostrar que os programas fotovoltaicos de eletrificação rural são menos vantajosos do que se fossem adotadas tecnologias solares térmicas. As tecnologias de aproveitamento térmico da radiação solar são de pesquisa e desenvolvimento mais simples, além de terem manutenção e operação mais acessíveis.

NOTAS

1- Atualmente no Brasil, tanto as preocupações com o aumento dos problemas sociais nas grandes metrópoles, quanto com a expansão de sua infraestrutura energética, fazem aparecer como notícia, em um mesmo dia, e no mesmo jornal, lado a lado, as seguintes manchetes (Jornal do Brasil, 25/06/2003):

“Uma guerra de R\$ 12, 8 bilhões por ano – Custo da violência chega a 5% do PIB” e “País precisa de US\$ 82 bilhões para setor de energia”.

2 - Por exemplo, a cana de açúcar e a batata doce são duas variedades energeticamente eficientes que se adaptam à exploração de biomassa destinada à destilação em propriedades maiores e menores, respectivamente.

3 – A implantação de ciclos integrados de processos, sejam eles industriais ou agro-pastoris, se mostra interessante do ponto de vista ambiental, pelo aproveitamento de rejeitos, como do ponto de vista econômico pela diversificação de sub-produtos. Assim como o direcionamento de excremento de bovinos ou suínos para biodigestores foi parte de importantes programas energéticos na Índia e na China, o encadeamento de processos na indústria do açúcar e do álcool aumenta a eficiência pela geração de mais álcool, a partir do aproveitamento do bagaço e do vinhoto. A reciclagem do lixo doméstico, principalmente nas grandes cidades, é um horizonte potencialmente promissor para a geração de empregos formais e economia de recursos naturais.

4 Eficiência Energética

4.1 Introdução

A busca por uma maior eficiência energética mostra-se cada vez mais relacionada a como a sociedade, como um todo, utiliza-se das fontes energéticas disponíveis nas suas ações cotidianas, seja nas moradias urbanas, no comércio, no setor de serviços, no setor industrial ou nas áreas rurais. A dinâmica com que os diferentes extratos sociais se deslocam, relativamente, uns em relação aos outros, dentro de um determinado limite; a dinâmica de distribuição das populações, do predominantemente agrário para o predominantemente urbano ou industrial urbano; a dinâmica de como encaram e utilizam os recursos energéticos; o grau de bem estar e da condição humana, da consciência ambiental do desenvolvimento são todos fatores subjetivos que tornam esta busca mais complexa.

Além de complexa, a busca pela eficiência energética às vezes torna-se emergencial. Assim foi nos “choques do petróleo”. A emergência da busca pela eficiência e pelo combate ao desperdício se deve, na atualidade, à sua complementaridade menos onerosa em relação aos investimentos diretos em ativos de geração, transmissão ou distribuição, principalmente quando a expansão da infraestrutura energética, que em um país em desenvolvimento como o Brasil, ainda apresenta lacunas a serem preenchidas simultaneamente à falta de fundos.

Estrategicamente, hoje, em um nível global, a eficiência energética não se traduz somente pelo combate ao desperdício e no desenvolvimento e aplicação de tecnologias adequadas, mas, também, pela manutenção do meio ambiente diante das agressões sofridas no

passado e que aumentam a cada instante pelas pressões dos modelos econômicos centrais, de competição por mercados e de procura da hegemonia regional ou planetária.

Taticamente, a eficiência energética se consegue com o uso adequado de tecnologia e com investimento capaz de processar a migração de um para outro estilo de vida, de consciência, de moradia, de urbanização, de desenvolvimento. Estes processos, de aplicação mais simples que os de natureza estratégica, também têm grandes dificuldades subjetivas e com soluções na medida das vontades políticas e nas possibilidades econômicas dos governos em investirem na educação e na elaboração de regulamentação capaz de orientar o desenvolvimento para o uso mais racional e eficiente da energia, que, em última análise, representa a maneira como é feita a integração da sociedade no meio ambiente e de como os recursos naturais são explorados.

Tanto a tática como a estratégia dependem do modelo ao qual estão filosoficamente conectadas. Os modelos de desenvolvimento, baseados nos atualmente vigentes em países mais ricos, têm um efeito perverso, tanto nos países de origem quanto naqueles em desenvolvimento; o nível básico de bem estar parece que nunca pode ser atingido simultaneamente por todos, alguns poucos desperdiçam e têm um nível exagerado de consumo de energia e de recursos naturais, enquanto a maioria fica em níveis intermediários ou no estado de completa penúria. Esta desigualdade na distribuição global ainda é um problema insolúvel nesses modelos de desenvolvimento. Como será mostrada no Capítulo 5 a procura por tecnologias de geração com custo zero de combustível (1), e com a pesquisa e desenvolvimento apropriado para cada região pode, além de criar a infraestrutura energética necessária poderia contribuir para uma maior criação de emprego e para uma maior distribuição de renda e inserção social.

4.1.1 Contextualização

O Brasil passou na década de 1990, como outros países, um ambiente de mudanças no setor elétrico. Uma transição tomou curso entre o modelo monopolista e sob o controle de empresas públicas, em direção a outro, exercido por empresas privadas e onde a concorrência é estimulada. A desverticalização do setor elétrico brasileiro em seus vários segmentos de geração, transmissão e distribuição era um dos objetivos deste processo de privatização, que coincidiu com uma grande possibilidade de desabastecimento pela falta de investimentos desde os meados da década de 1980, principalmente no segmento de geração. O segmento de planejamento, intrinsecamente responsável pela condução e coordenação dos outros três, ficou esquecido neste processo de mudança que visava a participação da iniciativa privada.

Os resultados da privatização se concentraram no segmento de distribuição, atraindo capitais privados pela possibilidade de mais rápido retorno financeiro do investimento. Desde o primeiro momento, a estratégia das novas controladoras das concessionárias privatizadas foi a de adotar uma “generosa política de distribuição de lucros aos acionistas, com o objetivo de reduzir o tempo de retorno dos investimentos” (Rosa 1998).

A transmissão continua pública e fortemente regulada como forma de evitar o favorecimento entre os agentes e propiciando a concorrência almejada.

A geração não conseguiu atrair o interesse privado que se esperava, pela maior escala dos investimentos e pelas indefinições sobre as tarifas a serem praticadas, o que torna incerto o tempo e o montante de retorno. A presença de uma firma pública, a Petrobrás, em quase todos os empreendimentos termoeletricos, além do ônus desta mesma firma pela missão de absorver as diferenças cambiais devido à importação do gás boliviano, diagnosticam que a iniciativa privada não quer ou não pode assumir os riscos deste empreendimento, seja pela

falta de definição por parte do governo, seja pelo atropelo do processo de privatização ou ainda pela expressiva diferença nas tarifas de energia térmica e hidráulica.

Este ambiente de privatizações que se generalizou pelo mundo, e que se confunde com o também generalizado movimento de globalização, tem como marcos históricos, na década de 1980 no plano político e econômico os seguintes eventos: (Rosa 1995)

No plano político

- O governo conservador de Margaret Thatcher, iniciado em 1979 na Inglaterra;
- O governo republicano de Ronald Reagan, iniciado em 1980 nos Estados Unidos da América do Norte;
- A crise dos governos social democratas da Europa no começo da década de 1980.

No plano econômico

- A crise econômica, incluindo os choques do petróleo ocorridos na década anterior;
- Aspectos globais de transformações tecnológicas, acentuados na década de 1980.

Tanto os eventos econômicos como os políticos foram ao mesmo tempo causa e consequência, que se realimentaram e conduziram às soluções que prevaleceram como solução para esta crise, daí todo o movimento em direção à desregulamentação (ou re-regulamentação) dos mercados e privatizações.

Filosoficamente, a presença do estado na economia dos países europeus vinha sendo estruturado no Keynesianismo. Desde o final da segunda grande guerra, todos os governos europeus foram obrigados a intervir fortemente na economia pela necessidade mais de amenizar do que de solucionar a grave crise social motivada pela completa falência do pós-guerra. Já se pensava em uma união econômica da Europa, a exemplo do que já vinha acontecendo entre a Bélgica, Holanda e Luxemburgo, uma união econômica chamada de Benelux. Entretanto, as pressões da “guerra fria”, contra a expansão do bloco liderado pela União Soviética, fizeram com que esta aliança fosse primeiro militar OTAN (1949) do que econômica ou política OCDE(1951) e CEE(1957) substituída pela CE(1992).

Por toda a Europa e com características diferentes em cada país foi aplicada a intervenção do estado em maior ou menor grau. No Brasil, na época do pós-guerra, terminava uma ditadura e começava um governo eleito democraticamente. O forte apelo popular do governo ditatorial de Getúlio Vargas, terminado em 1945 por um golpe, o conduziu à presidência nas eleições de 1950.

Havia a preocupação no investimento em infra-estrutura e na substituição de importações. As iniciativas de controle dos monopólios naturais, como o do petróleo (1954) e posteriormente da eletricidade (1962), foram estatizantes. Durante os governos seguintes houve uma progressiva dilatação da oferta de energia elétrica, numa tentativa de preparar a infraestrutura do país à industrialização. As iniciativas foram estatais e sempre em grandes centrais. A ausência de investimentos públicos, no parque de geração, se instalou pela forte crise financeira no setor elétrico motivada, entre outras causas estruturais, pela defasagem tarifária. O preço da energia elétrica foi deprimido como forma de contenção das taxas inflacionárias e como um incentivo à substituição de derivados de petróleo, no setor industrial da economia, durante os “choques do petróleo”. Desde o início da década de 1980 os excedentes de energia elétrica favoreciam estas medidas, mas no longo prazo, se verificou que o declínio nos investimento em geração culminaria em sério risco de desabastecimento. Este risco só não se agravou pela paralela diminuição no crescimento da economia, e conseqüentemente na diminuição da demanda por eletricidade. Em 1982 e em 1990, devido às crises econômicas, a demanda por energia elétrica diminuiu significativamente. Se tivessem sido mantidas taxas estáveis de crescimento a necessidade de um racionamento já teria se apresentado, como mostra a comparação dos Gráficos 1 e 2. No primeiro (Gráfico 1), está representada a taxa de variação percentual da demanda por energia elétrica em relação ao ano anterior. Observa-se a manutenção de um crescimento gradativo de 1992 até 1997. No segundo (Gráfico 2), mostra a taxa de crescimento da capacidade instalada em relação ao ano anterior. Por sua vez, em declínio até 1994, quando só então volta a aumentar.

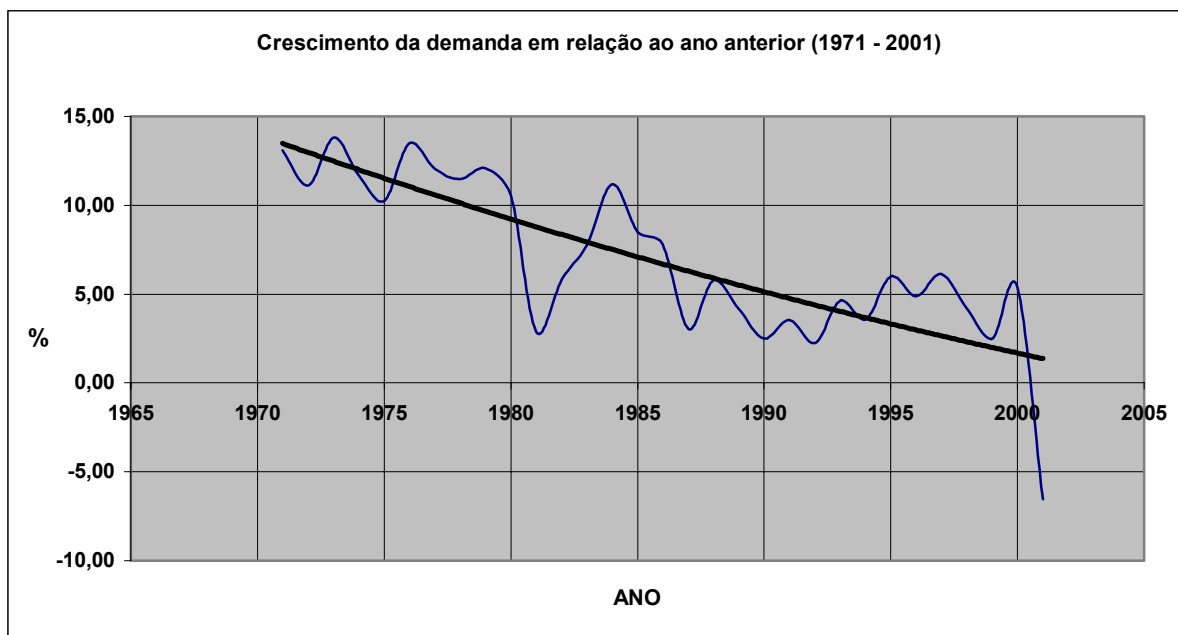


Gráfico 1 – Taxas de crescimento da demanda de energia elétrica, em relação ao ano anterior, com a curva de tendência por aproximação polinomial. Fonte: Elaboração própria a partir de MME - 2002

Observa-se com isso que, apesar de mais lentamente, as curvas de crescimento da demanda e da capacidade instalada continuaram a se afastar, configurando a crise anunciada para mais cedo ou mais tarde.

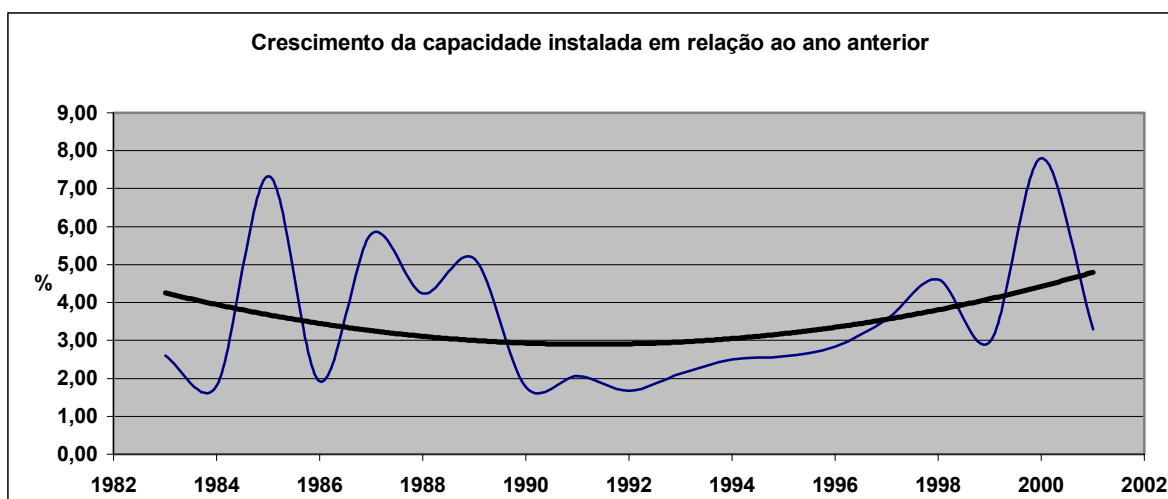


Gráfico 2 – Taxas de crescimento da capacidade instalada de energia elétrica, em relação ao ano anterior, com a curva de tendência. Fonte: Elaboração própria a partir de MME – 2002

A partir de meados da década de 1980 a demanda por energia elétrica segue um crescimento, apesar da queda da renda nacional. Fruto do contínuo processo de

urbanização e utilização de eletricidade, mesmo que incipiente, por parcela cada vez maior da crescente população. Segundo MME (1999) além das razões acima se soma a modernização de setores da economia, enquanto para Rosa (1998) o aumento do consumo no final da década de 1980, contrariando a crise econômica, foi puxado pela instalação de diversas plantas industriais eletro-intensivas.

