

ADRIANO ZEFERINO ALVES DA SILVA

**ESTUDO SÓCIO-ECONÔMICO DO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA
PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES REMOTAS**

SALVADOR

2001

ADRIANO ZEFERINO ALVES DA SILVA

**ESTUDO SÓCIO-ECONÔMICO DO USO DE ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA
PARA BOMBEAMENTO DE ÁGUA EM COMUNIDADES REMOTAS**

**Monografia apresentada ao Colegiado do Curso de Economia da
Faculdade de Ciências Econômicas da Universidade Federal da Bahia
como requisito à obtenção de grau de Bacharel em Ciências Econômica.**

Orientador: Prof. JOSÉ CARRERA FERNANDEZ

SALVADOR

2001

“AO TÉRMINO DE UM PERÍODO DE DECADÊNCIA SOBREVÉM O PONTO DE MUTAÇÃO. A LUZ PODEROSA QUE FORA BANIDA RESSURGE. HÁ MOVIMENTO, MAS ESTE NÃO É GERADO PELA FORÇA... O MOVIMENTO É NATURAL SURGE ESPONTANEAMENTE. POR ESSA RAZÃO, A TRANSFORMAÇÃO DO ANTIGO TORNA-SE FÁCIL. O VELHO É DESCARTADO, E O NOVO É INTRODUZIDO. AMBAS AS MEDIDAS SE HARMONIZAM COM O TEMPO, NÃO RESULTANDO DAÍ, PORTANTO, NENHUM DANO”

**À toda minha família, que sempre me deu apoio nas minhas
horas de fraqueza e me aconselhou nos momentos
em que, inutilmente, insistia nos erros.**

AGRADECIMENTOS

A minha mãe, por ser a pessoa neste mundo que mais me compreende e me auxilia nos momentos de dificuldade. A todos os professores, funcionários e alunos que, de forma direta ou indireta colaboraram para a minha formação profissional. A todas as pessoas que através de incentivos, esclarecimentos, ou sugerindo, apoiando e criticando, quando necessário, me ajudaram a atravessar este mar turbulento.

Meus agradecimentos especiais ao Prof. José Carrera Fernandez, pela sua orientação, e ao Prof. André G. Ghirardi, pela sua ajuda, assim como, ao Prof. Ednildo Andrade Torres, da Escola Politécnica da UFBA, pela sua colaboração, e a todos que me ajudaram na pesquisa bibliográfica e na construção deste trabalho.

RESUMO

Este trabalho monográfico procura mostrar a viabilidade da utilização da energia solar fotovoltaica, como fonte elétrica alternativa, principalmente por ser essa uma das formas de incentivar o uso de energia limpa. Atualmente, a fonte de energia mais utilizada no bombeamento de água é o óleo diesel, em motores a combustão interna. Como é do conhecimento da maioria, o óleo diesel, proveniente do petróleo, fonte não renovável de energia, tem seus dias contados. Além do mais, a combustão a diesel é uma fonte que emite grandes quantidades de gases poluentes na atmosfera. Por isso, a energia solar fotovoltaica tem se tornado uma opção promissora para atender pequenas demandas, principalmente em pequenas localidades ensolaradas; como aquelas características do Nordeste do Brasil. Este trabalho procura estabelecer as bases para uma análise comparativa da viabilidade econômica entre duas fontes usuais de energia para bombeamento de água (a energia elétrica e o óleo diesel) e a energia solar fotovoltaica, a qual tem tido bastante aceitação no mercado. Analisou-se um caso típico de uma região com alto índice de radiação solar ano, propícia para bombear água. Nesse sistema, faz-se uso de placas solares fotovoltaicas, que transformam energia solar diretamente em energia elétrica gerando, por sua vez, energia motora. Neste caso, o sistema bombeia $5\text{m}^3/\text{h}$, durante 5 h por dia, fornecendo 25m^3 de água, suficiente para atender 25 famílias com uma média de 5 pessoas cada. Este trabalho utiliza três indicadores de viabilidade de projetos que são: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício-Custo (B/C).

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	8
2	BREVE HISTÓRICO SOBRE A POLÍTICA DE MINAS E ENERGIA NO BRASIL	11
2.1	O ESTADO E A INDUSTRIALIZAÇÃO	11
2.2	A QUESTÃO ENERGÉTICA NO BRASIL ENTRE 1945 E 1964	11
2.3	OS CHOQUES DO PETRÓLEO DE 1973 E 1979	14
2.4	ENERGIAS RENOVÁVEIS: PROGRAMAS	16
3	TECNOLOGIA E CUSTO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA SOLAR FOTOVOLTAICO	28
3.1	TECNOLOGIA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA	28
3.2	OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS	29
3.3	NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS	31
3.4	RETORNO ENERGÉTICO DO MÓDULO	32
3.5	APLICAÇÕES DOS MÓDULOS	35
3.6	REDUÇÃO NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS FOTOCÉLULAS	36
4	REFERENCIAL TEÓRICO	38
4.1	AVALIAÇÃO DE PROJETO DE INVESTIMENTO	38
4.2	INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DE PROJETOS	40
4.2.1	Valor Presente Líquido (VPL)	41
4.2.2	Taxa Interna de Retorno (TIR)	42
4.2.3	Payback	44
4.2.4	Relação Benefício-Custo (B/C)	45
5	RESULTADO DA ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE	

ECONÔMICA	46
5.1 DELIMITAÇÕES DO PROJETO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA	46
5.2 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS A SEREM COMPARADOS	47
5.3 CÁLCULOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.3.1 Cálculos do Sistema Elétrico	49
5.3.2 Cálculos do Sistema Diesel	50
5.3.3 Cálculos do Sistema Solar Fotovoltaico	51
5.4 CÁLCULO DOS INDICADORES PARA ANÁLISE DE PROJETO	52
5.4.1 Valor Presente Líquido	52
5.4.2 Taxa Interna de Retorno	54
5.4.3 Benefício-Custo	55
6 CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59
ANEXO	62

1. INTRODUÇÃO

O aumento das preocupações, a nível internacional, com o problema ambiental, e em particular com a possibilidade de aquecimento global, causado pela acumulação de CO₂ na atmosfera, tem ajudado a convencer as sociedades, que as tecnologias que não emitem carbono devem ocupar um papel fundamental nas futuras estratégias para a produção e uso de energia. (Pereira, 1995)

O sol é uma fonte de energia com uma potencialidade incalculável e, por isso, poderá ser amplamente explorado pelas gerações futura. A exploração desta fonte será de grande importância para o processo de preservação ambiental e, conseqüentemente, para a melhoria da qualidade da vida na terra.

Os elevados custos de fornecer energia elétrica convencional (hidrelétrica) à comunidades muito distante da rede elétrica aliado à crescente preocupação mundial com a preservação do meio ambiente, tem incentivado o meio científico e tecnológico a desenvolver fontes alternativas descentralizadas de energia.

A água é um bem de extrema importância para a sobrevivência da grande maioria dos seres vivos. Dentre as diversas utilidades que a água tem para o ser humano existe uma que é vital, a fisiológica de ingeri-la. No entanto, há outros usos para a água, como por exemplo: na agropecuária, na culinária, na higiene, na agropecuária, etc. É inquestionável o valor que a água possui para o homem e a sua presença é determinante para o desenvolvimento de qualquer povoado e/ou região.

Atualmente, as fontes mais usadas na geração de energia descentralizada para o bombeamento de água são: bombas manuais, bombas acionadas por motores à combustão interna de óleo

diesel, as bombas hidráulicas abastecidas por cata-ventos (eólicas), e mais recentemente a fonte solar fotovoltaica¹.

Segundo a SEPLANTEC, a intensidade de radiação solar é um privilegio da Região Nordeste do Brasil, devido a sua posição geográfica, possibilitando, com isso, um maior número de horas de radiação dia. Contudo, a viabilidade econômica de qualquer projeto é um ponto fundamental para sua adoção. Em qualquer situação que se pretenda implantar um projeto alternativo de bombeamento de água é essencial que se faça uma análise da região, para poder identificar a viabilidade econômica e social do sistema para as comunidades, que, a princípio, se beneficiarão dele.

Nenhuma técnica de bombeamento por si só é totalmente adequada a todas as aplicações existentes. Cada sistema de bombeamento tem um campo de atuação que é mais eficiente. As bombas manuais são muito utilizadas no abastecimento d'água, principalmente para o consumo humano, porém, não são indicadas para a irrigação devido, principalmente, ao baixo fluxo, além de demandar muito tempo e energia que poderia ser usada, alternativamente, em outras atividades.(Fraidenaich, Vilela, 1994)

Motores de combustão interna, acionados a óleo diesel, são quase sempre de capacidade muito elevada para atender pequenas demandas, devendo operar em nível parcial de potência e, por isso, com baixa eficiência. As moto-bombas acionadas com óleo diesel muitas vezes se encontram além das possibilidades técnicas e financeiras das pequenas propriedades, provocam ruídos e poluição, além do que apresentam custos operacionais elevados, devido ao alto preço do combustível. (Fraidenaich, Vilela, 1994)

Além da dificuldade das bombas alimentadas de energia oriunda dos cata-ventos muti-pás apresentarem graves problemas nos seus sistemas de tração e conversão mecânica, principalmente quando o projeto e o dimensionamento são inadequados para operarem regularmente em locais com predominância de ventos de baixa velocidade. Por outro lado, as

¹ Converte a energia solar diretamente em energia elétrica

bombas solares são especialmente úteis para demandas de quantidade mediana de água, como nas pequenas comunidades de 100 a 1.000 habitantes e para o atendimento de necessidades agrícolas moderadas de baixa vazão. (Fraidenraich, Vilela, 1994)

Este trabalho analisa a viabilidade econômica de três sistemas de bombeamento d'água alimentados por duas fontes descentralizadas de energia (diesel e fotovoltaica) e pela convencional oriunda de energia hidrelétrica. Nesse último caso, será considerada uma distância média de 2,5 Km da rede de distribuição elétrica até o local em que se encontra o sistema de bombeamento.

2. BREVE HISTÓRICO SOBRE A POLÍTICA DE MINAS E ENERGIA NO BRASIL

2.1 O ESTADO E A INDUSTRIALIZAÇÃO

As sucessivas crises por que passou a economia cafeeira fez com que o Estado promovesse uma nova forma de expansão - a industrialização. Essa política visava a formulação de um projeto de industrialização que tinham por objetivo principal defender o setor exportador.

Numa primeira etapa que se estende no período de 1930-45 o Estado regulamenta a exploração dos recursos minerais (Código de Águas e de Minas) dentre outras medidas; como a criação do Conselho de Planejamento (Conselho Técnico de Economia e Finanças, Conselho do Comercio Exterior), onde é elaborada a política de desenvolvimento.

É nesse sentido que o Estado criou no setor siderúrgico a CSN (Companhia Siderúrgica Nacional) em 1943; no setor energético a CHESF (1946), Petrobrás (1953) e posteriormente a Eletrobrás (1963); e também na produção de veículos através da Fabrica Nacional de Motores.