Uma outra maneira de se constatar a saturação do parque gerador é lançar mão de um outro indicador que mostra a relação entre a demanda de energia elétrica e a capacidade de geração naquele ano. Nota-se pelo Gráfico 3 que a tendência desta relação é ascendente. Isto significa uma margem de segurança cada vez menor, sem se considerar paradas para manutenção e o planejamento do fator de carga das usinas hidráulicas (no fim de 1998 as usinas hidráulicas tiveram 86,53% da capacidade geradora total de eletricidade

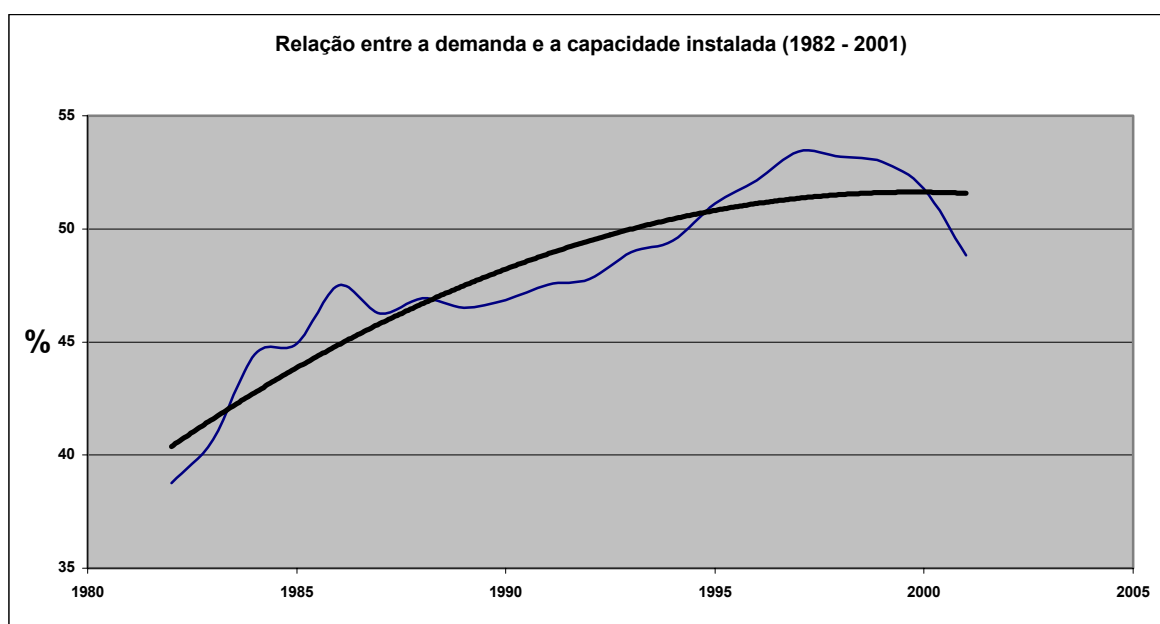


Gráfico 3 – Relação percentual entre a demanda e a capacidade total de geração elétrica

Fonte: Elaboração própria a partir de MME – 2001

e 95% da geração para atendimento à demanda, MME 1999). Nas represas de acumulação, quanto maior for o fator de carga menor será a sua capacidade de enfrentar eventuais períodos de seca subsequentes. A capacidade só volta a ser maior, em relação a demanda após o racionamento de 2001

Todo o planejamento do sistema hidráulico integrado era, até meados da década de 1980, projetado com margens de segurança de 10% em relação aos horários de pico, e com acumulação para períodos de 5 anos, o que contornava o aspecto imprevisível das chuvas e participava como indicativo no planejamento do montante de investimento necessário para repor a oferta de energia em relação aos aumentos de demanda projetados. Com a crise no setor, esta rotina de planejamento deixou de ser cumprida pela dificuldade de realizar investimentos. Portanto, está evidenciado que o sistema gerador brasileiro, fortemente apoiado em geração hidráulica, esteve fora de suas faixas normais de operação para atender a uma demanda crescente em relação à oferta, sem que houvesse a contrapartida de investimentos suficientes para que também a oferta aumentasse nas mesmas proporções. A crise de desabastecimento de 2001 introduziu uma diminuição no consumo residencial de energia elétrica de 11,64%, em relação ao consumo de 2000. Mas tendo por base o estudo de Andrade et al (1997), de previsão de consumo Tabela 1, pode-se notar que as expectativas de crescimento do consumo ainda são expressivas. Este estudo considerou que o fator de maior relevância no setor residencial é o poder aquisitivo por eletrodomésticos. Em 2001 a tendência se inverteu pelo regime de racionamento de energia elétrica.

Ano	Consumo TWh	
	Previsão	Real
1997	68,9	69,06
1998	72,8	74,07
1999	76,7	79,38
2000	80,9	83,50
2001	85,2	73,78
2002	89,7	

Tabela 1 - Previsão de consumo no setor residencial
Fonte: Andrade et al (1997)

4.1.2 Programas de combate ao desperdício

A partir de 1999, foi anunciado um programa emergencial de geração térmica baseado no gás natural, tanto importado da Bolívia quanto produzido em território nacional, onde 58 usinas térmicas seriam construídas. Foram também agilizados alguns projetos de hidroelétricas que se encontravam paralisados. Após o racionamento de 2001 passou a ser cobrado um imposto sobre o consumo de energia elétrica dos consumidores acima de 80 KWh por mês. O imposto serve para que a CBEE (Comercializadora Brasileira de Energia Emergencial) pague o aluguel de 58 usinas termelétricas com capacidade para gerar até 2.154 MW em caso de risco de falta de energia.

Em paralelo ao investimento em programas emergenciais de geração, foi dada continuidade ao Programa de Combate ao Desperdício de Energia Elétrica PROCEL, criado em 1985, e com um saldo, até 1998, de ter evitado um investimento equivalente em ativos de geração da ordem de 2,5 bilhões de Reais, contra 158 milhões investidos neste intervalo de tempo em diversos tipos de programas (Tabela 2).

Resultados do PROCEL	Totais	1986-93	1994	1995	1998	1999
Redução de carga na ponta (MW)	1112	149	70	103	398	392
Energia total economizada (GWh)	5846	930	344	572	1900	2100
Usina eqüivalente (MW)	1265	220	80	135	394	436

Tabela 2 - Resultados do PROCEL

Fonte: MME (2000)

Vários estudos como Poole et al (1994) e La Rovere (1986) mostram as vantagens da eficiência e combate ao desperdício como forma bastante efetiva de se investir vantajosamente, em comparação ao investimento direto em geração ou distribuição.

4.1.3 Estratégia internacional

Internacionalmente, programas de eficiência e combate ao desperdício começaram a ser pensados a partir dos “Choques do Petróleo”, na década de 1970 ANEEL (1999).

Geopoliticamente, após o primeiro choque do petróleo ocorrido em 1973-1974, os países mais ricos e com maior dependência no, até então, abundante e barato petróleo (2) começaram a esboçar estratégias, para que fossem menores outros eventuais impactos devido a períodos de alta nos preços ou embargos no fornecimento. Dentre as diversas estratégias se pode considerar como principais:

- 1) A migração de indústrias eletrointensivas (cimento, papel e celulose, siderurgia, metalurgia não ferrosa, especialmente alumínio, etc) para países em desenvolvimento, com potencial energético e mão de obra mais barata;
- 2) Investimento em pesquisa de alta tecnologia, visando a capacidade interna e posterior exportação de bens com alto valor agregado;
- 3) Maior utilização do gás natural para a geração de energia elétrica;
- 4) Desenvolvimento de programas de eficiência energética e combate ao desperdício.

Devido à aplicação destas estratégias, [1 e 2, Machado et al (1995); 3 e 4 ANEEL-ANP (1999)], tem-se observado que, desde a década de 1980, o consumo de eletricidade “per capita” não acompanha mais o crescimento do Produto Interno Bruto nos países centrais, como era comum em épocas anteriores. Estes países ficaram com suas economias menos energointensivas, como mostra a Tabela 3A com os valores de toneladas de equivalente óleo consumidas por milhões de US\$ de Produto Interno Bruto.

Tep/milUS\$	1970	1975	1980	1985	1990	1995	2001
E.U.A.	0,44	0,41	0,38	0,31	0,30	0,28	0,25
Reino Unido	0,32	0,28	0,25	0,23	0,21	0,19	0,17
Alemanha	0,19	0,18	0,16	0,15	0,13	0,13	0,12
França	0,20	0,18	0,17	0,15	0,14	0,14	0,13
Japão	0,14	0,13	0,11	0,09	0,09	0,09	0,09

Tabela 3A - Intensidade energética 1970–2001 de países desenvolvidos,(US\$ DE 1995)
Fonte: elaboração a partir de dados do IEA-DOE, 2002

Comparativamente, países em desenvolvimento tiveram, ao contrário, uma intensificação energética em suas economias (Tabela 3B). Destaca-se, como exceções, a China e a Índia, que apesar da redução na relação Tep/US\$, devida à modernização de suas indústrias,

continuam tendo economias bastante energointensivas, em termos absolutos, mas relativamente a outras economias este indicador, se for transformado em um valor per capita, perde este impacto, diante de suas populações, (1.273,00 e 1.002,14 milhões no ano 2000, respectivamente) (IEA-DOE, 2002).

Tep/milUS\$	1980	1985	1990	1995	2001
Brasil	0,19	0,20	0,23	0,24	0,26
México	0,39	0,42	0,43	0,43	0,37
China	2,43	1,88	1,56	1,16	0,82
Coréia do Sul	0,26	0,24	0,25	0,31	0,29
Índia	0,59	0,65	0,63	0,70	0,58

Tabela 3B - Intensidade energética 1980–2001 de países em desenvolvimento,(US\$ de 1995)
Fonte: elaboração a partir de dados do EIA-DOE, 2002

		1980	1985	1990	1995	2000
Brasil	10 ⁹ US\$	489,1	524,2	605,5	704,2	787,7
	10 ⁹ KWh	128,5	179,7	228,6	288,2	360,6
	KWh/US\$	0,26	0,34	0,38	0,41	0,46
	10 ⁹ Kg C	51,85	51,14	68,9	82,47	95,11
	Kg C/US\$	0,11	0,1	0,11	0,12	0,12
Mexico	10 ⁹ US\$	220,4	242,7	265,2	286,2	374,00
	10 ⁹ KWh	59,7	86,6	107,1	133,7	182,8
	KWh/US\$	0,27	0,36	0,4	0,47	0,49
	10 ⁹ Kg C	64,27	73,85	83,96	86,9	103,22
	Kg C/US\$	0,29	0,3	0,32	0,3	0,28
China	10 ⁹ US\$	163,7	272,2	397,5	700,6	1041,8
	10 ⁹ KWh	2094,4	2324,00	550,9	883,4	1206,3
	KWh/US\$	12,8	8,54	1,39	1,26	1,16
	10 ⁹ Kg C	393,32	506,41	616,89	787,72	775,01
	Kg C/US\$	2,4	1,86	1,55	1,12	0,74
Coreia do Sul	10 ⁹ US\$	149,1	217,2	341,6	489,3	617,5
	10 ⁹ KWh	32,2	50,4	93,4	176,3	254,1
	KWh/US\$	0,22	0,23	0,27	0,36	0,41
	10 ⁹ Kg C	35,05	44,47	63,82	109,28	115,33
	Kg C/US\$	0,24	0,2	0,19	0,22	0,19

Tabela 3C - Intensidade elétrica e emissão de C 1980–2000 de países em desenvolvimento,(US\$ de 1995), Fonte: elaboração a partir de dados do EIA-DOE, 2002

		1980	1985	1990	1995	2000
EUA	10 ⁹ US\$	4807,80	5608,50	6580,50	7400,50	9048,80
	10 ⁹ KWh	2094,40	2324,00	2816,70	3162,40	3621,50
	KWh/US\$	0,44	0,41	0,43	0,43	0,40
	10 ⁹ Kg C	1293,65	1249,27	1357,89	1430,35	1571,14
	Kg C/US\$	0,27	0,22	0,21	0,19	0,17
Reino Unido	10 ⁹ US\$	798,2	885,00	1041,00	1127,00	1294,7
	10 ⁹ KWh	246,6	256,00	287,4	309,1	345,00
	KWh/US\$	0,31	0,29	0,28	0,27	0,27
	10 ⁹ Kg C	167,68	160,81	163,66	152,61	147,77
	Kg C/US\$	0,21	0,18	0,16	0,14	0,11
Alemanha	10 ⁹ US\$	1651,00	1750,4	2062,2	2458,3	2679,1
	10 ⁹ KWh	350,8	381,9	391,4	479,3	501,7
	KWh/US\$	0,21	0,22	0,19	0,19	0,19
	10 ⁹ Kg C	207,75	188,52	192,75	238,73	219,72
	Kg C/US\$	0,13	0,11	0,09	0,1	0,08
França	10 ⁹ US\$	1169,00	1260,6	1477,6	1554,6	1763,7
	10 ⁹ KWh	236,5	279,1	325,8	366,6	408,5
	KWh/US\$	0,2	0,22	0,22	0,24	0,23
	10 ⁹ Kg C	135,35	107,86	102,00	100,69	109,44
	Kg C/US\$	0,12	0,09	0,07	0,06	0,06
Japão	10 ⁹ US\$	3292,3	3954,8	4925,5	5291,7	5341,6
	10 ⁹ KWh	510,7	594,8	550,9	883,4	1206,3
	KWh/US\$	0,16	0,15	0,11	0,17	0,23
	10 ⁹ Kg C	260,02	243,7	269,14	297,75	313,69
	Kg C/US\$	0,08	0,06	0,05	0,06	0,06
Canada	10 ⁹ US\$	405,4	467,4	539,7	588,1	704,6
	10 ⁹ KWh	316,1	375,8	438,3	474,8	499,8
	KWh/US\$	0,78	0,8	0,81	0,81	0,71
	10 ⁹ Kg C	125,16	118,73	130,03	134,67	157,95
	Kg C/US\$	0,31	0,25	0,24	0,23	0,22

Tabela 3C - Intensidade elétrica e emissão de Carbono 1980–2000 de países desenvolvidos,(US\$ DE 1995) Fonte: elaboração a partir de dados do EIA-DOE, 2002

As Tabelas 3C e 3D mostram o ritmo de eletrificação da economia em paralelo à emissão de carbono nos resultados de KWh e de Kg de carbono emitido para cada US\$ produzido. Alguns estudos procuraram eliminar as distorções provocadas por imprecisões de conversão de dados de energia e do produto econômico nos índices de intensidade energética (Machado, 1995), (Tolmasquim et al, 1998). Estas duas últimas tabelas podem complementar o estudo da progressão dos índices de intensidade energética levando em

consideração, também a eletrificação das economias e a emissão de carbono por US\$ do produto nacional bruto. Novamente, estes dados podem ser relativizados por país se forem transformados em dados per capita.

Como já dito acima, o excesso de geração do setor elétrico brasileiro, ao contrário do que acontecia em outros países, foi usado nas décadas de 1970, 1980 e início da de 1990 para alimentar indústrias eletrointensivas, com a finalidade de substituir o óleo como fonte de calor industrial além da exportação de produtos eletrointensivos para o equilíbrio do Balanço de Pagamentos. Esta última sem dúvida uma forte vocação nacional com claras vantagens comparativas, porém com a nítida desvantagem de ser um processo de desenvolvimento não distribuidor de renda. Esta energia era e continua sendo principalmente hidráulica, em comparação com a eletricidade produzida no resto do mundo, apenas com algumas exceções. Estas opções se afastavam diametralmente do que era feito pelo mundo no que diz respeito às estratégias de eficiência e combate ao desperdício. Como agravante a contensão tarifária de eletricidade, praticada no Brasil, desta época, como recurso antiinflacionário, endividou severamente o setor elétrico, provocando uma crise financeira que precipitou todo um processo de descrédito de empresas estatais, privatização e o estabelecimento de um novo modelo para o setor elétrico, atualmente novamente sob revisão.

4.1.4 A eficiência energética como planejamento

A busca pela eficiência energética deve considerar três aspectos, hoje importantes, mas praticamente relegados ao esquecimento no passado, O lado do consumo final, as questões ambientais e as questões sociais.

A energia sempre foi encarada pelo planejamento energético clássico apenas como mais um setor produtivo da economia, e considerava que o único segmento passível de controle era o lado da oferta. A energia mais do que um fator produtivo é também insumo básico

para a promoção de uma maior equidade social e desenvolvimento humano, principalmente em países de Terceiro Mundo. O segmento da demanda, já consolidado ou em fase de implementação, constitui, juntamente com o segmento de oferta, a base para um planejamento energético mais integrado.

A consciência ambiental, também, tem trazido para todas as esferas de negociação a importância do bom uso dos recursos naturais, entre eles a energia, e o preço a ser pago pelo ambiente e pela sociedade.

Ivan Illich, citado em Dupuy (1980), com seu conceito de “contraprodutividade”, já alertava para a queda sensível nos setores da saúde, transporte e educação, advinda do planejamento baseado no desenvolvimento a qualquer preço. Ele afirmava que a crise de energia nunca poderia ser resolvida se o paradigma do “quanto mais energia melhor” não fosse abolido. Como solução ele postulava uma determinação de limites energéticos, além dos quais os efeitos “contraprodutivos” se manifestam, deteriorando, ao invés de melhorar, o conforto e o nível de vida.

Assim as críticas de Illich são um excelente ponto de partida para uma crítica ao planejamento, unicamente baseado no volume de oferta, e para o enfoque em um planejamento que considere como modelos de desenvolvimento os que se aproximem dos ideais da sustentabilidade.

Nesta linha de pensamento, La Rovere (1986) sugere que o planejamento energético no Terceiro Mundo deva romper com as metodologias clássicas e que sejam adotadas estratégias menos intensivas em energia por uma nova discussão da questão energética e por uma nova estratégia de desenvolvimento. O desafio, em sua opinião, consistiria em “reduzir a demanda energética para um mesmo nível de satisfação das necessidades da população e satisfazer, simultaneamente, os critérios de viabilidade econômica, utilidade social e harmonia com o meio ambiente”. Ele, ainda, aponta três conjuntos de enfoques. O primeiro, são seis níveis de intervenções: eliminação do desperdício, melhoria dos sistemas existentes, reestruturação do aparelho produtivo, reestruturação do aparelho de consumo,

exploração de formas alternativas de satisfação da mesma necessidade social, mudança de valores que podem modificar a estrutura da demanda social. O segundo é a ênfase na dimensão espacial no intercâmbio de produtos e o uso das potencialidades locais para uma maior descentralização, descongestionando as trocas centro - periferia. Finalmente o terceiro propõe a otimização do leque de opções energéticas disponíveis considerando as implicações sociais, ecológicas e as melhores relações entre energia primária e energia útil pela escolha certa do vetor energético. O que materializa o proposto por Sachs (1993), e já referenciado no capítulo 3.

4.2 *Motivações para um consumo menor*

A motivação para que a utilização de energia elétrica seja menor, sem que por isso seja afetado o bem estar ou o nível de produção do usuário, é a pedra angular para que as ações que visem o incremento da eficiência energética e a diminuição do desperdício sejam compreendidas, aceitas e implementadas pelos agentes do lado da demanda. Segundo Poole (1994), as motivações seriam de ordem econômica, ecológica, social e segurança estratégica.

4.2.1 *Motivações econômicas*

A eficiência energética, enquanto objetivo econômico a ser alcançado, cria novas áreas ou amplia outras já existentes em que os investimentos feitos terão como remuneração “a diminuição das pressões financeiras sobre o setor energético, a modernização dos produtos e processos, aumento da produtividade e qualidade da indústria como um todo”.

O senso comum do “*laissez faire*” econômico acredita que a simples sinalização das tarifas energéticas seriam suficientes para que o uso eficiente da energia surja como uma consequência natural. Esta sinalização é importante, tanto do ponto de vista da motivação

econômica quanto da necessidade de manter o setor capitalizado e apto para se lançar em novos empreendimentos, principalmente na geração e transmissão de eletricidade em países em desenvolvimento como o Brasil. Entretanto, mesmo em países com tarifas realistas e tecnologias disponíveis a eficiência energética não é utilizada em toda a sua potencialidade, deixando de render para os usuários todo o benefício econômico possível.

Para isso é necessário:

- 1 Uma forte normalização de equipamentos (eletrodomésticos, veículos, equipamentos industriais, etc) comercializados, padrões de construção (código de obras, planejamento da expansão urbana) adequados às diversas regiões, auto produção e comercialização de excedentes por produtores independentes, priorização no uso e pesquisa de fontes alternativas, etc.
- 2 Facilidade de financiamento para a substituição de equipamentos não eficientes existentes em paralelo com um programa de reciclagem do material desativado, o que estimularia a eficiência e evitaria o reaproveitamento de um equipamento não eficiente reconicionado de segunda mão, ao mesmo tempo que favorecendo a uma estrutura de reciclagem que terá que ser expandida futuramente para solucionar o problema ambiental do lixo e dos rejeitos em geral.

No Brasil a contenção da inflação, a partir de 1994, possibilitou uma melhor visualização e avaliação por parte do usuário final das compensações econômicas pelos investimentos eventualmente realizados em eficiência. Por outro lado a aplicação de tarifas realistas teria menor influência sobre as taxas de inflação pela maior estabilidade econômica. A partir de 1993, as tarifas no Brasil foram desqualizadas pela Lei 8631/93 (Desde 1974, as tarifas estavam regionalmente equalizadas. A partir de 1981 a remuneração do setor elétrico ficou abaixo do nível legal (Rosa, 1995)). Após o processo de privatização das concessionárias

de energia elétrica as tarifas pagas no Rio de Janeiro (R\$254,63/MWh para consumo residencial trifásico e abaixo de 300 KWh/mês, o que corresponde a US\$115,74/MWh, ao câmbio de 05/2001, o imposto, ICMS, para esta faixa é de 18,5%, já incluído, enquanto a energia vendida por Furnas custava, à mesma concessionária, Ligth, US\$40,00MWh) (3).

Restariam outros aspectos mais subjetivos como o da “cultura do desperdício” e o da “má distribuição de renda”, que sedimentaram e cristalizaram comportamentos contrários a tudo aquilo o que possa ser considerado racional ou eficiente.

4.2.2 Motivações ecológicas

Como já visto no capítulo 2, no Brasil como em outros países, as preocupações com o meio ambiente vão desde a constatação da inegável poluição aérea dos grandes centros, cursos de água que recebem efluentes “*in natura*” e dos solos degradados pelo desmatamento, mineração e todo tipo de despejo poluente, até a contabilidade da emissão de gases do efeito estufa, visando a negociação internacional sobre os ainda não definidos parâmetros para a responsabilização dos grandes emissores.

Pelo perfil hidráulico da matriz energética brasileira, cerca de 90% da eletricidade consumida vem de fonte pouco emissora de CO₂ (se resumindo às emissões de CO₂ e CH₄ dos próprios lagos das hidroelétricas devido à decomposição de matéria orgânica e atividade metabólica de algas e micro organismos (Santos 2000), ao contrário de outros países com geração elétrica predominantemente térmica. Com a implantação de usinas térmicas a gás a matriz energética tende a ter, em um futuro próximo, uma maior contribuição deste combustível na geração elétrica, embora a eletricidade de fonte hidráulica ainda permaneça como fonte principal. A queima do gás, na geração, vai, no entanto, aumentar os valores de emissão brasileira de CO₂.

Assim, qualquer redução no consumo energético, pela aplicação de uma maior eficiência, contribuirá para não aumentarem os empreendimentos em geração, sejam térmicos ou

hidráulicos, diminuindo não só os impactos diretos sobre o meio ambiente, mas também as emissões de CO₂, favorecendo o país em negociações internacionais.

4.2.3 *Motivações sociais*

No Brasil pode-se falar de ineficiência energética, por um lado, considerando-se os desperdícios e o mau uso. Por outro, também se pode falar que existe no país uma ineficiência social, pela grande inequidade neste setor, como atestam os índices de desenvolvimento humano.

O combate à ineficiência energética estará atuando nos dois lados desta questão. Enquanto, obviamente, está se investindo para melhorar as formas de utilização, diminuindo o consumo sem perder a qualidade, ao mesmo tempo está se gerando energia com eficiência e distribuindo-se renda, como foi comentado no capítulo 3 e ainda será no 5.

4.2.4 *Motivação de segurança estratégica*

Foi com os choques do petróleo que o mundo contemporâneo conheceu os aspectos estratégicos da dependência externa de uma fonte de energia.

Apesar da não dependência do Brasil em relação ao petróleo para a sua geração elétrica, como dependem outros países, hoje já começa a consumir gás natural importado, principalmente em empreendimentos de geração descentralizada e independente e que usam a técnica de cogeração para a produção de eletricidade associada à produção de calor industrial e/ou refrigeração de ambientes.

Uma crise no abastecimento de eletricidade é sem dúvida a circunstância estratégica que motiva o investimento privado na auto-produção. Este tipo de geração cria a possibilidade para o investidor vender seus excedentes, fortalecendo o sistema de oferta de eletricidade. Ambigualmente, uma ameaça de racionamento favorecerá aos consumidores sem qualquer iniciativa de auto-geração ou busca de eficiência, mesmo tendo as possibilidades de toma-

las, porque nestas circunstâncias todos seriam sacrificados, até os que, por iniciativa própria, procuraram um menor consumo ou investiram na própria geração.

“Ao mesmo tempo a consolidação de uma política de eficiência no uso final introduz um efeito acelerador: quanto mais cresce a economia mais rapidamente penetram novas técnicas mais eficientes. Abafa-se, assim, o crescimento da demanda energética, com mais intensidade, nas épocas de maior crescimento econômico, reduzindo-se o risco de déficit na oferta. Finalmente, a base de informações implícita nesta política talvez possibilite algum tipo de discriminação entre consumidores perdulários e eficientes, se houver racionamento” (Poole 1994).

Notas

1- Foi considerado, neste trabalho, o custo do bagaço de cana como zero (ver também capítulo 4), pela falta de um valor corrente para este produto. Foi considerado que para a maior parte das pequenas aplicações de geração descentralizada o bagaço de cana, como qualquer outro resíduo de bio massa teriam este custo para quem já o possui.

2- Entre 1960 e 1970 o preço permanece estável e em torno dos US\$ 2,00 o barril.. Depois da guerra de outubro de 73, no Oriente Médio o preço vai a US\$ 12,00. Depois da tomada de poder pelos religiosos iranianos o preço vai além dos US\$ 35,00. As décadas de 1980 e 1990 foram marcadas por fortes oscilações, onde o preço do barril ficou entre US\$ 10 e 20, porém ultrapassando os US\$ 30 durante a invasão do Kuwait pelo Iraque, em 1991. Fonte: BP Statistical Review, Dólar referenciado ao valor corrente.

3- Como referência, em 05/2002 a mesma tarifa era R\$ 314,65 por MWh e em 05/2003, R\$ 368,30. No período 05/2001 a 05/2002 a variação foi de 23,57%, enquanto no período de 05/2002 a 05/2003 foi de 17%. Média de 20% ao ano de aumento nas tarifas residenciais. O índice IPCA foi de 7,51% e 16,04%, respectivamente. Média de 11,77% por ano Fonte: Ligth e Agência Estado

5 O Uso de Fontes Alternativas de Energia

5.1 Introdução

Uma grande parcela da população do Brasil está marginalizada em áreas semi-áridas, nas periferias de cidades ou em regiões rurais como mão de obra temporária ou desempregada. Em relação a esta população, um exercício de planejamento energético será desenvolvido com o objetivo de averiguar a viabilização de caminhos e soluções integradas para inserção destes habitantes na vida econômica e social do país. Um aumento de demanda no consumo de energia elétrica é o pano de fundo deste exercício. Serão comparadas três formas alternativas de micro geração de energia elétrica. O uso do bagaço de cana, já consagrado e que tem aumentado a sua participação, representará o aproveitamento de biomassa. A geração fotovoltaica tida como modelo para as aplicações em regiões remotas, e a geração solar térmica, cuja aplicação é praticamente inexistente no Brasil. É para esta última aplicação que chamaremos atenção pelo custo final da energia, que poderia ser bem mais baixo do que na fotovoltaica e não causar, como ela, uma dependência de importação de seu componente mais importante e mais caro, o painel de silício. Ao contrário, a geração solar térmica, se estimulada, poderia aumentar a oferta de empregos pela dinamização de todo um setor industrial dedicado a esta fonte alternativa, que encontra aplicações não somente em comunidades carentes, como para qualquer empreendimento que optasse por, ou necessitasse de uma fonte de energia elétrica com geração descentralizada.