2.2 A QUESTÃO ENERGÉTICA NO BRASIL ENTRE 1945 E 1964

No período de 1945-64, nos tópicos referentes a produção de energia foi dado ênfase para a exploração das jazidas de carvão; estímulo a produção de álcool-motor; desenvolvimento das fontes próprias de abastecimento de petróleo e o reconhecimento da capacidade natural das fontes hidráulicas para a produção de energia hidrelétrica no país.

Quanto a exploração das jazidas de carvão ficou claro, desde o início dos estudos, que se tratava de um produto de qualidade inferior, com uma produção reduzida e cara. Indicando se tratar de uma fonte de energia de importância secundária em relação ao petróleo e a energia hidrelétrica.

A energia hidrelétrica apresentava poucas dificuldades para ser implantada, pois tinha um potencial superior a capacidade instalada, o que colocava esta fonte energética como um dos principais caminhos a ser seguido pelo Estado na produção de energia elétrica. Esta fonte de energia é, atualmente, a base da produção de eletricidade para consumo doméstico e industrial.

O petróleo por se tratar de uma fonte de energia de peso na economia doméstica de qualquer país industrializado e pelo seu caráter estratégico teve uma maior atenção por parte do governo. A principal função dos combustíveis derivados do petróleo seria a de mover o sistema de transporte.

No período em questão, vários planos de governo foram implantados. O Plano SALTE constituía um bloco de dotações orçamentárias, aprovadas por lei em 1950, e que se concentrariam em investimentos nas áreas de saúde, alimentação, transporte e energia. Desenvolvido durante o Governo Dutra foi, em sua maior parte, praticado durante o Governo Vargas.

Parte dos recursos, em torno de 13%, eram voltados para a questão da produção de energia. É nesta época que surgem estatais de grande porte no setor de energia. Na produção de eletricidade surge a CHESF; a PETROBRÁS na exploração e refino de petróleo e a ELETROBRÁS que irá concentrar nas mãos do Estado a distribuição de energia em todo o país. Essas estatais tem por objetivo principal suprir a demanda reprimida de combustível liquefeito e de energia elétrica para as indústrias que estão se instalando e para o transporte.

Em seguida teremos o Plano de Metas de Juscelino Kubitschek que tinha cinco metas básicas voltadas para a questão da energia. Essas metas eram:

1. Energia hidrelétrica: aumento da potência instalada de 3(três) para 5(cinco) milhões de kW em 1960 e aumentar em até 8(oito) milhões de kW até 1965.

2. instalação de uma central atômica pioneira de 10.000 kW e expansão da metalurgia dos minerais atômicos.
3. Aumento da produção anual de carvão de 2(dois), em 1955, para 3(três) milhões de kW, em 1960.
4. Aumento da produção de petróleo de 6.800 barris/dia, em 1955, para 100 mil barris/dia, em 1960.
5. Aumento da capacidade de refino de 130 mil barris/dia, em 1955, para 330 mil barris/dia em 1960.

FONTE: Serviço de Documentação da Presidência da República.

O Plano Trienal do Governo João Goulart, embora mais completo como diagnóstico da economia, mantinha uma postura eminentemente técnica quanto ao setor energético. Para a energia elétrica, ele ressaltava a necessidade de integração do sistema de linhas de transmissão a fim de utilizar mais amplamente a capacidade instalada no âmbito regional. Quanto ao petróleo, tinha por objetivo alcançar quase a auto-suficiência no refino (cerca de 97%) e atingir com a produção nacional cerca de 30% do consumo interno. Não havia política específica quanto a produção carbonífera. Novamente se propunha um programa inicial de estudo em energia nuclear e sua utilização em escala comercial que se iniciaria no ano de 1980.

Nota-se que, o Plano Trienal não propunha mudanças fundamentais no setor energético. Apenas reafirmava as mesmas proposições de aumento de produção, com alguns aspectos adicionais (maior eficiência na distribuição de energia elétrica, auto-suficiência no refino de petróleo etc)

Através destes dados pode-se comparar dois importantes pontos objetivados pelos Planos de Governo e as Comissões Mistas Brasil-EUA. Primeiro, a necessidade de rápida expansão da oferta de energia elétrica (fontes hidrelétricas), e da ampliação da extração e do refino de petróleo internamente; as demais fontes de energia (carvão, nuclear, carvão vegetal, álcool etc), foram colocadas em plano secundário. Segundo, os planos de Governo ignoram a questão

do capital privado (nacional ou estrangeiro) versus presença do Estado nos dois setores básicos.

Como consequência a expansão nos setores de petróleo e energia elétrica se faz sobre razoável controle do Estado que, no plano institucional, resulta no fortalecimento de órgãos técnicos (tais como o Conselho Nacional de Petróleo, Conselho Nacional de Água e Energia, Departamento Nacional de Água e Energia Elétrica) e, mais tarde, das empresas federais do setor (Petrobrás e Eletrobrás), no plano da produção.

2.3 OS CHOQUES DO PETRÓLEO DE 1973 E 1979

No intervalo entre os anos de 1964-74 (PAEG, PED, I PND), quanto a política para o setor energético, pregava-se a necessidade de dar condições para a rentabilidade do capital investido no setor e no aumento da sua eficiência produtiva. As fontes energéticas mais exploradas e consumidas continuaram sendo basicamente as mesmas do período anterior: a hidrelétrica, o petróleo e o carvão.

A crise do petróleo vem para alterar o ritmo em que se encontrava a economia mundial. No Brasil é lançado o II PND, de 1974, que tem como objetivo principal solucionar o problema energético (petróleo) e dar continuidade ao progresso. Após reconhecer ser a política energética de fundamental importância nacional (importava dois terços do petróleo consumido), é proposto pelo Plano, no setor energético, para o período 1975-79, as seguintes metas:

- Execução do programa maciço de prospecção e produção, com redução do prazo de início da produção, após a descoberta do campo;
- Intensificação do programa de xisto, pela Petrobrás;
- Esforço no sentido de delimitar a um mínimo o consumo de petróleo, principalmente dos transportes, por:

1. política de preço de gasolina sem subsídio.
 2. criação de sistema de transporte de massa.
 3. eletrificação de ferrovias.
 4. adição de álcool à gasolina;
- Melhor aproveitamento dos recursos hidroelétricos;
 - Execução de programas de pesquisa sobre novas fontes de energia (especialmente hidrogênio como combustível e energia solar);
 - Aplicação do uso do carvão para fins industriais;
 - Desenvolvimento do Programa Nuclear.

O governo vai atacar o problema não só pelo lado da oferta, como na primeira crise, mas também, pelo lado da demanda, na segunda crise. Ainda no II PND o governo vai aumentar o investimento na Petrobrás na ordem de 115%. Foi nessa época que se criou e ampliou projetos no setor energético estatal, como: Proálcool, o Procarvão, Itaipu, a Nuclebrás, dentre outros.

Nessa época a indústria brasileira estava experimentando um período de crescimento com o desenvolvimento de algumas indústrias de base (substituição de importações). Com os choques de 1973 e 1979 a indústria nacional amargou uma grande crise que se estendeu por toda a década de 80. A balança comercial brasileira foi prejudicada pelo aumento no valor das importações sem uma equivalência de aumento no valor das exportações o que gerou um déficit de US\$ 4,7 bilhões em 1974.

Atualmente a situação de política energética se encontra basicamente da mesma forma com as principais fontes de energia mais usadas no país ficando entre o petróleo e a hidroelétrica. A principal diferença é a privatização das distribuidoras de energia hidroelétrica na esfera estadual, porém com a manutenção do controle do Estado na esfera federal.

2.4 ENERGIAS RENOVÁVEIS: PROGRAMAS

Atualmente existem alguns programas de incentivos à produção de energias renováveis que podem amenizar ou desafogar o setor. O principal dentre eles é o PRODEEM - Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios, criado pelo Ministério de Minas e Energia. O programa é composto basicamente pelos seguintes subprogramas: a) Desenvolvimento Social, b) Desenvolvimento Econômico, c) Complementação da Oferta de Energia, d) Base Tecnológica e Industrial.

O Solarpaces é um outro programa que tem por objetivo reunir técnicos de centro de pesquisa, dos governos e das indústrias dos países participantes, para colaborar no desenvolvimento da tecnologia termo-solar. Outra fonte de recursos é o PAPP - Programa de Apoio ao Pequeno Produtor, em conjunto com o Banco Mundial, para patrocinar projetos comunitários sociais e produtivos. O BNB, através do FNE - Fundo Constitucional de Financiamento do Nordeste que financia, com recursos reembolsáveis, equipamentos solares e eólicos para projetos agropecuários e agro-industriais de diferentes porte, e, também, a fabricação e montagem destes sistemas no Nordeste.

Segundo Pereira (1995), apesar do interesse e apoio que existiu no final dos anos setenta e início da década de oitenta as formas renováveis de energia, em particular as energias solar e eólica, quando vários grupos de pesquisa tiveram atuação marcante, alguns projetos demonstrativos foram colocados em operação, e se produziu o Programa Nacional para Energia Solar (Prosolar), o final da década passada viu um desaquecimento das pesquisas e atividades na área. Para isto contribuiu o desinteresse global por estas formas de energia seguindo a queda dos preços do petróleo. O acidente de Chernobyl representou um novo despertar que veio a se fortalecer com a Guerra do Golfo e o eco-choque. Estes episódios foram fatos marcantes para uma retomada no interesse para com as fontes renováveis; internacionalmente e no país. Em 1991, com o apoio do Governo Federal e do Governo de São Paulo e das Nações Unidas, foi produzida a mencionada Declaração de São Paulo.

Cooperações internacionais levaram a implantação de alguns projetos pilotos demonstrativos envolvendo concessionárias de energia elétrica, governos estaduais, universidades, a exemplo de:

- aerogerador em Fernando de Noronha, em parceria do Folkcenter (Dinamarca), Companhia Energética de Pernambuco (CELPE) e Universidade de Federal de Pernambuco;
- quinze sistemas de bombeamento fotovoltaico em vilas no interior do Ceará, numa cooperação envolvendo GTZ (Alemanha), a Companhia Energética do Ceará (COELCE) e a Secretaria de Planejamento do Estado;
- fazenda eólica em Minas Gerais, como parte do Programa Eldorado (Alemanha) e a Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

Quando da Conferência do Rio, foi firmado um protocolo de intenções para cooperação entre o Departamento de Energia dos Estados Unidos e os governos dos estados do Ceará e Pernambuco, que finalmente se materializou num convênio envolvendo o Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) e o National Renewable Energy Laboratory (NREL), e que numa primeira fase contemplou a iluminação de residências e escolas em vilas no interior destes estados. Várias concessionárias, além da COELCE e COELPE, começaram também a implantar pequenos projetos demonstrativos em seus estados, a exemplo da CEMIG, COELBA, Light, entre outras. Surgiu daí um interesse em discutir conjuntamente os problemas ligados a estas instalações fotovoltaicas o que veio a resultar na criação do Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaica (GTEF), que se subdividiu em subgrupos para atacar diversas frentes de trabalho como: produção de um manual de engenharia, levantamento de dados solarimétricos, fomento, divulgação e treinamento, montagem de uma base de dados e normatização.

A Cooperação CEPEL-NREL progrediu para uma segunda fase diversificando usos e tecnologias. Na Bahia foram priorizados os usos produtivos da tecnologia fotovoltaica, além dos usos comunitários de iluminação e bombeamento. Em Minas, introduziu-se aerogeradores

para o bombeamento, e no Amazonas e no Pará, sistemas híbridos solar, eólico e diesel. O Programa Eldorado também desdobrou-se em Pernambuco onde estão em instalação vários sistemas de bombeamento e eletrificação de escolas usando a tecnologia fotovoltaica.

Uma experiência individual que merece destaque é o caso da Associação de Pequenos Agricultores do Município de Valente (APAEB), que num projeto piloto, provou ser mais eficaz economicamente a eletrificação de cercas para confinamento de caprino, que as cercas convencionais e, a partir daí, montou um fundo rotativo, cooperação com a ONG belga SOS PG, que hoje já opera com quinze famílias. A Tabela 2.4.1 sumariza os projetos já instalados no âmbito destas cooperações internacionais, enquanto a Tabela 2.4.2 lista os projetos em fase de negociação.

Na área eólica, vários estados, tais como Ceará, Bahia, Paraná, Alagoas, Rio Grande do Sul, e vários estados da Região Norte, como de outras regiões, a exemplo de Minas Gerais, começaram a fazer medidas de vento para identificar os sítios mais promissores, através de iniciativas próprias, ou de ações conjuntas como a de empréstimo, ao CEPEL, de doze anemógrafos efetuado pela Associação Americana de Energia Eólica (AWEA). As Centrais Elétricas Brasileiras S.A. (ELETROBRAS), através da Pontifícia Universidade Católica (PUC/RJ) e o CEPEL, esta atualizando o atlas eólico brasileiro, e para tanto será feito o uso de 190 estações principais, com anemógrafos e dados do Ministério da Aeronáutica, e 230 estações secundárias, onde existem anemômetros e cata-ventos de Wilde. Estes equipamentos são de diversas instituições, entre elas o INEMET, Ministério da Aeronáutica e concessionárias de energia elétrica, sendo considerado apenas os dados das estações com mais de um ano de operação. O Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM) prevê a instalação de 80 anemógrafos em suas 200 plataformas de coleta de dados, enquanto o DNAEE pretende instalar mais de 28.

Tabela 2.4.1: Projetos de Cooperação Instalados ou em Instalação

set. 1995

Projetos	Fotovoltaicos	Eólica	Características
----------	---------------	--------	-----------------

	(Wp)	(kW)	
GTZ (Alemanha)	14.450	-	15 sistemas de bombeamento
Folkcenter/ CELPE/ UF	-	75	1 aerogerador
Eldorado/ CEMIG	-	1.000	4 aerogeradores
NREL - Fase 1			
Pernambuco	36,57	-	345 residências
Ceará	30.790	-	492 residências, 71 outros*
NREL - Fase 2			
Bahia	24.320	-	17bomb., 107 residências, 32 outros*
Pará	10.180	40	Sistema híbrido solar eólico diesel
Amazonas	51.200	-	Sistema híbrido solar diesel
Minas Gerais	14.690	27,5	30 residências, 19 outros, 7 bomb. Eólico
Alagoas	7.890	-	46 residências, 6 bomb., 8 outros
Brasília	290	-	1 residência, 1 escola
Eldorado/ CELPE	59,45	-	404 escolas, 15 bomb.
SOS	645	-	15 cercas elétricas
PG-Bélgica/ APAEB	-	-	-
IPADE/ AECI/ CEAM**	2,18	-	35 residências, 6 outros
AECI/ USP	300	-	2 escolas, 1 centro comunitário
TOTAL	252.955	1142.5	

*Inclui: iluminação pública, centros comunitários, escolas, creches, centros de saúde, cercas elétricas, igrejas.

**Instituto de Promoción y Apoyo al Desarrollo (IPADE), Agencia Española de Cooperación Internacional (AECI).

FONTE: CRESESB

Projetos de novas fazendas eólicas estão em andamento, em diferentes fases, no Ceará (1.2 MW, no âmbito do Programa Eldorado e duas fazendas de 30 MW, em fase de negociação com empresas japonesas), Alagoas (550 kW), Paraná (300 kW) e Bahia (1.2 MW).

Várias iniciativas não vinculadas a projetos de cooperação se desenvolveram em diversos estados. No estado da Bahia, a COELBA fez um estudo de impacto sócio-econômico de um sistema de bombeamento de 420 Wp, implantado há mais de dez anos, no escopo do Projeto Sertanejo, usando tecnologia nacional, e que vem sendo operado por um pequeno proprietário rural, para irrigação de uma área em torno de dois hectares (Soliano, 1994). O estudo mostrou, ao avaliar sua renda historicamente e comparar com a de outros sete proprietários de minifúndios similares na mesma vila, que a introdução deste sistema o diferenciou fazendo com que a sua renda atual esteja em torno de três vezes superior à de seus vizinhos.

No estado de São Paulo, a Companhia Energética de São Paulo (CESP) eletrificou 11 centros comunitários no interior da Estação Ecológica da Juréia, com uma potência instalada de 5.184 Wp, e mais de 1.036 Wp em centros comunitários no Vale do Ribeira

Uma iniciativa que descortina a possibilidade da implantação de um grande número de projetos descentralizados de eletrificação, foi lançada pelo Ministério das Minas e Energia, através do Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios (PRODEEM), que num primeiro momento instala um projeto demonstrativo de produção descentralizada de energia, em cada estado. Um primeiro projeto foi implantado em Pernambuco beneficiando uma comunidade com uma unidade de carregamento de bateria e um kit de iluminação para uma escola. O PRODEEM, partindo dos polos de acumulação, projetos inicialmente instalados em cada estado, estabelecerá centros de multiplicação, que são projetos integrados com outras áreas do Governo Federal, envolvendo outros níveis, como o estadual e o municipal, geralmente no escopo do Programa Comunidade Solidária. Assim o PRODEEM passa a representar a vertente energética dos programas de desenvolvimento integrado e um catalisador para novos projetos de produção descentralizada de energia, sempre fazendo uso dos recursos renováveis disponíveis no local. A Tabela 2.4.3 lista projetos que foram implantados por iniciativa de algumas empresas de energia e inclui dados sobre o PRODEEM.

A nível de pesquisa e desenvolvimento na área de energia solar e eólica, o Brasil que teve vários grupos atuantes nos anos setenta e oitenta, viu esmaecer sua produção científica no final

da década de oitenta e início da de noventa, retomou suas atividades nos últimos anos. Entre as principais linhas de pesquisa no país se destacam:

- busca de células de alta eficiência quer para aplicações espaciais ou para aplicações industriais;
- caracterização de materiais básicos como ligas de silício e germânio, bem como os filmes finos, em particular o telureto de cádmio;
- performance dos concentradores;
- modernização da distribuição espacial e espectral da radiação solar;
- caracterização precisa do vento;
- simulação em túneis de vento de diversos perfis;
- performance de coletores cilíndrico-parabólico para geração de vapor;
- desenvolvimento de medidores para levantamento de potenciais eólicos e solar;
- desenvolvimento de turbinas eólicas de grande porte;
- refrigeração solar;
- desenvolvimento e barateamento de aplicações diversas: proteção catódica, sinalização, tratamento de água por eletrólise, iluminação pública, estações carregadoras de baterias;
- desenvolvimento de sistemas híbridos;
- desenvolvimento de componentes (controladores e inversores para sistemas fotovoltaicos, baterias e rotores, pás e torres para sistemas eólicos) e periféricos;
- carros solares e híbridos;
- dimensionamento e operação de sistemas fotovoltaicos interligados à rede elétrica, inclusive com produção de softwares.

A nível industrial, o país tem há mais de quinze anos uma empresa que produz, células de tarugos de silício mono e policristalino, módulo e sistemas fotovoltaicos. A eficiência de suas células está na faixa de 14%, e a capacidade de produção é de 1.2 MW/ ano para células monocristalinas e 600 kW para policristalino. A Heliodinâmica estima sua produção

acumulada desde a criação da empresa em 5 MW, sendo que em torno de 3 MW estariam instalados no Brasil e 2 MW teriam sido exportados, principalmente sob a forma de células. Na eventualidade de um aumento do mercado a empresa poderia vir a se automatizar fazendo reduzir seus custos de produção. Na área de componentes eólicos o Brasil exporta pás de turbinas para diversos países.

Tabela 2.4.2: Projetos em Negociação no Âmbito de Cooperações Internacionais
set. 1995

Projetos	Eólicos (kW)	Fotovoltaicos (Wp)
CESP/ Eldorado	-	17.000
COPEL/ Eldorado	300	16.500
CEAL/ Eldorado	550	-
COELCE/ Eldorado	1.200	-
COELCE/ Japão	60.000	-
APAEB/ SOS-PG	-	3.775
Pastoreio/ Eldorado	500	-
TOTAL	62.550	37.275

FONTE: CRESESB

Algumas empresas internacionais estão instaladas no país a exemplo da SIEMENS, SOLAREX, e New World Power. A SIEMENS, além de 200 kWp instalados nos projetos de cooperação acima mencionados, e 20 kWp em sistemas de alimentação para estações repetidoras de microondas e sinalização, instalou 50 kWp em sistemas de bombeamento e outros 30 kWp nas suas vendas a varejo, iluminação pública e outros. A SOLAREX tem 10 kWp instalados em sistemas solares de bombeamento e 3 kW em sistemas eólicos, sobretudo no Rio Grande do Norte, incluídos no âmbito do PAPP, 3 kWp em sistemas residenciais individuais, e mais 1.6 kWp em diversos sistemas incluindo escolas, refrigeração, sistemas demonstrativos e industriais. A New World Power do Brasil estima suas vendas no seguimento

de varejo em 24 kWp, no período de 1988-91 (então Arco Solar); 11,7 kWp entre 1991-92; 20 kWp entre 1992-94 (SIEMENS Solar, até junho de 1994); 5 kWp entre 1994-95 e finalmente 15 kWp em 1995, sendo que nos dois últimos períodos todos os sistemas foram de aplicação em áreas rurais. A Golden Photon, representada no Brasil pela INEPAR, instalou uma primeira estação de carregamento de baterias para comunidades isoladas com uma potência de 2 kWp. O valor acumulado da potência instalada nestes diversos sistemas, não listados anteriormente, se aproxima de 95 kWp.