A comparação entre a energia produzida a partir de biomassa e a energia produzida a partir da energia solar direta não é a intenção deste exercício, porque estas duas formas, longe de serem concorrentes, podem ser complementares, na medida em que forem mais convenientes, pela abundância ou não de resíduos vegetais ou florestas plantadas com

finalidade energética. A complementaridade na geração elétrica pela conversão mecânica da queima de biomassa e da energia solar térmica é facilmente implementada com máquinas de combustão externa (Ver anexos II e III). Estas máquinas sejam de ciclo Rankine ou Stirling, ainda admitem a troca de fonte de calor sem complexidade. Podesser (1999), Kongtragool e Wongwise (2003), Tsoutsos (2002), além de outros autores, sugerem que as melhores máquinas para este fim são as que têm o ciclo termodinâmico de Stirling.

O resultado do exercício, apesar de empírico, demonstrará que existe uma relação entre o resgate de um significativo contingente humano, a oferta de energia necessária e o uso de formas de geração que, além de cumprirem com a sua função precípua, gerar energia, também estejam sintonizadas com a dinamização da economia. A aplicação dos resultados, e das técnicas apresentadas, pode ser facilitado pela falta de paradigmas energéticos, na população alvo do exercício. O comportamento comum, em comunidades isoladas de países em desenvolvimento, é o uso de lenha para o preparo de refeições sem preocupação com a sustentabilidade, FAO/WECC (1999). Voltando às idéias de Fred Cottrell, no segundo capítulo, vemos que neste caso a energia pouco participa da matriz social desta população, e a mudança certamente trará modificações positivas nas relações sociais. Portanto, é justamente pela privação, total ou quase total de recursos, em uma massa muito grande de pessoas, que novas técnicas podem ser introduzidas sem uma rejeição cultural ou economicamente imposta por hábitos consolidados, sejam eles hábitos ambientalmente benéficos ou não. Neste caso, procuramos deixar claro que são opções bastante razoáveis do ponto de vista da eficiência energética ou do ponto de vista ambiental. A análise econômica também é feita, mas, consideramos que incentivos e subsídios certamente serão necessários para que os custos sejam inicialmente reduzidos e que protótipos ou teorias termodinâmicas se tornem equipamentos reais. Fica também registrado que somente a oferta de energia, seja ela descentralizada ou não, e de que de fonte for originada, não será suficiente para que se produza desenvolvimento material e humano FAO/WECC (1999). O

processo é multidimensional, incluindo a cultura e a tecnologia, se quisermos voltar a nos referir as teorias, apresentadas no segundo capítulo.

5.2 Exercício hipotético e comparativo de fontes de geração

Partiremos do número de 50 milhões de brasileiros (1), que hoje são considerados como pertencentes àquela camada da população que sobrevive em condições abaixo da linha de pobreza, e que por esta condição econômica não têm condições de serem considerados atualmente como consumidores de energia elétrica (2). Por compromissos morais e éticos somos levados a acreditar que esta população, devido a programas de implantação de projetos de desenvolvimento, seja conduzida a um novo patamar de condição econômica e social em um determinado prazo.

Como premissa básica para este exercício serão considerados dois cenários. O primeiro será o de aumentar a oferta, a transmissão e a distribuição de energia elétrica, para atender a uma nova demanda, sem levar em consideração uma possível participação direta, desta população, no processo de geração da nova energia demandada. O segundo será o de aumentar a oferta de energia elétrica através de empreendimentos sustentáveis de geração renovável e descentralizada, associada à produção de alimentos e ao aproveitamento de resíduos. Estes empreendimentos, implantados de diversas formas, farão parte das atividades econômicas nas quais o novo contingente populacional inicialmente irá se dedicar.

Hipoteticamente será suposto que esta população possa estar distribuída idealmente em famílias, em média com cinco pessoas, e passassem a consumir um valor médio de 50 KWh por mês por família (3). Este valor está baseado no consumo por família na tabela de estimativas para o consumo de eletricidade para áreas rurais em países em

desenvolvimento, Tabela 4, recomendado pelo Relatório do Grupo dos 8, da conferência de julho de 2001 em Gênova (G8 – 2001). Foi feito um acréscimo no consumo, originalmente recomendado para refrigeração, de 0,5 KWh por dia por família, para 0,82 KWh, por considerarmos o valor recomendado baixo em comparação com os dados de consumo de equipamentos comerciais com o selo PROCEL.

Serviço	Energia para alívio da pobreza	Demanda por mês
Água potável	Bombeamento de 25 litros de água por família por dia	0,75 KWh
Iluminação	5 horas por dia com 100W por família	15,0 KWh
Televisão	5 horas por dia com 50 W por família	7,5 KWh
Rádio	5 horas por dia com 5 W por família	0,75 KWh
Refrigeração	0,82 KWh por dia por família	24,8 KWh
Serviços médicos	2,5 KWh por dia em um posto de saúde com iluminação e geladeira por grupo de 200 famílias	0,4 KWh
Educação	5 KWh por dia em uma escola com iluminação, água, computador por grupo de 200 famílias	0,8 KWh
Total		50,00 KWh

Tabela 4 – Estimativa de consumo elétrico na área rural de países em desenvolvimento. Fonte: G8, 2001

O consumo de eletricidade anual iria aumentar no Brasil em cerca de 6 TWH. Um parêntese neste ponto é necessário, para que um raciocínio em paralelo seja feito quanto ao incremento de 6 TWH. Ele também poderia ser conseguido seguindo-se outro critério. Ao invés de se considerar a população que estaria abaixo do índice de pobreza fosse considerada, apenas aquela população com privação absoluta de energia elétrica, 15 milhões de pessoas, segundo o IBGE (2003) e MME (2002), e se fosse usado o valor de consumo de 150 MWH por mês por família, MME (2002) (este valor também é a média

entre o valor de 250 MWH/mês, nota 3, e os 50 MWH/mês , da tabela 1). Embora, o consumo doméstico destes novos cidadãos não possa ser, na realidade, contabilizado como o único aumento produzido pela introdução desta nova demanda. Os produtos industrializados, que passariam ao consumo, em tese, desta população antes marginalizada produziram, também, um impacto no consumo industrial de energia elétrica. Novas moradias e novos produtos seriam produzidos ao custo de mais energia. Igual crescimento pode ser esperado no setor comercial (4). Não é pretensão deste trabalho simular tais incrementos por se tratar de assunto bastante complexo e de inúmeras alternativas. Igualmente difícil seria precisar quando e como os novos consumidores de energia elétrica teriam níveis de renda suficiente para aumentar o consumo de bens. Portanto, para efeito de aumento de consumo de energia elétrica, será considerado apenas o setor residencial.

		2000	2001	2000+2,25%	Cenário I
Consumo final	TWh	331.6	309.93	339.89	371.21
Setor Energético	TWh	10.59	10.98	10.85	10.85
Setor Residencial	TWh	83.5	73.78	85.59	91.59
Setor comercial	TWh	47.44	44.51	48.63	48.63
Setor público	TWh	29.71	28.45	30.45	30.45
Agropecuária	TWh	13.28	13.18	13.61	13.61
Transportes	TWh	1.26	1.26	1.29	1.29
Industrial	TWh	145.83	137.78	149.48	149.48

Tabela 5 – Estimativa de aumento de consumo elétrico
Fonte BEN 2002, MME

Teríamos então, no primeiro cenário, Tabela 5, um aumento no consumo total do Brasil de 339,90 TWh (5) para 371.21 (cerca de 9,2%), somente pelo incremento de uma população no mercado consumidor de energia elétrica, o que corresponderia a utilizar a potência instalada, as linhas de transmissão e a estrutura de distribuição, sem levar em consideração o crescimento do resto do país. O consumo de 339,90 TWh, sobre o qual foi somado o hipotético aumento de 9,2%, se refere ao total de consumo de energia elétrica do ano 2000 (331,6 TWh) caso fosse mantido o crescimento no consumo, sem que houvesse a queda de 7%, registrada em 2001.

A análise da Tabela 6 ajuda a visualizar que, se ao invés de diminuição, houvesse um acréscimo de 2,5% correspondente ao aumento ocorrido de 1998 para 1999, o consumo em 2001 teria sido próximo dos 340 TWH. O PIB, provavelmente, também teria sido maior.

1	1998	1999	Cresc.	2000	Cresc.	2001	Cresc.	
2	471,715	475,488	+0,8%	496,41	+4,3%	503,856	+1,5%	US\$X10 ⁹ (2001)
3	307,03	314,70	+2,5%	331,60	+5,4%	309,93	- 6,5%	TWH
4	65,90	67,80	+2,8%	73,10	+7,8%	75,53	+3,3%	GW

Tabela 6 - Consumo Total elétrico, PIB e Potencia Instalada

Fonte: BEN 2002, MME

Onde: 1 – Ano; 2 – PIB; 3 – Consumo de eletricidade; 4 – Capacidade instalada.

No segundo cenário, a título de exercício empírico, poderíamos agrupar as 10 milhões de famílias hipoteticamente em torno de 20.000 cooperativas com 500 famílias em cada uma, onde seriam planejadas as suas produções agrícolas, pecuária, energética e industrial, conforme a vocação dos locais de instalação. O consumo médio anual de cada uma destas cooperativas, usando-se o valor já estimado acima, de 50 KWh por mês por família, seria de 25 MWh por mês nas residências. Se cada uma destas cooperativas, de 500 famílias e 2.500 pessoas, fosse motorizada com uma capacidade geradora suficiente para as necessidades residenciais estimadas, o valor médio de 100 KW seria encontrado (Ver Apêndice I). Se a segunda alternativa, para o número de habitantes, fosse considerada o exercício teria como cenário: 3 milhões e 300 mil famílias, distribuídas em cerca de 7000 cooperativas hipotéticas, com cerca de 500 famílias em cada uma. O consumo médio anual, neste caso seria três vezes maior, 750 MWh/mês nas residências e a capacidade geradora de 330 KW. A capacidade das máquinas considerada seria de 40% (80% é o valor usado para máquinas térmicas de usinas centralizadas), pelas horas sem sol ou em manutenção, alcançando 360 MWh por ano (ou 1,2 GWh, no caso da segunda hipótese). Qualquer excedente, oriundo do aumento do fator de capacidade das máquinas, de sua capacidade nominal ou implemento de outra fonte geradora, poderia ser comercializado, usado como escambo com outras cooperativas próximas ou simplesmente aumentando as possibilidades de consumo.

Como exemplos de geração desta energia podem ser analisadas três formas alternativas. Uma utilizando-se a energia solar térmica, outra subprodutos da cultura de cana de açúcar e uma outra com geração fotovoltaica. A energia solar térmica será analisada de duas formas. Uma usando-se como processo de conversão o ciclo Rankine, de turbinas ou cilindros à vapor. A outra usando como processo de conversão o ciclo Stirling. Ambos de máquinas de combustão externa (Ver Apêndice II e III). Nesta parte será considerado o ciclo térmico de Rankine, por representar a tecnologia mais disponível ou da chamada “Main Stream”. O ciclo termodinâmico de Stirling não é muito utilizado pela imposição tecnológica das máquinas de combustão interna ou de outras tecnologias, apesar de ser considerado como mais eficiente (Kontragool – 2002), e com implementação através de máquinas mais simples, mais silenciosas, menos sujeitas à manutenção (Tsoutsos – 2002), e com possibilidade de serem usadas, tanto conversão do calor da queima de resíduos de biomassa como na conversão do calor oriundo da captação de energia solar (Podesser – 1999). Máquinas com este tipo de ciclo serão analisadas posteriormente.

O objetivo desta comparação é expor as características de cada uma das formas e analisar qual das formas de energia renovável seria a mais propícia para um projeto de inserção social, distribuição de renda e a geração de emprego, já que quase todas as iniciativas de eletrificação rural têm se voltado para a instalação de sistemas fotovoltaicos em comunidades isoladas, quando projetos de pequenas hidroelétricas não são viáveis.

Para se calcular a área necessária à geração elétrica das necessidades da cooperativa hipotética, caso fosse a energia solar por concentração e o ciclo Rankine, as únicas formas, seguiríamos o seguinte procedimento: No Brasil a média típica anual de irradiação solar na superfície (0° de inclinação) varia de 4500 Wh/m²/dia, no extremo sul, até 6100 Wh/m²/dia, no sertão nordestino, (INMET - 1998). Tomando como valor conservativo 5500 Wh/m²/dia,

(aproximadamente 2MWh/m²ano) para a irradiação solar média acima do paralelo de 20°, justamente onde se concentra o maior contingente de população com menor índice de desenvolvimento humano e onde é menor a capilarização do sistema de distribuição. É fácil deduzir que para se gerar o equivalente a 360 MWh de eletricidade, (consumo estimado para cada comunidade hipotética com 2500 pessoas, ver Apêndice I), por concentração da energia solar incidente na superfície, será necessária uma área de coletores solares de 3.840 m², (ou 3,3 vezes maior se considerada a hipótese de maior consumo), com um fator de capacidade de 36% (6). O estado da arte para este tipo de geração, usando a conversão para eletricidade através do ciclo Rankine, pressupõe o uso de acumuladores de calor, de modo a permitir que a geração prossiga mesmo depois do poente e em horários de pico. Pela sua dimensão poderia ocupar, idealmente, o telhado de um galpão para não desperdiçar uma área que poderia ser destinada a outras atividades.

360 MWH-----Fcap.=36%-----	1152 MWH -----	7680 MWH -----	3840 m²
Gerador	Eficiência = 15%	Energia solar	5500W/m²dia

O ideal para diminuir o preço do KWh com este tipo de ciclo termodinâmico, porém, são usinas maiores, com potencial instalado acima de 50 MW e atingindo o seu ideal com 200MW (DOE / NREL – 1999). Para potências entre 5 e 100 KW, como foi mencionado na introdução deste capítulo, as conversões ótimas são as baseadas no ciclo termodinâmico de Stirling, que serão analisadas no item 5.4, mais a frente. Há que se fazer um parêntese para esclarecer que, mesmo tendo sido utilizado a taxa de 36% para fator de capacidade para considerar as horas sem sol durante o ano, uma baixa prolongada de insolação poderá ser contornada por um sistema misto que utilize como alternativa um outro combustível, que não a luz do sol.

No exemplo cujo combustível é a biomassa, toma-se com referência os dados de produtividade da cultura da cana de açúcar:

“Da energia contida em uma tonelada de cana, há cerca de 560.000 kcal em 250 kg de bagaço úmido, 448.000 kcal em 80 l de álcool e 60.000 kcal em 11.830 litros de biogás obtidos através da biodigestão da vinhaça. Isso equivale a dizer que há mais energia na cana de açúcar e seus derivados do que se pode conseguir com o álcool isoladamente”. (Happ et al, 1992)

Uma área de 24 ha de cana de açúcar produziria, com um aproveitamento de 70 Ton/ha (Macedo e Koller 1994), 1680 toneladas de cana, com cerca de $39,2 \times 10^7$ Kcal em 420 toneladas de bagaço úmido, $31,36 \times 10^7$ Kcal em 134.000 l de álcool e $4,2 \times 10^7$ Kcal em 19.874 m^3 de biogás. O bagaço e o gás, se, por exemplo, forem levados à conversão elétrica em caldeiras com ciclo combinado (55% de eficiência), resultaria em cerca de 665,47 MWH ou 423,48 MWH, se, mais conservadoramente, forem usadas caldeiras com 35% de eficiência na conversão. A este último corresponde o esquema abaixo, para atender às necessidades de nossa cooperativa hipotética.

364,32 MWH	---	1040,16 MWH	-----	895,68X10⁶Kcal	-----	20,6 ha
Gerador		Caldeira 35%		Bagaço/Gás		602 ton. de cana

As áreas calculadas nos exemplos para a geração de energia demonstram que para a produção de energia por processo termo solar, a conversão direta necessita de cerca de 1,86% da área que seria necessária para se gerar a mesma eletricidade, usando-se a biomassa e o gás resultantes da cultura da cana de açúcar e da produção de álcool. A energia de biomassa da cana de açúcar, apesar de precisar de água para a irrigação, implementos diversos para os tratos culturais, insumos de vários tipos inclusive energéticos, gera paralelamente o álcool e oportunidades de emprego.

As máquinas para a geração, com capacidades nominais de 100 KW, poderiam ser moduladas e padronizadas. Com o desenvolvimento de um projeto nacional e em economia de escala, o custo poderia ser menor, visto que a tecnologia envolvida é conhecida, só faltando um projeto piloto sobre o qual otimizações poderiam ser feitas (7). Não poderemos precisar o quanto se obteria em redução de custo, mas de qualquer modo sabe-se que, quanto maiores forem as encomendas ao mercado maior será o poder de barganha para se conseguir melhor preço. Geller (2003), entretanto, faz uma comparação de várias fontes renováveis e em vários países, para determinar de quanto seria a redução de custo para cada duplicação nas encomendas de equipamentos. Alguns resultados são listados na Tabela 7.

Tecnologia	Região	Período	Redução no custo p/ duplicação de quantidade
Módulos fotovoltaicos	EUA, Japão	1981-95	20%
Sistemas fotovoltaicos	Europa	1985-95	35%
Energia eólica	Califórnia	1980-94	18%
Álcool combustível	Brasil	1979-95	20%
Lâmpadas fluorescentes	EUA	1992-98	16%
Turbina a gás ciclo combinado	Mundo	1991-97	26%

Tabela 7 – Redução nos custos por duplicação da quantidade
Fonte: Geller (2003)

Em economia de escopo, usando-se o calor residual para outros processos, como por exemplo a refrigeração, teremos a eficiência dilatada. A sua operação e manutenção se tornariam familiares, o que ensejaria o desenvolvimento de mão de obra, dentro e fora das cooperativas, além de oportunidade de educação técnica pulverizada.

No terceiro exemplo, será usado como fonte geradora de energia o efeito fotovoltaico da luz sobre uma placa de material semicondutor. Para se conseguir os 360 MWh serão necessários painéis fotovoltaicos com 75 W para cada família, que gerarão cerca de 18 volts em corrente contínua, acompanhados de um conjunto de baterias e controladores de carga. Para a conversão em corrente alternada será também necessário um alternador para cada casa. O custo de US\$ 11.00,00 por KW, na Tabela 5, se refere a sistemas com alternador e baterias. Sistemas com fornecimento de corrente contínua têm custo menor (DOE, 1999). As diferenças entre, as formas de geração consideradas nos exemplos mencionados podem ser constatadas na Tabela 8, que compara os custos associados a cada uma das formas.

	Solar Fotovoltaica	Solar Térmica	Bio Massa Térmica
Custo da Construção (US\$/KW)	11.000	2.100	900
Custo do Combustível	0	0	0
Custo de Oper.-Manut.(US\$/MWh)	2	15	10
Disponibilidade -%	40	40	40
Vida útil-anos	20	30	30
Taxa de atualização de capital -%	10	10	10

Tabela 8 - Custos para a determinação do preço final da energia
Fonte – DOE 1999

A composição do preço anual aproximado da energia gerada será a soma da amortização anual e do custo de operação/manutenção. Os valores de custo da construção incluem os equipamentos e foram usadas como referência, para a geração fotovoltaica e por bio massa, valores médios de instalação de projetos similares. Para a geração solar térmica, segundo dados do Departamento de Energia americano, o custo de instalação chega a US\$ 2.900,00/KW) (DOE 1999), mas, na Tabela 8 foi considerada uma redução deste custo para US\$ 2.100,00/KW, pelo custo menor de instalação em países pobres (World Bank, 1999). O valor de operação e manutenção para o sistema fotovoltaico foi estabelecido levando em consideração a substituição das baterias de dois em dois anos. Para os outros dois sistemas o valor foi estimado em 2,2% do investimento ao ano (World Bank 1999). Para a amortização anual foi usado o fator de recuperação de capital:

Custo do Investimento = Investimento X $[(1 + i)^n \times i] / [(1 + i)^n - 1]$, (Sobrinho 1986)

Onde:

n = vida útil (prazo para amortização)

i = taxa interna de retorno (TIR) ou taxa de atualização do capital

	Solar Fotovoltáica	Solar Térmica	Bio Massa Térmica
Disponibilidade (MW/ano)	157,68	157,68	157,68
Investimento (US\$)	385.000,00	73.500,00	31.500,00
Custo do Combustível (US\$)	0,00	0,00	0,00
Custo O&M (US\$)	315,36	2.365,20	1.576,80
CI Amortização anual (US\$)	45.221,96	7.796,82	3.341,50
CE Custo da energia (US\$/MWh)	45.537,32	10.162,02	4.918,30
Custo do MWh (US\$)	288,80	64,45	31,19
Custo do KWh (US\$)	0,29	0,06	0,03
Custo do MWh (R\$) jun. 2003	837,52	186,90	90,45
Custo do KWh (R\$) jun. 2003	0,84	0,17	0,09

Tabela 9 - Composição dos preços da energia com os dados da tabela 8

A primeira diferença é a no investimento inicial, Tabela 9, o que reflete diretamente no custo final da energia. A segunda é que o Brasil não é um grande produtor de painéis fotovoltaicos, portanto os investimentos neste tipo de geração não resultam em geração de emprego, principalmente dentro das comunidades atendidas ou nas regiões próximas. A geração solar térmica ou biomassa térmica além de terem um custo por KWh mais baixo ainda poderiam gerar mais ocupação, dentro e fora dos locais de implementação, pela fabricação menos sofisticada do que a produção do silício puro e sua posterior preparação para a manufatura dos painéis. A Tabela 10, com os Preços Máximos para repasse ao consumidor final (Valores Normativos X 1,05), conforme a Nota de Esclarecimento sobre a Resolução ANEEL nº 22-2001, dá uma idéia dos patamares competitivos do preço da energia para diversas formas de geração, não existindo menção à geração solar térmica,

Fonte	Valor Normativo	
	R\$/MWh	US\$ /MWh
Competitiva	112,20	38,69
Termelétrica - carvão nacional	116,11	40,04
Pequena Central Hidrelétrica	123,00	42,41
Termelétrica a Biomassa	139,37	48,06
Eólica	174,03	60,01
Solar Foto-voltáica	409,65	141,26

Tabela 10 - Valores Normativos Fonte: ANEEL 2002
(a taxa de câmbio foi atualizada para jan. 2004, 2,9 R\$=1US\$)

A aplicação do efeito fotoelétrico tem, sem dúvida, uma aplicação mais direta e resolve o problema da eletrificação pontual com grande eficiência, mas seu custo ainda é alto se comparado com outras formas de geração, e sua aplicação não aproveita o efeito gerador de mão de obra e de inclusão social para o qual queremos chamar a atenção. Esta tecnologia está pouco desenvolvida no Brasil. Historicamente, pode-se considerar que em 1989 foi dado o primeiro impulso à produção nacional de painéis fotovoltaicos. Através do programa PROSOLAR, pretendeu-se preparar o aparato tecnológico do país ao mercado de energia solar. Desde 1983, a firma Heliodinâmica vem produzindo substratos de silício, células solares e sistemas fotovoltaicos. Com o fim da "Lei da informática", no início dos anos noventa, que criava uma reserva de mercado para produtos semicondutores para a informática (o substrato de silício para o efeito fotovoltaico incluído), a Heliodinâmica não teve estabilidade financeira para continuar no mercado. Iniciaram-se, nesta época, articulações para a entrada no mercado brasileiro de diversas firmas, já atuantes no mercado mundial, através de ações diretas ou através de financiamento, como foi o caso do governo alemão através da firma Siemens. Os mercados procurados têm sido na área de Telecomunicações, como fonte de alimentação de equipamentos em regiões de difícil acesso, e as Empresas de Energia Elétrica. Estas últimas implementando programas de eletrificação usando energia renovável (Freitas et al 1997). A Heliodinâmica, a partir de

1997, retomou as atividades de produção de silício puro. A capacidade declarada é de 2MW por ano de painéis fotovoltaicos (Heliodinâmica – 2003).

A geração solar térmica vem sendo desenvolvida nos Estados Unidos da América desde o começo dos anos 80 usando diversas tecnologias, entre elas a de concentradores parabólicos. Incentivada pela lei de apoio aos produtores independentes (PURPA Act.) várias unidades foram construídas, mas limitadas à potência de 80 MW. Depois de alguns altos e baixos na política de incentivo às formas renováveis de energia, e a diminuição dos preços internacionais de derivados do petróleo, a principal firma empreendedora destes projetos, Luz International, entrou em concordata. As nove usinas construídas entre 1985 e 1991, com potências de 30MW e 80 MW, ainda funcionam com bom desempenho. Elas são operadas por empresas que foram adquirindo a massa falida. O Departamento de Energia Americano e o Banco Mundial têm planos de incentivar a construção de mais usinas com capacidade de até 200MW, capacidade que segundo estudos atingiria um menor preço de escala para a energia produzida (World Bank 1999), (DOE 1999). Porém, mesmo para o uso da tecnologia de coletores solares para a geração de energia será preciso um esforço de pesquisa e desenvolvimento. O Banco Mundial, à semelhança do que já faz com os sistemas fotovoltaicos, tem como primeiro interesse a comercialização da tecnologia. Em relatório emitido por consultores desta instituição é citado o exemplo do Brasil, que adota políticas de restrição fiscal à compra de material tecnológico. Assim, não sendo interessante a instalação de fábricas não apenas pelo pequeno mercado para instalações solares térmicas, mas também pela perda de foco no verdadeiro interesse dos fundos, a comercialização de “royalties”.

“Some countries have financial policies that will slow the adoption of Solar Thermal Power Plants. For example Brazil applies a high duty on all imports including solar equipment, whereas imported fuels for conventional power plant are usually not subject to duties. Given the current small market for

STPPs, it is not economically justified to have solar collector production facilities in each country. In establishing a support program for STPPs, it is important that funds go toward commercializing the technology and not into a country's general revenues" (World Bank, 1999).

A geração solar térmica conta, porém, com uma alternativa tecnológica que se adaptaria às condições de micro geração descentralizada em regiões em desenvolvimento. As máquinas de Stirling, como são conhecidas desde 1939.

5.3 Máquinas com ciclo termodinâmico de “Stirling”

Este tipo de máquina, com ciclo termodinâmico apresentado no Apêndice III, foi concebida antes que a termodinâmica científica tivesse sido criada pelos experimentos de Joule, entre 1840 e 1849, de Von Helmholtz, em 1847, e outros. Ela foi criada com o nome de “Máquina de Ar Quente”, em 1816 por Robert Stirling e conseguia transformar parte do calor gerado, pela queima de um combustível, em trabalho. Permaneceu em uso, e com bastante aceitação por muitos anos (Zemansky – 1968). A sua aplicação para a conversão de energia solar data de 1864 por Ericsson (Kongtragool – 2002, citando Spencer 1989). Com o desenvolvimento das máquinas a vapor e das máquinas de combustão interna ficou finalmente obsoleta, até que a partir de 1939, quando foram finalmente denominadas Máquinas de Stirling, voltaram a despertar interesse. Hoje são usadas especialmente para resfriamento criogênico. Por ser um ciclo reversível ele se aplica ao resfriamento, se a entrada do sistema for o trabalho, com a saída sendo o calor retirado de um dos lados do sistema. Outras aplicações como motores de avião, geradores em submarinos e sondas espaciais são exemplos não corriqueiros de máquinas, com este ciclo termodinâmico.

Algumas empresas têm hoje alguns protótipos, para demonstração, baseados na técnica de captação de energia solar por concentradores parabólicos e em forma de disco, com a

interface absorvedora de calor da máquina Stirling no foco. Estas unidades, com cerca de 10 metros de diâmetro, têm potência nominal de 25 KW. Segundo o estudo de Tsoutsos (2002), uma destas empresas conseguiria colocar no mercado uma destas unidades por US\$ 1.800,00 o KW instalado, caso a taxa de encomendas atinja as 2.000 unidades por ano. Este preço poderia ainda cair para US\$ 600,00 se as encomendas chegassem a 10.000 unidades por ano. A eficiência, da conversão do calor para trabalho, prometida pelo fabricante, fica na faixa de 38 a 40%. Se um projeto for desenvolvido para as condições nacionais e para fabricação no Brasil estes valores poderiam ser ainda menores,

As máquinas de Stirling, por serem de combustão externa, se prestariam a trabalhar com mais de uma fonte de calor, se assim fossem projetadas, oferecendo a possibilidade de trabalharem durante os períodos de insolação, recebendo calor do sol, e durante a noite com calor produzido por qualquer outro combustível, inclusive biomassa. Podem ser máquinas bastante simples com manutenção e operação fáceis. Permitem operação silenciosa e com pouca vibração. Segundo Kongtragool (2002) seriam as máquinas ideais para regiões isoladas onde sejam permitidas mudanças lentas na potência de saída e uma partida não instantânea. Há ainda muito espaço para a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas cada vez mais eficientes e operacionais.