O mercado para aplicações na área de telecomunicações esta totalmente consolidado havendo grandes sistema da EMBRATEL, nas regiões Norte e Centro-Oeste totalmente alimentado por painéis fotovoltaicos. A TELEBRAS, através de suas coligadas também fazem uso sistemático da energia solar fotovoltaica, estando previsto na expansão do sistema atual a aquisição de 5 MW que contemplará sobre tudo a telefonia rural. O Sistema de Vigilância da Amazônia (SIVAM) também prevê a aquisição de outros 750 kWp em painéis fotovoltaicos para a alimentação de suas plataformas de coleta de dados.

As cooperações internacionais implementadas, as iniciativas isoladas de diversos estados e entidades, a oportunidade de obtenção de novos recursos internacionais “em função do interesse da opinião pública pela proteção ambiental e do compromisso internacional de cooperação tecnológica para equacionar as questões de desenvolvimento” (Declaração de Belo Horizonte, 1994), a conscientização da necessidade de uma política nacional para utilização das fontes de energia renováveis, do aumento da competitividade, face aos seus custos declinantes, e do caráter estratégico do domínio destas tecnologias fizeram os Ministérios das Minas e Energias (MME) e Ciência e Tecnologia (MCT), convocar o encontro para Definição de Diretrizes para o Desenvolvimento de Energia Solar e Eólica no Brasil. Neste encontro foram definidas uma série de diretrizes que são agrupadas em políticas; legislativas administrativas e institucionais; financeiras e fiscais; para a formação de recursos humanos e para divulgação. Estas diretrizes buscavam identificar mecanismos de (através de mudanças políticas governamentais) introdução e regulamentação de leis, criação de programas, linhas

específicas de financiamento e de incentivos, mudanças ou inserções nos currículos escolares, estímulo à pesquisa e o desenvolvimento, disseminar o uso daquelas formas de energia.

Tabela 2.4.3: Sistemas Implantados com Recursos Inteiramente Nacionais

set.1995

Sistemas	Eólicos (kW)	Fotovoltaicos (Wp)	Características
COELBA (Itanaga)	-	721	1 poço de bombeamento
CESP (Vale da Ribeira, Juréia)	-	6.220	11 centros comunitários
CEMIG	-	1.470	4 resid. rurais, 1 irrigação
Light	-	817	19 sistemas de iluminação
PRODEEM			
PE	-	650	carregamento de bateria
MS	-	1.600	bombeamento e outros
CE, BA, RN, SE, ES, MG, RJ, PR, RS (*)	-	15.850	sistemas comunitários
Outros estados(**)	-	15.150	sistemas comunitários
Governo do Ceará (PAPP) (*)	25		fábrica de gelo e motores

* Em instalação

**Estágio de projeto concluído

Foram ainda recomendados o Foro Permanente para assegurar a implementação das diretrizes, a criação de um Centro de Referência para implementar um sistema de informação e divulgação e a definição de um novo encontro para a definição de um plano de ação. Finalmente, foram ainda definidas as metas para o ano de 2005 que previam a instalação de:

- 1000 MW de geração eólica;
- 50 MW de geração solar fotovoltaica;
- 3 milhões de metros quadrados de captação termo-solar.

Em outubro de 1994, o Foro Permanente foi oficialmente estabelecido e apresentado em audiência pública no Congresso Nacional o seu escopo e as recomendações da Declaração de Belo Horizonte. Em dezembro de 1994, através de aporte de recursos do Ministério das Minas e Energia, foi criado o Centro de Referência, com a missão de “promover o desenvolvimento das energias solar e eólica através de difusão de conhecimentos, da ampliação do diálogo entre as entidades envolvidas e do estímulo à implementação de estudos e projetos”. Uma das principais estratégias do Centro é a criação de uma rede de informações interligando todas as partes interessadas no desenvolvimento e utilização das energias solar e eólica, e o estabelecimento de acordos de cooperação com o objetivo de intercambiar experiências e conhecimentos e identificar oportunidades de desenvolvimento e aplicação destas tecnologias.

Em março de 1995, foi estabelecido um grupo de trabalho para discutir os mecanismos de gestão para os sistemas renováveis autônomos, envolvendo além das concessionárias de energia, as cooperativas de eletrificação rural e cooperativas agrícolas, levantando questões ligadas às taxas cobradas pelas concessionárias para os pequenos consumidores, a capacidade e disposição a pagar daqueles não beneficiados e a montagem de fundos rotativos. Foram ainda levantadas discussões sobre leis como a de concessão dos serviços públicos, desqualização tarifária e produção independente de energia. Em abril, na reunião do Grupo de Trabalho de Energia Solar Fotovoltaico (GTEF), foi decidido a incorporação da energia solar térmica no seu escopo e em junho criado o Grupo de Trabalho de Energia Eólica.

Ainda em junho, foi realizado o II Encontro para o Desenvolvimento das Energias Solar, Eólica e de Biomassa no Brasil, com o objetivo de traçar as diretrizes e plano de ação para estas três fontes de energia. O Encontro foi uma promoção do Foro Permanente, e exibiu nos jardins do Congresso Brasileiro, diversas tecnologias para transformação e utilização de energia destas fontes. Além de mantidas as metas definidas para a energia solar e eólica, definidas na Declaração de Belo Horizonte, foram definidas várias metas para a biomassa, a saber:

- 3000 MW de potência instalada em cogeração a partir de bagaço de cana-de-açúcar;
- 1000 MW de potência instalada em cogeração a partir de resíduos da indústria de papel e celulose;
- 250 MW de potência instalada em termelétricas a lenha obtida de florestas plantadas;
- 150 MW de potência instalada em sistemas de geração elétrica de pequena escala utilizando óleos vegetais.

Além das metas ligadas à produção de carvão vegetal, álcool etílico, óleos vegetais e reflorestamento.

O Plano de Ação, principal resultado deste encontro, recomenda para a disseminação das energias renováveis, dentre outras ações:

- incentivo à substituição de combustíveis fósseis nos Sistemas Isolados, mantendo-se o pagamento do diesel substituído pela Conta de Consumo de Combustíveis (CCC);
- incentivo à geração complementar por produtores independentes e concessionárias através de obrigatoriedade de compra de energia elétrica pela concessionária de distribuição;
- estabelecimento de programa solar para consumidores residenciais, de irrigação para pequenas propriedades rurais e energização rural, através de linhas de Financiamento de Habitação, no primeiro caso, e da produção agrícola no segundo;
- isenção temporária de imposto na aquisição de equipamentos e na produção de energia;
- priorização destas energias em obras públicas e edificações;
- apoio, divulgação e ajuda na captação de recursos para o PRODEEM;
- implementação de programa de desenvolvimento científico, tecnológico e industrial como apoio dos órgãos de fomento, fazendo uso, inclusive, do poder de compra do Estado e de educação e treinamento em energias renováveis;

- inventário dos potenciais brasileiros.

Finalmente, anda quando do Encontro de Brasília foram anunciados os Programas de Energias Renováveis dos Estados de Minas Gerais e Bahia. A Bahia identificou 172 localidades com uma média de 30 domicílios e 300 poços artesianos que, se eletrificados, deverão fazer uso da energia solar.

Assim, nota-se que a partir do estímulo por acordos conjuntos de cooperação, conseguiu-se mobilizar os diversos atores com papel a desempenhar na utilização das energias renováveis: as concessionárias de energia elétrica, as universidades e centros de pesquisa, a indústria e a iniciativa privada, usuários e o governo compondo uma montagem com repartição de esforços, que é indispensável para o estabelecimento de um modelo sustentável de utilização das energias renováveis.

3. TECNOLOGIA E CUSTO DE PRODUÇÃO DO SISTEMA SOLAR FOTVOLTAICO

3.1 TECNOLOGIA DA CÉLULA FOTOVOLTAICA

Por volta do ano de 1839, Becquerel conseguiu realizar a primeira demonstração do efeito fotovoltaico - a base da geração direta de eletricidade a partir da energia solar - em um fluido. Porém é no ano de 1877 que, Adams e Day, produzem na Inglaterra o mesmo efeito em um material sólido, o selênio. E, em 1883, surge a primeira célula solar, produzida com o selênio. No entanto, a eficiência de conversão, dessa célula, não passava de 1%.(Fraidenraich, Lyra, 1995)

Na década de 30, deste século, diversos físicos, como Lange, Grondahl e Schottky, apresentaram importantes contribuições sobre os efeitos fotovoltaicos em junção de materiais sólidos (óxido cuproso e selênio) (Andrade, 1984). No ano de 1941, Ohl vai produzir a primeira célula de silício monocristalino (Wolf, 1976). Em 1949, Billing e Plessnar conseguem medir a eficiência de fotocélulas de silício cristalino e, na mesma época, a teoria da junção P-N de Shockley é divulgada. Finalmente, no ano de 1954, vai ser produzida uma célula fotovoltaica semelhante às de hoje. Esta célula desenvolvida a partir de estudos realizados no Bell Telephone Laboratories pelos pesquisadores Pearson, Fuller e Chapin tinha uma eficiência estimada de 6% (Rauschenbach, 1980). Coincidência ou não, nesse mesmo ano foi desenvolvido, pela primeira vez, um processo de purificação de monocristais de silício. Processo este que ainda é utilizado em larga escala, hoje em dia.

As décadas de 60 e 70 são marcadas pela grande utilização das fotocélulas em programas espaciais. Contrariando as expectativas, entre 1961 e 1971 não se observa nenhum progresso tecnológico das fotocélulas. Será, portanto, em 1972 que vai surgir a “célula violeta” com 16% de eficiência. Um aumento de 10 pontos percentuais em relação à célula produzida no ano de 1954. Já no ano de 1974 é produzida uma célula ainda mais eficiente, a “célula negra”, que tem um rendimento entre 18 e 19%. Estas “células negras”, produzidas à base de silício monocristalino, são as mais usadas hoje em dia, pois a abundância de matéria-prima e a sua eficiência garantem a sua competitividade em relação às demais.(Palz, 1981)

Com a crise do petróleo de 1973/74 formou-se uma corrida em busca de soluções alternativas para suprir a crescente demanda de energia na terra. É nesse momento que as células fotovoltaicas, dentre as demais fontes alternativas, vai se destacar como a mais promissora fonte de energia para o uso terrestre. Apesar do seu custo de produção ainda ser considerado alto a sua fabricação, para uso terrestre, supera as de uso espacial, após o fim da década de 70. Ainda é possível notar que esta diferença não para de crescer. (Green, 1982)

A crescente utilização destas células solares tem sido acompanhada de inovações tecnológicas. Tais inovações permitem uma maior eficiência na conversão da energia feita pelas fotocélulas, bem como uma significativa redução dos seus custos.

O problema da eficiência de conversão e dos custos com materiais usados na confecção do módulo têm impulsionado pesquisas no sentido de descobrir materiais, diferentes do silício monocristalino, com maior eficiência e com menor custo. Alguns estudos, já realizados, com o silício policristalino e amorfo; o arseneto de gálio e o sulfeto de cádmio, dentre outros, estão em fase de teste. Mas, devido ao nível de conhecimento da tecnologia que emprega o silício monocristalino e a abundância deste na natureza torna, o silício, o material mais importante, atualmente, no processo de desenvolvimento tecnológico.