Nas Tabelas 11A/B e 11A/B são apresentadas estimativas para o custo da energia elétrica para os dois níveis de preço da geração solar, a partir de máquinas de Stirling, e de três diferentes preços da geração fotovoltaica, caso esta venha a ter seus custos reduzidos. Nas Tabelas 8 e 9, o custo do KW para a geração fotovoltaica foi considerado como US\$ 11.000,00, incluindo-se o alternador para possibilitar a saída em corrente alternada. Os três preços para a energia fotovoltaica, na Tabela 11A, representam a geração em corrente contínua (US\$ 7.000,00/KW), e mais dois níveis (US\$ 5.000,00/KW e US\$ 3.000,00/KW) representando possíveis reduções futuras, em função do aumento da escala comercial e

evoluções na tecnologia. Os preços de US\$ 1.800,00/KW e US\$ 600,00/KW, para a geração através de máquinas Stirling correspondem às intensidades de produção mencionadas anteriormente.

	Fotovoltaica A	Fotovoltaica B	Fotovoltaica C	Termo solar A	Termo solar B
Custo da Construção (US\$/KW)	7000	5000	2500	1800	600
Custo do Combustível	0	0	0	0	0
Custo de Oper.-Manut.(US\$/MWh)	5	5	5	3	1,5
Disponibilidade -%	40	40	40	40	40
Vida útil-anos	20	20	20	30	30
Taxa de atualização de capital -%	10	10	10	10	10

Tabela 11A – Taxas de atualização 10%

	Fotovoltaica A	Fotovoltaica B	Fotovoltaica C	Termo solar A	Termo solar B
Disponibilidade (MWh/ano)	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60
Investimento (US\$)	175.000,00	125.000,00	62.500,00	45.000,00	15.000,00
Custo do Combustível (US\$)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo O&M (US\$)	438,00	438,00	438,00	262,80	131,40
CI Amortização anual (US\$)	20.555,43	14.682,45	7.341,23	4.773,57	1.591,19
CE Custo da energia (US\$/MWh)	20.993,43	15.120,45	7.779,23	5.036,37	1.722,59
Custo do MWh (US\$)	239,65	172,61	88,80	57,49	19,66
Custo do KWh (US\$)	0,24	0,17	0,09	0,06	0,02
Custo do MWh (R\$)	862,74	621,39	319,69	206,97	70,79
Custo do KWh (R\$)	0,72	0,52	0,27	0,17	0,06
Tarifa nordeste rural 2003 (R\$/MWh)	122,38	122,38	122,38	122,38	122,38
Vantagem da opção (R\$/ano)	- 740,36	- 499,01	- 197,31	- 84,59	51,59

Tabela 11B – Custo final da energia com atualização de capital a 10%

Opção	Fotovoltaica A	Fotovoltaica B	Fotovoltaica C	Termo solar A	Termo solar B
Custo da Construção (US\$/KW)	7000	5000	2500	1800	600
Custo do Combustível	0	0	0	0	0
Custo de Oper.-Manut.(US\$/MWh)	5	5	5	3	1,5
Disponibilidade -%	40	40	40	40	40
Vida útil-anos	20	20	20	30	30
Taxa de atualização de capital -%	4	4	4	4	4

Tabela 12A - Taxas de atualização 4%

	Fotovoltaica A	Fotovoltaica B	Fotovoltaica C	Termo solar A	Termo solar B
Disponibilidade (MWh/ano)	87,60	87,60	87,60	87,60	87,60
Investimento (US\$)	175.000,00	125.000,00	62.500,00	45.000,00	15.000,00
Custo do Combustível (US\$)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Custo O&M (US\$)	438,00	438,00	438,00	262,80	131,40
CI Amortização anual (US\$)	12.876,81	9.197,72	4.598,86	2.602,35	867,45
CE Custo da energia (US\$/MWh)	13.314,81	9.635,72	5.036,86	2.865,15	998,85
Custo do MWh (US\$)	152,00	110,00	57,50	32,71	11,40
Custo do KWh (US\$)	0,15	0,11	0,06	0,03	0,01
Custo do MWh (R\$)	547,18	395,99	206,99	117,75	41,05
Custo do KWh (R\$)	0,46	0,33	0,17	0,10	0,03
Tarifa nordeste rural 2003 (R\$/MWh)	122,38	122,38	122,38	122,38	122,38
Vantagem da opção (R\$/ano)	- 424,80	- 273,61	- 84,61	4,63	81,33

Tabela 12B – Custo final da energia com atualização de capital a 4%

A finalidade das Tabelas 11 e 12 é fazer uma análise de sensibilidade com as taxas de atualização de capital, mantidas as tarifas de energia elétrica, e determinar a partir de que taxa o preço da geração com máquinas de Stirling começa a ficar competitivo com a tarifa média para a área rural na região nordeste. O valor da tarifa de energia para 2003 foi estimado a partir de dados do BEN 2002 considerando a mesma taxa de crescimento observada do ano de 2001 para 2002.

Qualquer das opções de máquina Stirling é mais vantajosa do que a mais otimista projeção de geração fotovoltaica. Com taxas de atualização de 10%, as máquinas Stirling só seriam competitivas, com a tarifa de energia corrente na região rural nordestina, se a produção de equipamentos fosse de 10.000 unidades por ano. Com a produção em 2 000 unidades por ano a taxa de atualização precisaria ser de 4% para que os custos de geração fossem competitivos com a tarifa corrente. Como no nosso exemplo hipotético a demanda chegaria a 80.000 unidades de 25 KW, portanto, a produção de 10.000 unidades por ano seria possível. Outro dado, não considerado, seria o custo marginal das linhas de transmissão, recurso que deixaria de ser investido e que, portanto, influenciaria positivamente no custo final da energia descentralizada, uma vez que a comparação de custo final foi feito com a tarifa de energia distribuída pela rede.

5.4 Considerações Finais

A forma de geração energética poderia ser determinada pela região e micro-região onde fosse implantada. A geração de energia seria uma otimização entre o aproveitamento híbrido de resíduos de colheitas, aproveitamento de energia solar, energia eólica, ou de pequenas hidroelétricas.

Este exercício, baseado em um cenário empírico e de realização hipotético, não levou em consideração a preparação que uma eventual implantação real demandaria. Teria que ser acoplado a um extenso programa educativo de adaptação a novas realidades e a criação de infraestruturas que consumiriam energia antes mesmo da situação proposta vir a acontecer. Entretanto, apesar de suas limitações, serve como forma de se visualizar estratégias para políticas públicas em que o objetivo social, de se integrar populações marginalizadas, se oriente, primeiro pelas limitações ambientais planetárias de uso cada vez menor de combustíveis fósseis, segundo pela escolha das técnicas mais favoráveis à distribuição de renda e geração de emprego. A face ética desta política orientada para a parte mais carente da população, neste salto econômico e social, reside justamente na apresentação, a esta população, de uma realidade sustentável de desenvolvimento e sobrevivência. O outro aspecto mostrado pelo exercício é que o aumento na eficiência de conversão da energia solar em energia elétrica, nos ciclos termodinâmicos, ainda tem espaço para desenvolvimento e pode ser o alvo preferencial de pesquisas a serem desenvolvidas neste sentido. Além dos benefícios sociais ressaltados, este exercício ainda deixa possível o vislumbre de um sistema padronizado de micro geração de eletricidade, com seus custos tendendo à redução, uma vez aumentado o volume de demanda. Este sistema solar térmico poderia ser um fator coadjuvante na adaptação do homem ao clima do semi-árido nordestino, fixando a mão de obra à terra e criando possibilidades para o desenvolvimento regionalizado em face das necessidades por energia não se restringirem somente ao uso doméstico, mas principalmente no bombeamento de água e na eventual dessalinização de água proveniente de lençóis salobros.

Quanto às técnicas para o aproveitamento fotovoltaico, fica claro que para o Brasil de hoje muito terá que se investir para o total domínio desta forma de geração, e o seu uso ser repensado, principalmente entre as camadas de população com menos renda.

Notas

- 1** – Segundo a Fundação Getúlio Vargas, em um estudo feito pelo economista Marcelo Néri, apesar de outros institutos discordarem deste número. Em “E fácil acabar com a miséria”, Jornal do Brasil 15/07/2001. Com este número também concordam Barros, Henriques e Mendonça (2001).
- 2** – Foi desprezado, neste exercício, o fato das empresas concessionárias de energia terem perdas devido ao consumo não formal de eletricidade em aglomerados urbanos, suburbanos e intraurbanos, onde parte desta população miserável se encontra, embora com um consumo individual de eletricidade não significativo.
- 3** – O consumo de 250 KWH por mês por família é o consumo médio residencial, por família de cinco pessoas, em 2001, considerando que os 50 milhões de habitantes, atores deste exercício, não tivessem contribuído com este consumo. Portanto, uma população de 120 milhões seria a responsável por 73 TWH de consumo no ano 2001. Deve ser salientado que neste ano o consumo residencial diminuiu em 12%, em relação ao ano de 2000, em decorrência de um racionamento de energia elétrica.
- 4** – O consumo de energia elétrica no Brasil nos anos de 2000 e 2001 foi de 331,6 e 309,93 TWH, respectivamente, sendo este consumo, segundo BEM (2002), distribuído em média: 25% no setor residencial, 14% no setor comercial, 9% no setor público, 44% no industrial e 8% em outros setores.
- 5** – A capacidade instalada no Brasil em 2001 (BEN 2002) era de 62,121 GW de usinas hidráulicas, 11,442 GW de usinas térmicas convencionais (gás, biomassa, carvão e óleo) e 1,967 GW de usinas térmicas nucleares, totalizando 75,53 GW. Considerando a disponibilidade hidráulica de 60%, da térmica convencional 80% e a da nuclear 90%, o total de geração anual, para esta capacidade, atingiria seu máximo com 422,2 TWH, se o regime de chuvas e a operação das barragens permitisse. A outra limitação é a efetiva disponibilidade das unidades, p.ex. algumas térmicas a gás ainda não entraram em operação pela indefinição das tarifas e do preço do gás importado da Bolívia.
- 6** – Segundo o Departamento de Energia Americano, em empreendimentos similares nos desertos do sudoeste norte americano, a taxa de eficiência total na conversão de energia solar para elétrica tem sido de 13%, com previsão de melhora para 15% até 2020. As previsões também incluem o aumento das horas de acúmulo de calor para até 10 horas.
- 7** – Os problemas no projeto de coletores parabólicos está na reflexividades dos espelhos parabólicos, no tratamento superficial da tubulação coletora de calor para o aumento da absorptância e diminuição da emitância e nas conexões flexíveis desta tubulação na saída e entrada dos elementos coletores de calor. As temperaturas podem chegar a 390° C.

6 Conclusões

Uma maior eficiência energética se consegue pontualmente quando, em um processo, o calor desprendido é o menor possível em relação ao trabalho produzido. Ou se classificam como eficientes processos onde o mesmo efeito é conseguido com o menor uso de energia. Também é conhecido que estruturas complexas, ou de baixa entropia, demandam energia para a sua manutenção, em proporção inversa ao seu conteúdo entrópico.

Pensando termodinamicamente é racional acreditar que onde se possa contar com a radiação solar, com o vento, com a diferença no nível de depósitos de água ou com a biomassa não seria necessário lançar mão de combustíveis de origem fóssil, energia concentrada pela ação do tempo. Ao mesmo tempo sabemos ser impossível manter a estrutura complexa, em que vive boa parte da humanidade, sem que se disponha das fontes concentradas. Vivemos um dilema agravado pelo efeito colateral de que a própria organização de nosso ambiente faz parte deste balanço energético e químico. E, ao que tudo indica, estamos perigosamente forçando esta balança no sentido errado. A metáfora termodinâmica se aplicaria aos contextos sociais em que se distribui a humanidade. Aqueles com mais recursos têm ao seu dispor a energia e tendem a viver em organizações tão complexas quanto a energia que conseguem concentrar neste processo. O processo de uso e concentração de energia pelas organizações humanas pode ser mais ou menos eficiente, mais ou menos agressivo com o meio ambiente e mais ou menos justo socialmente. Como foi tentado mostrar, a eficiência energética pode ser o combate ao desperdício, pode ser o uso de tecnologias mais apropriadas ou pode ser uma política que vise uma perspectiva, além de energética, também social e estratégica.

No Brasil ainda é possível o uso de fontes de energia renováveis que não interferem no equilíbrio da atmosfera. No Brasil é necessária a criação de empregos, a inserção social de milhões de indivíduos e um alívio para os problemas sociais das grandes metrópoles.

A eficiência energética no Brasil deverá continuar a perseguir a menor dissipação térmica com processos de cogeração, e outras técnicas. Também deverá perseguir a desvinculação de seu produto interno da produção intensiva em energia e perseguir o combate ao desperdício. Mas, principalmente, deverá perseguir a inserção social. Esta inserção social poderá ser atingida tendo como um de seus fatores a geração descentralizada de energia renovável pela maior possibilidade de que com esta política sejam criados mais empregos e a renda seja distribuída pela pulverização e disseminação de tecnologias de geração de energia limpa. A economia de escala tenderia a baratear equipamentos. A economia de escopo tenderia a fazer os processos mais eficientes. A saúde e a educação poderiam ser estendidas de forma mais ampla, a primeira pelo conforto disponibilizado, a segunda por um maior contato com os meios de geração que a descentralização proporcionaria.

Como demonstrado no Capítulo 5, a viabilidade econômica para a aplicação de fontes termo solares de geração elétrica, e de forma descentralizada, pode ser conseguida pelo estímulo à pesquisa e a produção destas fontes em uma escala facilmente conseguida pelo potencial de demanda, e com taxas de retorno suficientes para que o preço final da energia se torne competitivo com as tarifas praticadas a partir de fontes de energia convencionais correntemente usadas. Foi também mencionado que a opção por tecnologias renováveis, como a solar térmica, seria de interesse como forma de fomentar o desenvolvimento sustentado em áreas rurais semi-áridas, com problemas de aproveitamento de biomassa pela baixa pluviosidade e com médias altas de insolação. O exemplo da geração elétrica aplicando a energia solar térmica, pelo uso do ciclo termodinâmico de Stirling, foi colocado

em comparação com outras formas tecnológicas de geração para a demonstração do ponto de vista da convergência de dimensões do desenvolvimento sustentável.

O estímulo a estas formas de produção energética é por si só um fator de geração de emprego, tanto nos setores de pesquisa, produção industrial e, principalmente, nas áreas rurais focalizadas pelo projeto de aplicação. Estas áreas rurais teriam ao seu dispor uma nova infraestrutura energética que facilitaria a fixação do homem a terra em locais que tradicionalmente são irradiadores de migração. O equilíbrio de uma configuração rural harmoniosa faria com que o campo fosse, em paralelo às cidades, repositório de novos valores para a sociedade.