3.2 OS MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

A célula solar é produzida, como já visto antes, a partir do silício, mais conhecida por areia, a mesma matéria-prima usada na fabricação do vidro. A partir desta informação, as pessoas que nunca tiveram contato com uma célula, podem imaginar o quanto ela é frágil. Por isso criou-se o módulo para a proteção das células, e assim elas tivessem um maior tempo de vida útil

Sem o módulo as células fotovoltaicas, quando em uso, ficariam totalmente expostas a todo e qualquer acontecimento atmosférico. São reações eletroquímicas (corrosão) que podem variar a depender da temperatura e polarização elétrica da região. Outros motivos que exigem um

encapsulamento das células é para proteger de impactos mecânicos provocado por queda de objetos.

Os módulos são compostos por uma proteção frontal que, de preferencia, é feita de vidro temperado e o substrato, que é a parte que envolve as células, podendo ser de metal ou de plástico. O vidro temperado é o material mais usado, por ser mais resistente ao raio ultravioleta que o plástico. O vidro mantém sua transparência; suas propriedades mecânicas e elétricas por mais tempo e seu custo é baixo.

Um outro ponto relevante, em um módulo, é que ele tenha uma boa capacidade de auto limpeza por ventos e chuvas. Quando estas propriedades são parte de um módulo a queda de potência das células fica abaixo de 10%.

Partindo de experiências realizadas ao longo dos anos, em diversas regiões da terra, observou-se que o encapsulamento não é totalmente eficaz. Desta forma algumas medidas devem ser tomadas no intuito de aumentar a eficiência dos módulos:

- Abandonou-se o uso de materiais orgânicos na parte frontal do módulo, devido a delaminação e modificação química do material pelo calor e pelo raio ultravioleta; a abrasão dos ventos e deterioração por microorganismos.
- A utilização de vidro com superfície texturizada diminui as perdas óticas. Porém acumula mais poeira e dificulta a limpeza por chuvas.
- Utilização de moldura metálica no perímetro lateral do módulo(alumínio anodizado), facilitando a montagem, tem boa vedação e proteção mecânica.
- Deve-se ter um necessário cuidado com as caixas de conexão elétrica. O acúmulo de poeira, insetos e a umidade levam a uma maior corrosão dos contatos elétricos.

Os módulos têm grande importância na determinação do tempo de vida útil das fotocélulas. Pesquisas realizadas no sentido de aperfeiçoar e melhorar a qualidade, resistência e durabilidade dos módulos foram bem sucedidas. Os módulos que, na década de 70, tinham

uma vida útil, prevista de cinco anos. Atualmente os módulos já possuem uma vida útil superior a 20 anos, com módulos atingindo até 30 anos de vida.(Palz, 1981)

Num futuro próximo, o custo dos painéis planos fotovoltaicos será dividido em partes iguais entre os custos individuais com células, montagem e encapsulamento. Dessa maneira, o custo com agrupamento e proteção das células será de 2/3 do custo total, dada a importância deste aspecto no desenvolvimento da tecnologia.(Green, 1982)

Outro ponto relevante é como as células interligadas estarão arrumadas para que se obtenha um maior aproveitamento da área do módulo. O parâmetro de medida é o “fator empacotamento” que é a relação entre a área efetivamente ocupada pelo conjunto de células dividida pela área total do módulo. Este fator se aproxima da unidade para células quadradas ou retangulares e é de 0,6 a 0,7 para as arredondadas.

3.3 NÍVEL DE EFICIÊNCIA DOS MÓDULOS

As células, comercializáveis, de silício monocristalino apresentam, em média, uma eficiência de 15%, com os módulos atingindo 13%. Para células desenvolvidas em laboratório na Austrália conseguiu-se uma eficiência de 23%, a BP Solar fabricou um módulo com 17,5% de eficiência. Para o silício policristalino o nível de eficiência é de 12% para as células e de 11% para o módulo. A SIEMENS Solar Industries produz módulos com células CSI com eficiência de 9,7%. Células de telúreto de cádmio produzida pela BP Solar e pela Photon Energy atingem até 20% (ainda em caráter experimental).

Existem ainda, os módulos de células multijunção com 12,3% de eficiência para o silício amorfo/CIS e 10% para a tripla junção de silício amorfo/ silício amorfo/ silício-germânio amorfo.

A redução na eficiência dos módulos se devem a quatro limitações tecnológicas: o fator empacotamento; a eficiência ótica da cobertura frontal do módulo (resistência, transparência,

auto limpeza, etc.); a perda de energia nas interligações elétricas das células no módulo e ao descasamento das características das células. Como pode-se observar, uma melhor eficiência dos módulos só depende de um aperfeiçoamento destas quatro limitações. Pesquisas neste sentido podem gerar módulos cada vez mais eficientes e competitivos.

3.4 RETORNO ENERGÉTICO DO MÓDULO

O retorno energético é calculado pela diferença da quantidade de energia gasta na produção do módulo e a quantidade de energia gerada no seu tempo de vida útil. Partindo deste ponto, quanto maior for o tempo de vida útil do módulo mais competitivo será, ou seja, quanto maior for a quantidade de energia gerada pelo módulo melhor.

Estudos realizados, quanto ao período de retorno apontaram uma pequena diferença entre as fontes pesquisadas. As estimativas vão de 10 anos, para os menos otimistas, outros estimam uma média entre 4 a 6 anos. Atualmente já existem estimativas que este retorno chega a menos de dois anos. No entanto, para qualquer uma destas estimativas, o retorno é garantido, pois o tempo de vida útil dos módulos é bem superior. Os módulos atinge, hoje em dia, uma vida útil entre 20 e 30 anos.

Na tabela 3.4.1 será apresentada quatro tecnologias diferentes na produção dos módulos. Nela estão os insumos energéticos de cada fase e o respectivo percentual de consumo em relação ao total. No final é apresentado o insumo total gasto no processo e o tempo de retorno energético em meses. Todos os dados são relativos a 1m^2 de módulo.(Fraidenraich, Lyra, 1995)

A *tecnologia A* corresponde ao processo tradicional na produção de células de silício monocristalino. A produção de silício grau eletrônico é feita pelo método convencional conhecido como Siemens C-Process onde o silício de grau metalúrgico é obtido em fornos. Depois é produzido triclorosilano que é destilado e posteriormente reduzido, formando o silício grau eletrônico. Em seguida passa para o crescimento do silício monocristalino pelo processo Czochralski com posterior corte do lingote e preparação da lâmina. A lâmina sofre

um processo de difusão, gravamento, colocação dos contatos, até a obtenção da célula solar. Posteriormente a célula é interligada e protegida, resultando finalmente no módulo fotovoltaico. Este é o processo que mais consome energia, resultando num período de retorno próximo a 8 anos (94,2 meses).

Tabela 3.4.1 - Tecnologias de Produção de Módulo

Fases de produção do Módulo	Tecnologias de Fabricação do Módulo							
	A		B		C		D	
	Q (kWh)	e (%)	Q (kWh)	e (%)	Q (kWh)	e (%)	Q (Kwh)	e (%)
Produção de silício	1275	73,9	255	71,0	153	60,7	37	37,4
Produção de Lâminas	155	9,0	35	9,8	30	11,9	6	6,1
Processamento da Célula	26	1,5	26	7,2	26	10,3	12	12,1
Confecção do Módulo	270	15,6	43	12,0	43	17,1	43	43,4
Total	1726	100	359	100	252	100	99	100
Período de Retorno da Energia em Meses	94,2		19,6		13,8		5,4	

FONTE: Fraidenraich, Lyra, 1995

Na *tecnologia B* usamos o mesmo processo inicial para a obtenção do silício grau eletrônico, porém o crescimento do cristal é feito pelo processo EFG; tecnologia de crescimento em fita que já é aplicada por alguns fabricantes. A produção das células é idêntica a anterior. No entanto o módulo é formado apenas por material plástico para encapsular e proteger as células. Desta forma o tempo de retorno cai para 19,6 meses. Pode-se observar que, apesar de termos o mesmo processo para a produção de silício grau eletrônico, aqui tem-se um insumo energético bem menor que no caso da *tecnologia A*. A causa disto é que na *tecnologia A* o processo de crescimento e corte perde muito material, de forma que muito mais silício é necessário para a produção do mesmo m^2 que na *tecnologia B*.

Com a *tecnologia C* tem-se a produção de silício puro por uma nova técnica, desenvolvida pela Siemens, conhecida como Advanced Carbothermic Reduction. Coloca-se a sílica e o carbono de alta pureza para reagirem num forno de arco. Depois é feito um processo de redução e posterior filtragem.

A placa de silício é obtida através do processo de ligote, a partir da solidificação direcional em cadinho, com o ligote posteriormente cortado em fatias. Para a obtenção da célula segue o processo tradicional e o módulo é de baixo custo. Com o retorno ficando em torno de pouco mais de um ano (13,8 meses).

A *tecnologia D* utiliza técnica do Advanced Carbothermic Reduction para obter o silício puro. A lâmina é obtida pelo método dos dendritos de grafite imerso no silício fundido e puxada na horizontal. A célula tem uma preparação semelhante à anterior, porém, neste caso, é eliminada a difusão para a formação da junção utilizando um método simplificado de implantação iônica. O módulo é de baixo custo e o tempo de retorno é o menor de todos, menos que meio ano (5,4 meses).

Através destes dados é possível notar que existem grandes possibilidades de redução dos custos energéticos, na produção de módulos fotovoltaicos, a partir de novas tecnologias. No entanto, é importante lembrar que num tempo de retorno curto, apesar de ser um parâmetro relevante, não é fator decisivo no custo de um módulo.

O “seguimento solar” é mais uma peça que ajuda ao módulo a obter um maior aproveitamento da luz solar e, conseqüentemente, reduzir o período de retorno. Este aparelho consiste em uma base móvel que mantém a placa solar constantemente direcionada para o sol. Em relação a um painel fixo o “seguimento solar” faz a placa gerar 1,57 vezes mais energia, em um dia claro. Em termos percentuais o ganho varia em torno de 35 a 40%. O seguimento total do sol em dois eixos tem um rendimento 36% maior que o seguimento em um eixo. O seguimento em um eixo tem um rendimento de 30 a 35% em relação aos painéis fixos. A vantagem do

seguidor em um eixo é que, por ser menos complexo que o de dois eixos, seu custo de produção e manutenção é menor.

Alem disso, a área, para instalar, um painel com seguidor de dois eixos tem de ser maior por causa do problema com sombreamento, e a região tem de ter um alto índice de incidência solar para que se torne viável.

3.5 APLICAÇÕES PARA OS MÓDULOS

As aplicações dos módulos fotovoltaicos descentralizados em regiões sem fornecimento de energia, pelas redes convencionais, abrange uma vasta área. As de interesse para o semi-árido são: bombeamento de água; irrigação; eletrificação de cercas; comunicação; iluminação; alimentação elétrica; dentre outros.