A criação de empregos e oportunidades em locais considerados de pouco interesse para investimento equivale à incorporação de um território novo, sem que seja preciso a derrubada de florestas ou de outros ecossistemas importantes para a preservação do clima, de fontes de água e outros recursos, hoje sob intensa pressão de fronteiras agrícolas ou extrativistas.

Alguma direção deve ser dada à forma como a renda deste desenvolvimento seria distribuída, para que se alcance, no mínimo, um nível de desenvolvimento humano compatível com a faixa, em que o Brasil se encontra, de países com a mesma ordem de grandeza de seu Produto Interno Bruto per capita. As formas de energia, como elementos infraestruturais, refletem toda uma filosofia de desenvolvimento, em uma relação dialética. No Brasil e no mundo a humanidade vive atualmente, cada vez mais e em maior proporção, em complexos humanos dependentes de formas concentradas de energia. Se a importância na compreensão dos processos sociais for influenciada pela energia tecnicamente disponível, como investigado por Cottrell, existiria uma relação direta entre o uso da energia, e de seus conversores com a matriz social na qual estão incorporados. Se hoje nos

deparamos com o dilema de que o uso de combustíveis fósseis pode prejudicar o clima pela ampliação do “efeito estufa”, este dilema é maior para aquelas sociedades, ou culturas, cujas matrizes sociais incorporam tecnologias que dependam largamente de combustíveis fósseis. Para estas sociedades existiria uma dependência direta entre as suas matrizes sociais e estas tecnologias. Portanto, seria por isso que a adesão ao Protocolo de Kioto seria tão difícil para aqueles países que mais dependeriam de combustíveis fósseis para manterem sua estrutura social interna e a sua posição em relação aos outros países. No Brasil ainda existem áreas a serem ocupadas e população carente de desenvolvimento e integração à vida econômica. A escolha pelo modelo de desenvolvimento econômico para cada região deveria respeitar as características locais visando um futuro sustentável para suas populações. A imitação pura e simples de modelos tecnológicos importados, que não favoreçam a distribuição das riquezas geradas, bem como não promovam o emprego, não deveriam pautar as escolhas. Portanto, a viabilização econômica de técnicas que permitam a auto geração elétrica em zonas rurais, de tal forma que esta geração não agrida o meio ambiente, e ao mesmo tempo crie condições para a geração de empregos seria a convergência procurada pelo enunciado das cinco dimensões da sustentabilidade de Ignacy Sachs, mencionadas no capítulo 3, e, além disso, uma forma de incorporar estas técnicas a uma nova matriz social ainda por ser criada.

O ciclo vicioso da não implementação de técnicas pelo seu alto custo, motivado pela ausência de uma escala mercadológica, deveria ser quebrado pela constatação de que elas poderiam ser competitivas comercialmente se tivessem volume de produção capaz de promover a economia de escala necessária. O estímulo a esta implantação caberia, inicialmente, a uma política pública de incentivo. Esta política poderia ter como mecanismos financeiros os créditos de carbono, por serem absolutamente amigáveis com o ambiente, os diversos programas, já existentes, para o incentivo às fontes alternativas e eletrificação rural além das verbas aplicadas anualmente pelas empresas concessionárias de energia elétrica

em contas de desenvolvimento e em pesquisa. A inserção da questão energética em nossa contemporaneidade deveria transcender as questões de mercado, questões ideológicas ou tecnológicas, e incorporar a elas as concepções do pensamento ecológico. Nem os governos, nem os mercados poderão ser prescindidos na regulamentação e no equilíbrio, mas, estes deveriam ter o conceito de sustentabilidade orientando a medida em que os recursos naturais deveriam ou poderiam ser explorados, embora se esteja longe de algum consenso. Nesta direção, as cinco dimensões da sustentabilidade de Sachs poderiam orientar o desenvolvimento em locais, ou para populações, onde o desenvolvimento ainda não tenha chegado.

Bibliografia

Bibliografia do capítulo 2 – O Problema Ambiental

- 1 – **Broecker**, W. S.; “The Great Ocean Conveyor”, *Oceanography*, vol. 4:79-89 (1991)
- 2 – **Fundação Getúlio Vargas - CPDOC-FGV**; “
http://www.cpdoc.fgv.br/nav_historia/htm/anos37-45/ev_querranobr_cotidiano.htm”, dado
colhido em setembro de 2003
- 3 – **Dupuy**, J.; in “Introdução à crítica da ecologia política”, Editora Civilização Brasileira
S.A., Rio de Janeiro – 1980
- 4 - **INMET** – Instituto Nacional de Meteorologia; **LABSOLAR** – Laboratório de Energia Solar
EM/UFSC, “Atlas de Irradiação Solar do Brasil”, Brasília, 1998.
- 5 – **Gallopín**, G; **Hammond**, A; **Raskin**, P; **Swart**, R; “Branch Points – Global Scenarios
and Human Choice”, Global Scenario Group - 1997
- 6 – **Machado**, A. C.; “Pensando a Energia”, Eletrobrás, Rio de Janeiro -1998
- 7 – **Martin**, J. M.; “A Economia Mundial da Energia”, Unesp, São Paulo – 1990.
- 8 – **Meadows**, D. H.; **Meadows**, D. I.; **Randers**, J.; **Behrens**, W.; “Limites do
Crescimento”, Perspectiva, São Paulo – 1973.

9 – **NASA** – National Aeronautical and Space Administration; “Solar spectral irradiance incident and transmitted through the atmosphere to the Earth’s surface with major absorption bands”, colhidos na página: <http://modarch.gsfc.nasa.gov/MODIS/ATM/solar.html>, setembro 2002.

10 – **Newcombe**. K.; “A brief History of the Concepts of Energy and uses of Energy by Humankind”, Center for Resource and Environmental Studies - 1976

11 – **Odum**. E; “Ecologia”, Editora Guanabara, Rio de Janeiro, 1983.

13 – **ONU** – Organização das Nações Unidas; “Nosso Destino Comum”; Relatório da Comissão Mundial para o Ambiente e o Desenvolvimento. Nova York – 1987.

14 – **Price**, D.; “Energy and Human Evolution”, Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies, Volume 16, Number 4, pp. 301-319, Human Science Press - 1995

15 – **White**, L.; “The Science of Culture: a study of man and civilization”, Farrar Strauss, New York - 1949

16 – **WWF**; “Living Planet Report 2002” - World Wild Life Foundation, 2002.

Bibliografia do capítulo 3 – Modelos de Desenvolvimento

- 1 – Abramovay, R.;** “Funções e Medidas da Ruralidade no Desenvolvimento Contemporâneo”, Texto para Discussão Nº 702, IPEA, Rio de Janeiro – 2000.
- 2 – Barros, R.P.; Henriques, R.; Mendonça, R.;** “A Estabilidade Inaceitável: Desigualdade e Pobreza no Brasil” – Texto para Discussão Nº 800, IPEA, Rio de Janeiro – 2001.
- 3 – Notícias FAPESP, No. 30,** “Produção de Etanol Utilizando Bactérias Recombinantes”, www.fapesp.br/notfap30 , abril 1998.
- 4 – Furtado, C;** “Em Busca de um Novo Modelo – Reflexões sobre a crise contemporânea”, Paz eTerra, São Paulo, 2002
- 5 – Gazeta Mercantil,** “Energia Alternativa Cria Oportunidades”, página A3, 11/03/03.
- 6 – Sachs, I;** “Estratégias de Transição para o Século XX – Desenvolvimento e meio ambiente”, Studio Nobel, Fundação do Desenvolvimento Administrativo, São Paulo, 1993
- 7 – Veiga, J. E.;** “Cidades Imaginárias – O Brasil é menos Urbano do que se Calcula”, Autores Associados, Campinas – 2002.

Bibliografia do capítulo 4 – Eficiência energética

1 – Andrade, T. A.; Lobão, W. J. A.; “Elasticidade Renda e Preço da Demanda Residencial de Energia Elétrica no Brasil”, Texto para Discussão N^o. 489, IPEA, Rio de Janeiro 1997.

2 - ANEEL-ANP, *“Eficiência Energética Integrando usos e reduzindo Desperdícios”,* – 1999

3 – Dupuy, J.; in “Introdução à crítica da ecologia política”, Editora Civilização Brasileira S.A., Rio de Janeiro – 1980

4 – EIA-DOE – Energy Information Agency, 2002, <http://www.eia.doe.gov>

5- Jannuzzi, G.; Gouvello C.; Cauret L.; *“A Evolução do GLD do Setor Elétrico Público: um Estudo comparativo Brasil França”,* in *Revista Brasileira de Energia* vol. VI – n^o 1 – 1999

6 – Machado ,G. V.; Schaeffer, R.; *“A Inserção do Brasil na Nova Ordem Internacional: uma nova ordem energética mundial?”,* *Revista Brasileira de Energia.* Vol. 4, N^o 1 - 1995

7 – MME, Ministério de Minas e Energia, Plano decenal de expansão – 2000/2009
Brasília – 1999

8 – La Rovere, E.L.; in “Um enfoque alternativo para o planejamento energético”, *Revista Brasileira de Geografia,* Rio de Janeiro – junho 1986

9 – Poole, A. D.; Hollanda, J. B.; Tolmasquim, M. T.; “Os Caminhos da Eficiência Energética no Brasil” seminário, INEE, Rio de Janeiro – 1994

10 – Rosa, L.P.; Senra, P.M.A.; “Participação privada na expansão do setor elétrico ou venda de empresas públicas?”, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro – 1995

11 – Rosa, L.P.; Tolmasquim, M.T.; Pires, J.C.L.; “A reforma do setor elétrico no Brasil e no mundo – uma visão crítica”, Relume Dumará, Rio de Janeiro – 1998

12 – Sachs, I.; in “Estratégias de transição para o século XXI”, Livros Estúdio Nobel Ltda., São Paulo – 1993

13 – Santos, M. A., “Inventário de emissões de gases de efeito estufa derivadas de hidrelétricas”, Tese de D.Sc. COPPE /UFRJ, Rio de Janeiro, 2000

14 – Tolmasquim, M. T.; Rosa, L. P.; Sklo, A. S.; Schuler, M. E.; Delgado, M. A. P.; “Tendências da Eficiência Elétrica no Brasil – Indicadores de Eficiência Energética” COPPE/UFRJ, Energe, 1998

Bibliografia do capítulo 5 – Aumento de demanda por eletricidade

1 – ANEEL, Agencia Nacional de Energia Elétrica, “Nota de Esclarecimento Sobre a Resolução Aneel N° 22-2001”, 06 fevereiro 2001

2 - Barros, R.P.; Henriques, R.; Mendonça, R.; “*A Estabilidade Inaceitável: Desigualdade e Pobreza no Brasil*” – Texto para Discussão N° 800, IPEA, Rio de Janeiro – 2001.

3 - DOE – Department of Energy, **NREL** – National Renewable Energy Laboratory; “*Solar Parabolic Trough*” e “*Parabolic Trough Technology Road Map*”, 1999.

4 – DOE - Department of Energy, EERE – Energy Efficiency and Renewable Energy “*Solar Parabolic Trough*”, www.eere.energy.gov/power

5 – FAO/WECC – Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Energy Council; “The Challenge of Rural Energy Poverty in Developing Countries”, WEC, London - 1999

6 – Freitas, M. A. V.; Moreira, J. R.; Stemmer, C. E.; Campos, I. A.; Zilles, R.; Fabrizio, M. P.; Feitosa, E.; Corrêa, F.; Fagá, M. T. W.; Fedrizzi, M. C.; Mazzon, L. A.; Pereira, O. S.; “*O Foro Permanente das Energias Renováveis e o Desenvolvimento das Energias Solar, Eólica, da Biomassa e das Pequenas Centrais Hidroenergéticas no Brasil*”, Revista Brasileira de Energia vol. 6, n. 1, 1º. semestre/1997.

7 – G8, “Chairmen’s Report – G8 Renewable Energy Task Force”, G8 Renewable Energy Meeting, Genoa, July 2001

8 – Geller, H., “Energy Revolution Policies for a Sustainable Future”, Islan Press, Washington, 2003

9 - Happ, J., Cortes, L. e Magalhães, P., “*Principais Subprodutos da Agroindústria Canavieira e sua Valorização, Revista Brasileira de Energia*” Vol. 2, Nº 2. 1992

10 - Heliodinâmica, “Dados Institucionais”, obtidos na Internet: www.heliodinamica.com.br, 2003

11 – IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, “Censo 2000 - Resultado do Universo”, 2003, obtido na Internet: www.ibge.gov.br

12 - INMET – Instituto Nacional de Meteorologia; LABSOLAR – Laboratório de Energia Solar EM/UFSC, 1998, Atlas de Irradiação Solar do Brasil.

13 - Jornal do Brasil 15/07/2001, reportagem de Fernando Paulino Neto com Marcelo Néri em “E fácil acabar com a miséria”,

14 – Kongtragool, B.; Wongwise, S.; “A Review of Solar-Powered Stirling Engines and Low Temperature Differential Stirling Engines”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 7 (2003) 131-154, Pergamon - 2003

15 - Macedo, I; Koller, H; “Emissões de Gases de Efeito Estufa e Emissões Evitadas na Produção de Cana de Açúcar, Açúcar e Álcool no Brasil: 1990-1994”; Centro de Tecnologia Copersucar- Ministério da Ciência e Tecnologia, Piracicaba 1994.

16 – MME - Ministério de Minas e Energia, "Sumário Executivo do Plano Decenal de Expansão 2003/2012", 2002, obtido na Internet: www.mme.gov.br

17 – Podesser, E.; "Electricity Production in Rural Villages with a Biomass Stirling Engine" Renewable Energy 16 (1999) 1049 – 1052, Pergamon - 1999

18 – Sobrinho, J. D. V.; "Matemática Financeira", Editora Atlas, São Paulo, 1986

19 – Tsoutsos, T., Gekas, V., Marketaki, K.; "Technical and Economical Evaluation of Solar Thermal Power Generation", Renewable Energy 28 (2003) 873 – 886, Pergamon – 2003

20 – World Bank, "Cost Reduction Study for Solar Thermal Power Plants", Enermodal Engineering Ltd., Marbek Consultants Ltd., Washington DC, 1999

21 – Zemansky, M. W.; "Heat and Thermodynamics – An Intermediate Textbook", Mc Graw Hill, Kogakusha - 1968

APÊNDICE I

Cálculo de capacidade geradora

Como mencionado no capítulo 4, o consumo médio anual de cada uma das cooperativas, usando-se os valores estimados de 50 KWh por mês por família, seria de 25 MWh por mês nas residências de cada cooperativa. Se cada uma destas cooperativas, de 500 famílias e 2.500 pessoas, fosse motorizada com uma capacidade geradora suficiente para as necessidades residenciais estimadas, teríamos:

Considerando que as máquinas somente funcionassem em 40% do tempo, os 25 MWh por mês ou 300 MWh por ano, demandariam nas 3.504 horas de funcionamento durante o ano

Uma capacidade nominal de:

$$30 \times 10^8 \text{ Wh} / 3,504 \times 10^3 \text{ h} = 8,56 \times 10^5 \text{ W ou } 90 \text{ KW}$$

Em números redondos, para uma capacidade nominal de 100 KW a geração seria de 360 MWh ao ano.