Atualmente, para uma região receber um sistema fotovoltaico descentralizado, antes, é aconselhável que se faça uma análise detalhada da potencialidade da região. Os pontos mais importantes são: o requerimento anual de energia; diagramas de energia sazonais e horários; requerimento de pico de potência e o tipo de suprimento AC ou DC. O uso de acumuladores de energia se faz necessário para os dias de baixa insolação ou então de um gerador auxiliar.

Ao contrário do que se imagina, o sistema fotovoltaico é bastante simples e não requer altas tecnologias, apenas as fotocélulas exigem um pouco mais. A interligação e instalação do sistema não apresenta nenhuma dificuldade facilitando, assim, o seu manuseio. Os principais componentes são: o módulo; a estrutura de suporte do módulo; o regulador de tensão e equipamentos de controle; as baterias de armazenamento e o diodo de bloqueio.

1. Módulo: é o gerador propriamente dito. A interligação entre os módulos define as características de saída em tensão e corrente.
2. Estrutura de suporte dos módulos: é quem sustenta o módulo; permite que estes sejam conectados de forma a ocuparem o menor espaço possível e que simplifica a interligação elétrica entre eles.

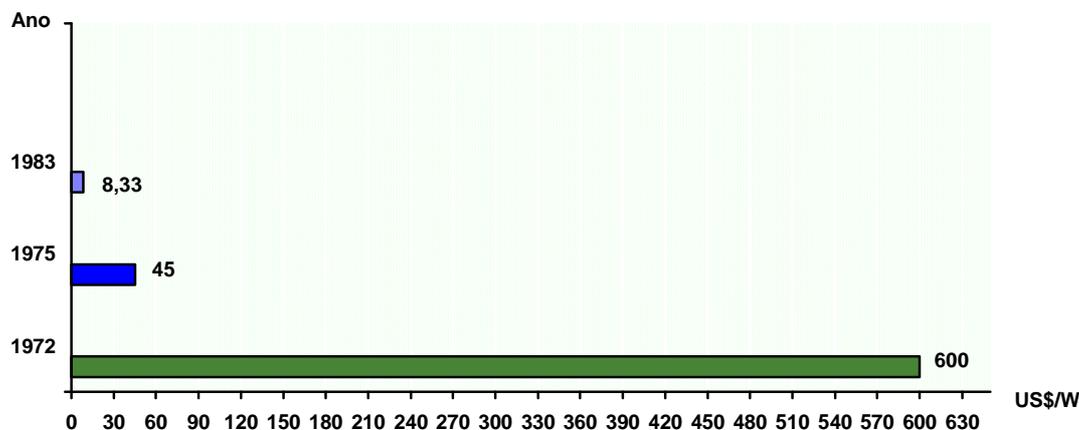
3. Regulador de tensão e demais controles: devido a variação na tensão de saída de um dispositivo de geração fotovoltaica, por causa das variações dos níveis de radiação solar e temperatura, sistemas com armazenamento em baterias requerem a regulação de tensão para evitar a sobrecarga. O regulador deve limitar a corrente máxima de recarga fornecida à bateria, e ele deve ter boa estabilidade térmica e baixo consumo.
4. Baterias para armazenamento: a sua função é permitir o suprimento de energia durante os períodos de baixa ou nenhuma insolação e a utilização do excedente em períodos de alta insolação.
5. Diodos de bloqueio: sua função é prevenir a perda de carga através do dispositivo durante a noite, já que as células não iluminadas atuam como diodo

3.6 REDUÇÃO NOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DAS FOTOCÉLULAS

O custo médio das fotocélulas sofreu uma espetacular redução ao longo dos últimos 20 anos. Esta redução de custo pode ser atribuída à evolução tecnológica dos módulos e ao aumento da produção das células (em escala).

As primeiras células solares tinham um custo médio de produção de US\$600.00/W. No ano de 1975, produziu-se cerca de 100kWp de fotocélulas, a um preço médio de US\$45.00/W, isso representa uma redução de 1.333,33%, no preço médio. Já, em 1983, a produção atingiu 18MWp, alcançando um total nas vendas de US\$150,000,000.00, o que representou uma redução no preço médio para US\$8.33/W, ou seja, uma variação de 540.22% nos preços por Watt de potência. O gráfico, apresentado em seguida, pode-se ter uma melhor visualização da redução do custo médio de produção das células fotovoltaica entre os anos de 1972 e 1983.(Sweedler, 1984)

GRÁFICO 3.6.1 - Custo Médio de Produção entre 1972 e 1983



A redução do custo com tecnologia fotovoltaica tem se apresentado bastante significativo desde que sua comercialização, para uso terrestre, teve início. Para ter uma idéia da redução do custo de produção, em 1980 ele encontrava-se por volta de US\$14,50/Wp, em 1988 seu valor cai para US\$3,80/Wp. Quanto ao preço de venda dos módulos, na década de 70, existe uma diferença nas informações obtidas. O Department of Energy (DOE) dos EUA aponta um preço de venda de US\$120,00/Wp em 1970, já a universidade de Princeton, também dos EUA, informa um valor de 500,00/Wp para o ano de 1972. Porém se compararmos, qualquer uma das duas informações com o preço de venda, praticado no ano de 1990, que atingiu uma média de US\$5,00/Wp, perceberemos uma queda significativa mesmo se compararmos com os dados de 1970. Essa queda de preço se deu tanto pelo aumento da demanda, quanto pelo emprego de materiais mais baratos, na confecção dos módulos. (Fraidenraich, Lyra, 1995)

4. REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 AVALIAÇÃO DE PROJETO DE INVESTIMENTO

Antes de por em prática um projeto, seja ele qual for, é necessário que se faça algumas análises de custo-benefício para que o capital empregado atinja a sua máxima utilidade. Nesse sentido, uma avaliação adequada do projeto, através da análise de investimento, é imprescindível para evitar falhas de alocação dos recursos.

O critério para a avaliação econômica de projetos alternativos pode ser: privado ou social. A diferença entre as duas formas de avaliação é que, o social busca a eficiência do ponto de vista da economia como um todo, enquanto que o privado procura a eficiência no aspecto rentável do projeto.(Pomeranz, 1985)

Do ponto de vista privado a análise de investimento é chamada em geral, de análise de rentabilidade ou viabilidade econômica do projeto e na sua avaliação os fluxos de receita e despesas dos projetos de investimento são estimados a preços de mercado, nas condições em que ele funciona.(Pomeranz, 1985)

Do ponto de vista social a análise de investimento é chamada em geral de análise de custo-benefício ou análise social de projeto. Nesta avaliação os preços de mercado são substituídos por preços sociais, pois refletem melhor a escassez relativa dos fatores, num mercado em condições de concorrência e sem distorções ou num mercado sujeito a um processo planejado de desenvolvimento.(Pomeranz, 1985)

O preço social do trabalho depende de vários fatores, tais como: qualificação de mão-de-obra, mercado de absorção da mão-de-obra, região de implementação do projeto, características do projeto, conjuntura econômica, entre outros. Os economistas admitem que o preço da mão-de-obra especializada corresponde ao próprio salário de mercado, de modo que a RPS do trabalho especializado é unitária. Por outro lado, o preço social do trabalho não especializado sofre variação a depender da localidade em que se encontra implantado o projeto. O salário social da mão-de-obra não especializada é, em geral, mais baixo na área rural do que na urbana. Segundo Carrera, com base em seus estudos e considera-se neste trabalho que o preço social do trabalho não especializado corresponde a 60% do salário de mercado, implicando em uma RPS de 0,6, isso é, a cada real pago ao trabalhador especializado, apenas 60 centavos é considerado custo efetivo para a sociedade.

Admitindo a tarifa de energia elétrica de suprimento por base para o custo de produção de energia hidroelétrica, estimou que o preço social da energia elétrica no Brasil é 93% superior ao custo privado de geração de energia elétrica, o que representa uma RPS de 1,93 (CARRERA, 2000)

No caso do óleo diesel, verifica-se a incidência de imposto sobre produtos industrializados, imposto sobre combustível e lubrificantes e o ICMS. Ficando o óleo diesel com uma carga tributária, em média, em torno de 27% do seu preço de mercado. Dessa forma, será utilizado neste trabalho uma RPS, para o óleo diesel, de 0,73.

O instrumental de uma análise econômica de investimento pode ser aplicado na aquisição ou substituição de novos bens ou serviços. Alguns destes são:

- determinar a opção mais viável do ponto de vista econômico, dentre diversas alternativas de investimento que se apresentam;
- analisar as vantagens econômicas da substituição de sistemas já existentes, por outro tecnicamente equivalente a serem implementados;
- analisar economicamente o comportamento funcional de dois ou mais bens ou serviços tecnicamente equivalentes.

As informações técnicas e econômicas mínimas, necessárias à análise econômica de investimento, deverão fundamentar-se nos seguintes itens:

- custo inicial do investimento;
- vida útil do bem ou serviço;
- ocupação ou rendimento técnico do bem ou serviço, visando a produção ou serventia prevista;
- valor alternativo do dinheiro no mercado de capitais, representada pelas taxas de juros;
- custo do serviço, mão-de-obra, manutenção, depreciação, etc.

A implantação ou substituição de bens ou serviços existentes fica totalmente justificada quando as exigências do ponto de vista técnico e econômico se enquadram nos itens citados acima. No entanto, nem sempre o melhor projeto do ponto de vista técnico é o projeto mais vantajoso do ponto de vista econômico.

4.2 INDICADORES PARA AVALIAÇÃO DE PROJETO

Entre os métodos que consideram a avaliação do capital no tempo, os mais usados são: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback e Relação Benefício-Custo (B/C).

Na análise econômica de investimento, os cálculos dos indicadores são feitos em cima dos dados apresentados pelo fluxo de caixa dos projetos. No fluxo de caixa encontram-se as despesas e as receitas do projeto analisado. Estas informações são parte importante para a escolha do projeto; sempre com base nas informações técnico-econômicas.

A Figura 1 mostra o fluxo de caixa de um projeto representativo. Através desse, as receitas e os custos que ocorrem em dados instantes de tempo. Uma escala horizontal indica o tempo, as setas para cima representam as entradas de caixa ou receitas e as setas para baixo correspondem as saídas de caixa ou custos.

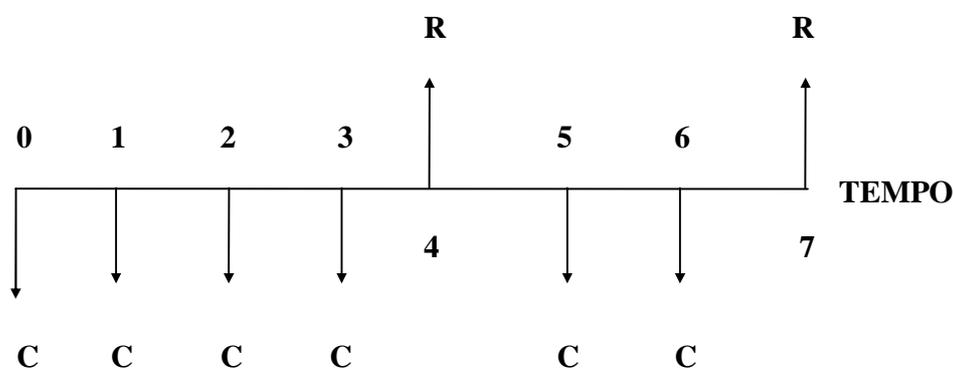


Fig. 1 - Fluxo de caixa de investimento

4.2.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é a soma algébrica dos valores atuais do fluxo de um projeto, atualizados à taxa(s) adequada(s) de desconto. A leitura dos resultados deve ser feita da seguinte forma; quanto maior for o VPL (positivo), melhor será o projeto; e, caso esteja sendo analisado mais de um projeto, quanto maior for o VPL positivo, melhor será o projeto (Contador, 1997). O VPL pode ser representado matematicamente pela fórmula abaixo:

$$VPL_0 = F_0 + \frac{F_1}{1+r} + \frac{F_2}{(1+r_1)(1+r_2)} + \frac{F_3}{(1+r_1)(1+r_2)(1+r_3)} + \dots$$

Onde F_i é o valor líquido ($R_i - C_i$) na data i . Assim:

$$VPL_0 = F_0 + \sum_{i=1}^n \frac{F_i}{\prod_{j=1}^i (1+r_j)}$$

Admitindo-se que a taxa de desconto é constante e igual a r , então o VPL pode ser representado da seguinte forma:

$$VPL_0 = F_0 + \frac{F_1}{1+r} + \frac{F_2}{(1+r)^2} + \frac{F_3}{(1+r)^3} + \dots$$

$$1+r \quad (1+r)^2 \quad (1+r)^3$$

ou simplesmente:

$$VPL_0 = \sum_{i=0}^n \frac{F_i}{(1+r)^i}$$

4.2.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

A Taxa Interna de Retorno é definida como a taxa de juros que iguala a zero o Valor Presente Líquido de um projeto (Contador, 1997). A aceitação de projeto como viável economicamente se dá pela comparação entre a taxa interna obtida do próprio projeto e uma taxa de retorno considerada aceitável, isto é, uma taxa mínima de atratividade (Pomeranz, 1985).

Dada várias alternativas de projeto, sempre que as suas taxas internas de retorno forem superiores a essa taxa mínima de atratividade, será selecionada aquela cuja TIR for maior. Em termos matemáticos a TIR pode ser expressa da seguinte forma:

$$F_0 + \frac{F_1}{1+r^*} + \frac{F_2}{(1+r^*)^2} + \dots + \frac{F_n}{(1+r^*)^n} = 0$$

Onde r^* representa a(s) raiz(es) desse polinômio e corresponde a TIR. O projeto será viável sempre que a sua TIR for igual ou maior que o custo de oportunidade dos recursos para sua implantação. Além do que, quanto maior for a TIR, maior será a atratividade do projeto (Contador, 1997).

A sua grande vantagem é que neste método exige-se apenas conhecimento do perfil do projeto e de alguma idéia do custo de oportunidade do capital.

As suas desvantagens são:

- Para evitar inúmeros cálculos, pressupõem-se constantes a taxa de desconto ao longo do tempo, o que dificilmente ocorre no mundo real. Assim, como resultado, obtém-se uma TIR que representa uma média no tempo, portanto não se pode compará-la a taxa de desconto de apenas um dos períodos do projeto;
- A TIR pode apresentar raízes múltiplas e segundo o seu conceito, esta só tem sentido quando todas as raízes da expressão forem iguais, reais e positivas. Assim a TIR não pode ser utilizada como critério de decisão em projetos “não convencionais” como, por exemplo, projetos de exploração de recursos naturais renováveis, que apresentam benefícios antecedendo os custos com reposição;
- Também não diferencia a escala do projeto, não servindo, portanto, para comparações interprojetos.(Contador, 1997)

Portanto, como podemos notar a TIR, por si só, não é suficiente para determinar a aceitação de um projeto. É necessário levar em consideração o perfil do projeto, a escala e a taxa de desconto.

Apesar de tudo, a TIR é um indicador bem aceito e confiável principalmente quando se trata da realização de análise de viabilidade de projetos.

4.2.3 Payback

O Payback é conhecido como o número de períodos necessários para recuperar os recursos despendidos na implantação do projeto. Sua grande vantagem está na simplicidade e cálculo imediato. Quanto menor o Payback melhor será o projeto, ou seja, apresenta uma maior liquidez e um menor risco.(Contador, 1997)

As suas desvantagens são:

- Não levar em conta o valor ou custo de recursos no tempo, ou seja, não atualiza os fluxos futuros nem os fluxos após o período do Payback, numa versão mais aperfeiçoada pode-se corrigir esta distorção através de atualização de fluxo de custos utilizando-se uma taxa apropriada de desconto;
- não determina o valor mínimo exigido do Payback para aceitação do projeto;
- ignora os problemas de escala, pois quando faz relação entre valores não permite distingui-las dos investimentos;
- quando o projeto não tiver um perfil convencional, ou seja, quando há necessidade de recomposição do investimento, o Payback torna-se um parâmetro pouco confiável.(Contador, 1997)

Devido a estas significativas desvantagens é sugerido que o Payback seja usado apenas como um critério de desempate no processo decisório.

4.2.4 Relação Benefício-Custo (B/C)

O indicador B/C é definido como a relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos. Consiste, porem não na obtenção do saldo líquido monetário atualizado do fluxo atualizado de benefícios (receita líquida) e custo (investimento) mais no cálculo do quociente entre os referidos fluxos.(Contador, 1997)

Demonstrada a razão B/C, então as várias alternativas de projeto serão viáveis sempre que os resultados forem $r \geq 1$. Dente estas alternativas será considerada a melhor aquela que apresenta o maior r.

No entanto, dentre os indicadores apresentados, serão utilizados, nesta análise, apenas o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a Relação Benefício-Custo (B/C).

5. ANÁLISE COMPARATIVA DE VIABILIDADE ECONÔMICA

5.1 DELIMITAÇÕES DO PROJETO DE BOMBEAMENTO DE ÁGUA

Conforme mencionado anteriormente, existe no país e especialmente no Nordeste, uma grande quantidade de comunidades vivendo em condições muito precárias devido a falta de acesso à energia elétrica. O acesso a energia elétrica é um fator fundamental para o desenvolvimento de qualquer região. Quando se estuda o semi-árido nordestino observa-se uma situação precária e desumana em termos de condições de vida dessa população. É ainda mais intrigante tendo em vista que uma das soluções para conter ou, pelo menos, reduzir o êxodo rural, que tanto faz crescer a favelização nas grandes cidades, está na melhoria da qualidade de vida do homem no campo, como por exemplo, na oferta de água encanada através de pequenos sistemas de abastecimento humano.

Este projeto propõe uma análise no âmbito sócio-econômico de três sistemas alternativos de bombeamento d'água, objetivando identificar qual deles é o mais viável. Cada sistema estará sendo abastecido por um tipo de fonte de energia para o seu funcionamento, que são:

1. Sistema Elétrico Convencional (centralizada)
2. Sistema Diesel
3. Sistema Solar Fotovoltaico

O projeto deverá atender as seguintes exigências:

- deverá fornecer água a 25 (vinte e cinco) famílias, cada uma com cinco pessoas (em média);
- uma vazão de $5\text{m}^3/\text{h}$;
- o sistema deverá funcionar por cinco horas por dia²;
- o poço terá uma altura manométrica³ de 30 (trinta) metros.

Portanto, serão 25m^3 de água bombeados por dia, nestas condições. Estima-se que o consumo médio diário, por pessoa, será de $0,20/\text{m}^3$ dia. Quantidade mínima estimada para suprir as necessidades de uma pessoa; em regiões com baixo índice pluviométrico.

5.2 DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS A SEREM COMPARADOS

1. Sistema Elétrico

A forma de bombeamento de água por fonte elétrica é alimentada pela rede de distribuição convencional (centralizada), que pode ser monofásica, bifásica ou trifásica. Essa fonte fornece

² Período médio diário de aproveitamento solar por uma placa fotovoltaica.

³ Metro coluna d'água: distância em altura do nível dinâmico do poço até o reservatório.

energia para fazer funcionar um motor elétrico acoplado a uma bomba d'água que pode ser de superfície ou submersa.

Este sistema elétrico está projetado para trabalhar utilizando um sistema trifásico de alta tensão, com uma extensão de 2,5 Km (dois quilômetros e meio) de distância entre o local em que se encontra o sistema e a rede de distribuição de energia elétrica. Conforme as determinações técnicas da COELBA, este sistema deverá utilizar os itens citados abaixo:

- 20 (vinte) postes de concreto;
- 20 (vinte) suportes para cabo;
- 7.750 (sete mil e setecentos e cinquenta) metros de cabo nº 4 AWG CAA;
- 1 (um) transformador trifásico de alta tensão classe 15 KV para tensão/ 220 ou 320V e potência de 15 KVA;
- 1 (uma) caixa de medição;
- 1 (um) motor-bomba (de superfície) marca THEB, trifásico de 1,5 HP.

“Um sistema aéreo de alta tensão, com finalidade especificamente rural é comumente chamado de linha de distribuição rural (LD-rural). Ao sistema elétrico considerado é atribuído uma vida útil como sendo infinita. Esta consideração só é válida se a LD-rural estiver em terras públicas, caracterizando o sistema como sendo da concessionária de energia elétrica e conseqüentemente, toda a sua manutenção pertence a ela. Embora a caixa de medição, por conveniência, se encontre em terras do consumidor, o medidor pertence à concessionária. Entre a caixa de medição e o ponto em que se encontra a bomba d'água, incluindo-a, esta é a parte do sistema em que exige manutenção e de vida útil limitada, com custos para o consumidor” (Lopes, 1996).

A vida útil do conjunto motor-bomba foi estimado em cinco anos, desde que tenha uma manutenção tecnicamente correta, de acordo com a recomendada. No preço da LD-rural, até a caixa de medição está incluído o de instalação. O custo de instalação utilizado irá se referir ao do motor-bomba, cujo o valor estará implícito no investimento inicial.

2. Sistema Diesel

O conjunto motor-bomba alimentado por diesel, monocilindro marca Yanmar, com potência máxima de 5 HP

3. Sistema Fotovoltaico

Para um funcionamento adequado (conforme o volume d'água desejada) este sistema utilizará os seguintes equipamentos:

- 12 (doze) módulos (painéis) solar elétrico SP 75 SIEMENS, que estão ligados em série, tendo cada módulo potencia nominal de 75 Wp;
- 1 (uma) bomba submersa, marca Mac Donald, Mod. 211008 DM;
- 1 (um) inversor CC/ CA - 48 V.