APÊNDICE II

Máquinas Térmicas

II.1 - Máquinas Térmicas e o conceito de Ciclo

O processo de conversão de calor em trabalho, de forma que este processo seja contínuo, se prolongue indefinidamente e sem que resulte em mudança de estado, pode ser imaginado idealmente com a expansão isotérmica de um gás ideal. Neste caso não haveria mudança na energia interna, permanecendo a temperatura constante e, portanto, o trabalho (W) seria igual ao calor (Q), ou o trabalho seria igual à completa conversão do calor fornecido. Este processo, entretanto, envolve uma mudança de estado do gás. O volume aumenta e a pressão diminui até que a pressão atmosférica seja atingida e processo seja interrompido. Portanto, não pode ser prolongado indefinidamente. O que se necessita é de uma série de processos, nos quais o sistema é trazido de volta ao seu estado inicial, ou seja, de um ciclo. Cada processo, em que se constitui um ciclo, pode envolver um fluxo de calor, do sistema para fora ou de fora para o sistema. Da mesma forma, pode envolver a ação de trabalho pelo sistema ou sobre o sistema. Para um ciclo completo sejam:

Q_H – a quantidade de calor absorvido pelo sistema;

Q_C – a quantidade de calor rejeitado pelo sistema;

W – o trabalho produzido pelo sistema.

Se Q_H e Q_C forem positivos e Q_H maior do que Q_C , W é produzido, então, o dispositivo mecânico, por cuja ação o sistema é levado a percorrer este ciclo é chamado de Máquina Térmica. O propósito desta máquina é produzir trabalho de forma contínua pelo desempenho do mesmo ciclo sucessivamente. Se a saída do ciclo é trabalho mais o calor rejeitado, a entrada é o calor absorvido pela substância ativa do sistema.

II.2 – A Eficiência das Máquinas Térmicas

A eficiência térmica será igual a razão do trabalho produzido, em uma unidade de energia, pelo calor fornecido, representado na mesma unidade de energia. Ou seja,

$$\eta = W / Q_H$$

Aplicando-se a primeira lei da termodinâmica (*), sem considerar mudanças na energia interna do sistema,

$$Q_H - Q_C = W \quad \text{e} \quad \eta = (Q_H - Q_C) / Q_H \quad \text{ou}$$

$$\eta = 1 - (Q_C / Q_H)$$

(*) (A primeira lei pode ser enunciada como: $U_f - U_i = Q - W$, onde U_f e U_i são a energia interna do sistema, final e inicial. Ela contém três idéias: a existência de uma função energia interna; o princípio de conservação de energia; e a definição de calor como energia em movimento pela diferença de temperatura), (Zemansky – 1968).

APÊNDICE III

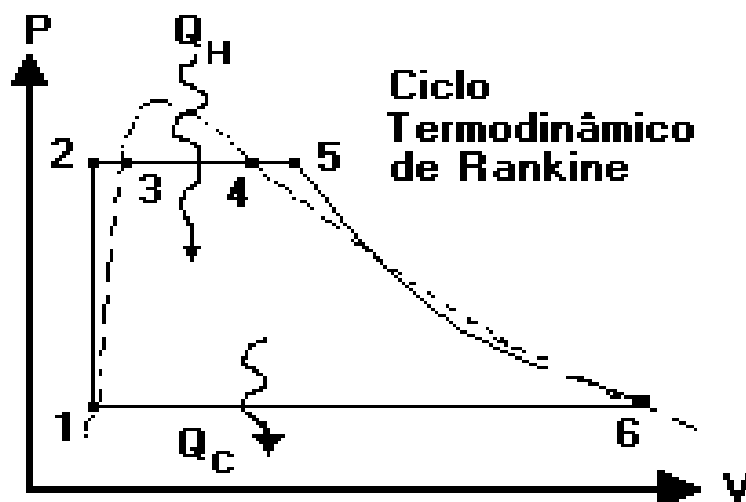
Ciclos Termodinâmicos das Máquinas de Combustão Externa

III.1 Introdução

A transformação do calor em trabalho, como visto no Apêndice II, é geralmente conseguido na prática por dois tipos de máquinas: as de combustão externa, como as de Stirling e as de vapor, e as de combustão interna, como os motores movidos a gasolina, a óleo diesel e a etanol. Em ambos os tipos um gás ou uma mistura gasosa, contida em um cilindro, percorre um ciclo e aciona um eixo em movimento de rotação contra uma resistência mecânica oposta. É necessário, em ambos os tipos, que em algum ponto do ciclo este gás ou mistura gasosa dentro do cilindro tenha sua pressão e temperatura elevadas. Na Máquina de Stirling e nas máquinas a vapor isto é conseguido através de uma fonte externa de calor ou caldeira. A alta pressão e temperatura atingidas nas máquinas de combustão interna, entretanto, são produzidas através de reação química entre um combustível e o ar dentro do próprio cilindro, (Zemansky – 1968).

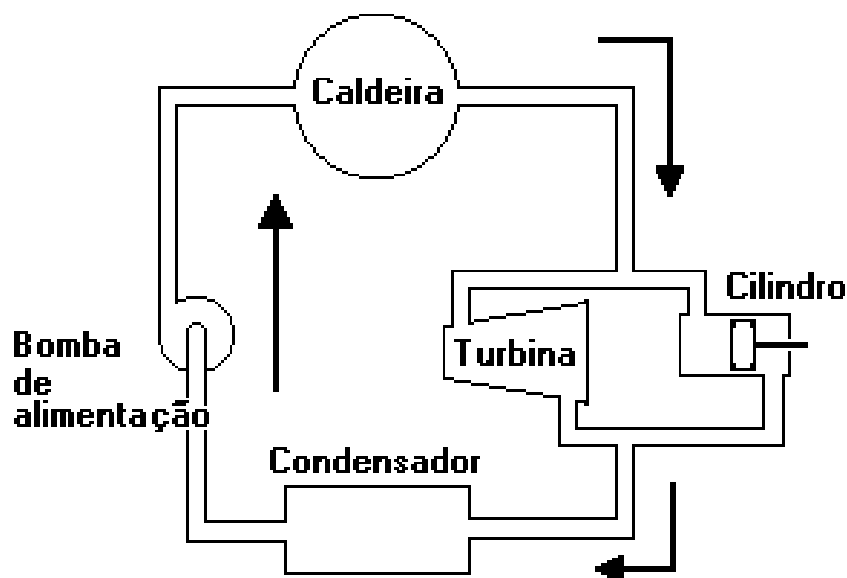
III.2 - Máquina a Vapor

Seguindo o diagrama para o ciclo de Rankine, onde a linha pontilhada corresponde à curva de saturação da fase líquida e à da fase vaporizada:



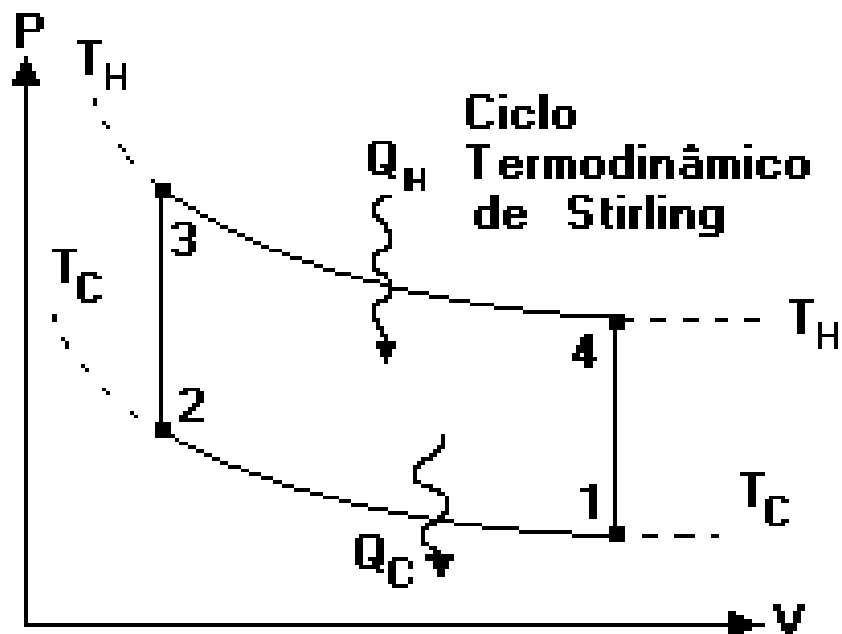
- na fase 1-2 do processo, a água é pressurizada, pela bomba de alimentação, até a pressão da caldeira (compressão adiabática);
- na fase 1-3, a água é levada à ebulição (aquecimento isobárico);
- na fase 3-4, vaporização isobárica e isotérmica, passando a água para vapor saturado;
- na fase 4-5, superaquecimento isobárico do vapor para a temperatura θ_H ;
- na fase 5-6, expansão adiabática do vapor superaquecido para vapor saturado, em uma turbina ou no cilindro de uma máquina a vapor;
- na fase 6-1, terminando o ciclo, condensação isobárica e isotérmica do vapor saturado para água na temperatura θ_C .

Durante as fases 2-3, 3-4 e 4-5 o calor Q_H entra no sistema, enquanto durante a condensação, na fase 6-1, o calor Q_C é rejeitado pelo sistema. Esta última fase é necessária para trazer o sistema ao estado inicial do ciclo. Como o calor Q_C é sempre rejeitado no processo de condensação não poderia ser tornado igual a zero, e portanto, o calor Q_H não poderia se transformar completamente em trabalho, (Zemansky – 1968).

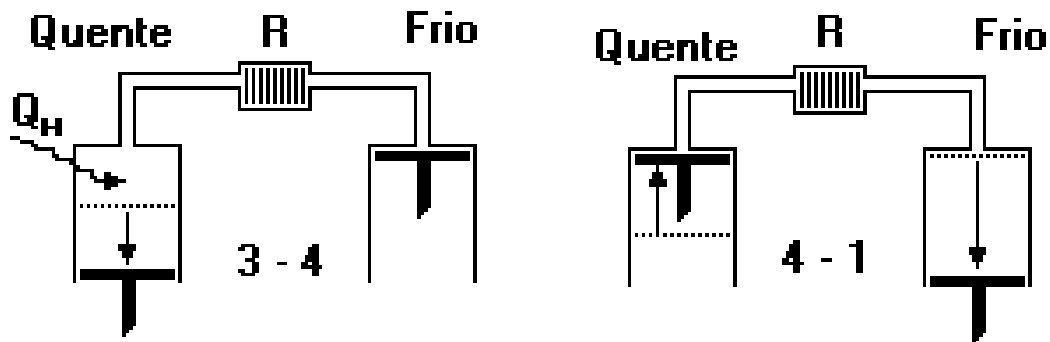


III.3 - Máquina de Stirling

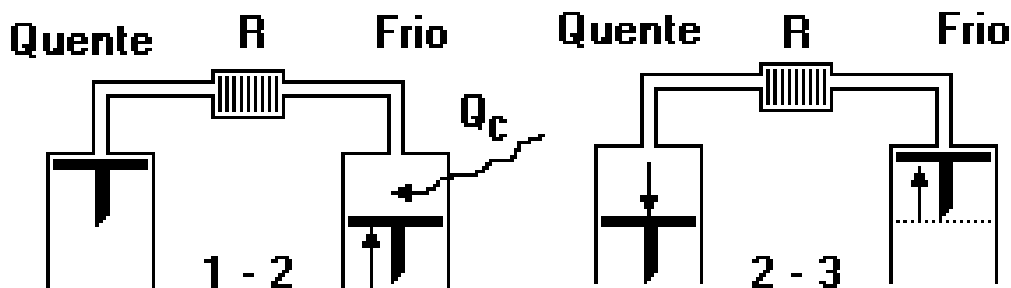
A Máquina de Stirling pode ser construída com diversas configurações em torno da disposição básica que será descrita a seguir, com auxílio de um diagrama com as fases do processo termodinâmico. Dois pistões, um de expansão, à esquerda, e outro de compressão, à direita, estão conectados ao mesmo eixo, que ao girar, faz com que os pistões tenham fases diferentes por intermédio de conexões mecânicas. O espaço entre os dois pistões é preenchido com gás. O espaço esquerdo fica em contato com a fonte de calor ou reservatório quente, enquanto que pela parte direita, do espaço preenchido com gás, é feito contato com um reservatório frio. Entre os dois espaços localiza-se um dispositivo denominado Regenerador (R no diagrama). Ele é preenchido por lã metálica ou chicanas defletoras com condutividade térmica baixa o suficiente para evitar condução de calor entre as extremidades quente e fria.



As quatro fases do ciclo de Stirling estão representadas com linha cheia, no gráfico $P \times V$ para um gás ideal, considerando um sistema sem vazamentos, sem perda de calor pelas paredes, sem condução pelo regenerador e sem atrito. No caso real, a aparência do ciclo seria a da linha pontilhada no interior.



Ciclo Stirling



- na fase 3-4, o pistão direito permanece em repouso enquanto o esquerdo se move para baixo pela quase expansão isotérmica do gás em contato com o reservatório quente, durante a qual o calor Q_H é absorvido, na temperatura θ_H , pelo sistema;
- na fase 4-1, os dois pistões se movem em direções opostas, forçando o gás a se deslocar através do regenerador, do lado quente para o lado frio, transferindo para este parte do calor absorvido e sem que o volume se altere;
- na fase 1-2, enquanto o pistão esquerdo permanece em repouso, na parte superior o da direita se move até a metade do cilindro, comprimindo o gás frio enquanto este fica em contato com o reservatório frio, provocando a rejeição de Q_C ;
- na fase 2-3, o pistão esquerdo se move para baixo e o direito para cima, sem mudança no volume, com o gás sendo forçado do lado frio para o lado quente através do regenerador, que transfere para o gás circulante o calor Q_R que foi absorvido na fase 4-1.

O ciclo resulta na absorção do calor Q_H , na temperatura θ_H , na rejeição de Q_C , na temperatura θ_C e na produção de trabalho $W = Q_H - Q_C$, (Zemansky – 1968).