5.3 CÁLCULOS, RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste projeto não se preve o uso de baterias porque toda a água bombeado no dia estará sendo armazenada em um reservatório que servirá como uma caixa d'água. Portanto, os sistemas trabalharão 5 horas/dia, que é o tempo médio de aproveitamento da radiação solar na região. O que somado dará 1800 horas, em média, de bombeamento ao ano. O custo de operação será equivalente ao de doze salários mínimos ao ano, que corresponderá a R\$ 1812,00.

Como base de cálculo usaremos os dados da tabela 5.3.1, que expõe os custos de cada sistema em suas respectivas fazes.

TABELA 5.3.1 - CUSTO DOS SISTEMAS (em R\$)

Sistemas	Investimento Inicial			Custo de Opera. e			Vida Útil (em anos)
	Maquina / Equipa.	Motor- Bomba	Total*	Energia	Operação- Manutenção	Total	
Elétrico	19.933,00	400,00	20.333,00	313,00	1.842,00	2.115,00	∞
Diesel	4.000,00	500,00	4.500,00	920,79	2.512,00	3.432,79	5
Fotovoltaico	9.651,04	500,00	9.651,04	-	1.812,00	1.812,00	25

*Valor com sistema já instalado (na época 1 US\$ igual a 2 R\$) dez. 2000.

5.3.1 Cálculos do Sistema Elétrico

Relativo ao Sistema Elétrico foi considerado como investimento inicial as despesas com maquinas e equipamentos para construir a LD-rural de 2,5 Km e o conjunto motor-bomba. Segundo dados da COELBA, o quilômetro de linha construída fica em torno de R\$ 7.150,00 (o que inclui postes, estruturas e cabo), mais o transformador no valor de R\$ 1.887,00, mais uma caixa de medição padrão de R\$ 171,00, os quais somados perfazem um total de R\$ 19.933,00 (com instalação). O conjunto motor-bomba fica em torno de R\$ 400,00 (com instalação). Quando somados, eles representam um investimento inicial de R\$ 20.333,00

O custo de operação e manutenção é formado pelo consumo anual de energia, mais os custos operacionais e de manutenção. O custo anual de energia foi calculado conforme a seguinte equação:

$$CE = P * t * 0,8 * Ta * RPS$$

onde: P = potencia do motor-bomba em cv = 1,5;

t = tempo de funcionamento ao ano em h = 1.800;

Ta = tarifa de energia em R\$/kWh = 0,075

RPS = índice de preço social da geração de energia = 1.93

Assim,

$$CE = 1,5 * 1.800 * 0,8 * 0,075 * 1,93 = R\$ 312,66$$

O custo de operação (um operador) é de R\$ 1.812,00 anuais, mais R\$ 30,00 referente a manutenção do conjunto motor-bomba. Somando-se esses valores, obtém-se um montante de R\$ 1.842,00 referentes ao custo de operação e manutenção. Portanto, o total de custo de operação e manutenção com o gasto de energia elétrica é de R\$ 2.155,00.

5.3.2 Cálculos do Sistema Diesel

O investimento inicial é basicamente o valor do motor-bomba que foi estimado em R\$ 4.500,00. O custo de manutenção é o consumo anual de combustível que foi calculado segundo a fórmula a seguir:

$$CC = P * t * Ld * Cm$$

onde: P = potência do motor diesel em cv = 2,5 (potência trabalhada);

t = tempo de funcionamento ao ano em h = 1.800;

Ld = preço do óleo diesel em R\$/l = 0,787;

Cm = consumo do motor = 0,26 l/h

RPS = índice de preço social do diesel = 0,73

Assim:

$$CC = 2,5 * 1.800 * 0,787 * 0,26 * 0,73 = R\$ 672,18$$

O custo de operação e manutenção fica em torno de R\$ 1.812,00 referente ao salário anual do operador, com R\$ 700,00 referente ao desgaste de peças formando um total de R\$ 2.512,00. Portanto, o custo operacional e de manutenção que ficou em R\$ 2.512,00 (custo operação/manutenção) mais R\$ 672,18 (custo com combustível) perfaz um montante de R\$ 3.184,18.

5.3.3 Cálculos do Sistema Solar Fotovoltaico

O investimento inicial do sistema fotovoltaico é de R\$ 9.651,04,00 (com instalação) correspondente a soma de R\$ 9.151,04,00 relativos a 12 placas solares e R\$ 500,00 referentes ao motor-bomba (em anexo).

O custo de manutenção é o valor relativo ao pagamento de salários a um operador, de R\$ 1.812,00 anuais, já que sua manutenção se limita apenas na limpeza das placas, para que absorva o máximo de radiação solar. Incluindo, a este valor, o preço social do trabalho rural que é de 0,6, para este trabalho. Nesse caso o custo de manutenção passa a ser igual a R\$ 1087,20. O custo de manutenção da bomba, neste trabalho, é considerada irrelevante, em valores nominais.

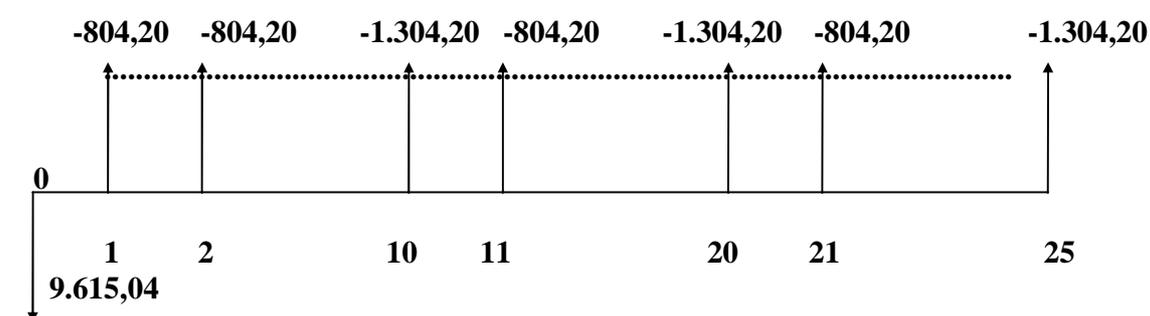
5.4 CÁLCULO DOS INDICADORES PARA ANÁLISE DE PROJETO

Os cálculos foram feitos de forma que os custos (despesas) totais do projeto tomam como base os sistema solar fotovoltaico. Já os benefícios (receitas) totais entram no cálculo como valores não pagos pela energia, no período analisado (benefícios diretos); e com a melhoria da qualidade de vida da população (benefícios indiretos), que, neste trabalho, é representada pela redução nos casos de diarreia. Estudo feito recentemente estimou que, o simples acesso a água corrente reduz em 1,94% os casos de diarreia por semana. Isso gera uma redução nos custos com internação, medicamentos, honorários médicos, enfermaria, etc, em média, no valor de US\$ 13,50 (dólar a R\$ 2,00 no momento) per capita, ao ano. Portanto, em uma população de 125 pessoas o estado terá uma redução nos custos, em média, de R\$ 3.142,80, ao ano. (Carrera, Garrido, 2000)

5.4.1 Valor Presente Líquido

De acordo com o fluxo de caixa apresentado (Seção 4) e os dados presentes na tabela 5.3.1 pode-se calcular o Valor Presente Líquido (VPL) deste projeto, que adota como base a Taxa de Mínima de Atratividade (TMA) de 12% para uma análise privada e de 14% para uma análise social (em anexo).

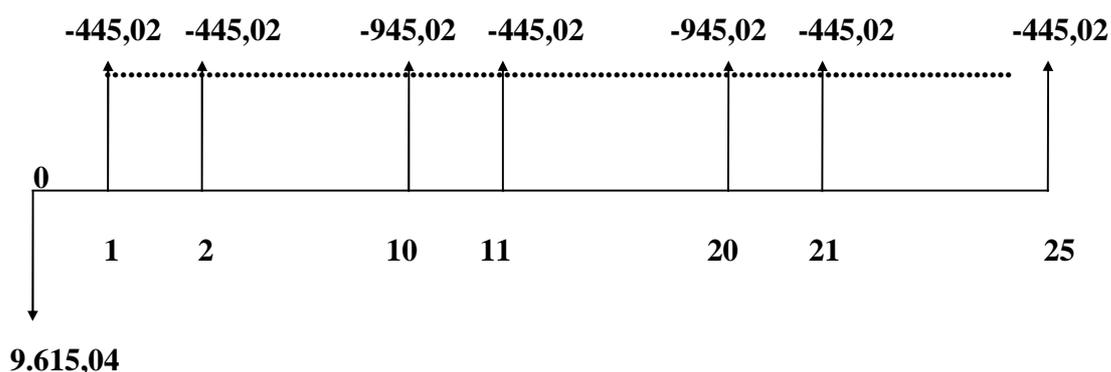
FLUXO DE CAIXA 1



$$VPL_{FXC} = (9.651,04) + \frac{-804,20}{(1+0,12)^1} + \dots + \frac{-1.304,20}{(1+0,12)^{10}} + \frac{-804,20}{(1+0,12)^{11}} + \dots + \frac{-1.304,20}{(1+0,12)^{25}}$$

$$VPL_{FXC} = \mathbf{R\$ -14.438,67}$$

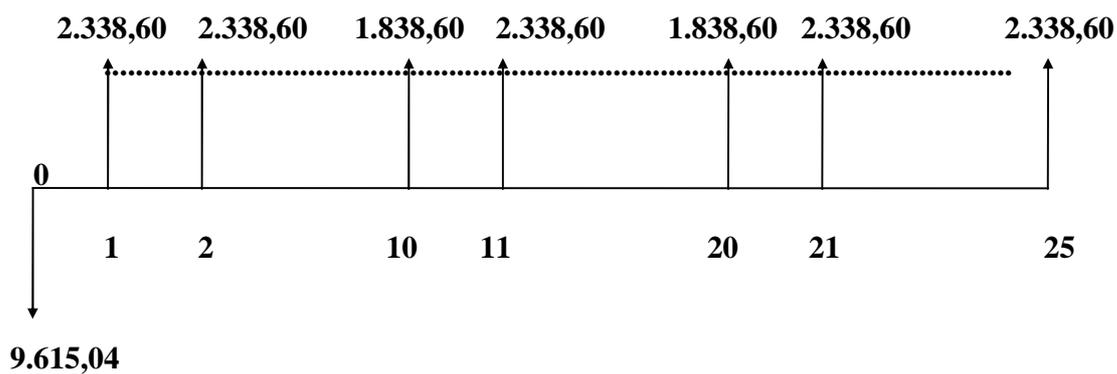
FLUXO DE CAIXA 2



$$VPL_{FXD} = (9.651,04) + \frac{-445,02}{(1+0,12)^1} + \dots + \frac{-945,02}{(1+0,12)^{10}} + \frac{-445,02}{(1+0,12)^{11}} + \dots + \frac{-445,02}{(1+0,12)^{25}}$$

$$VPL_{FXD} = \text{R\$ } -11.923,41$$

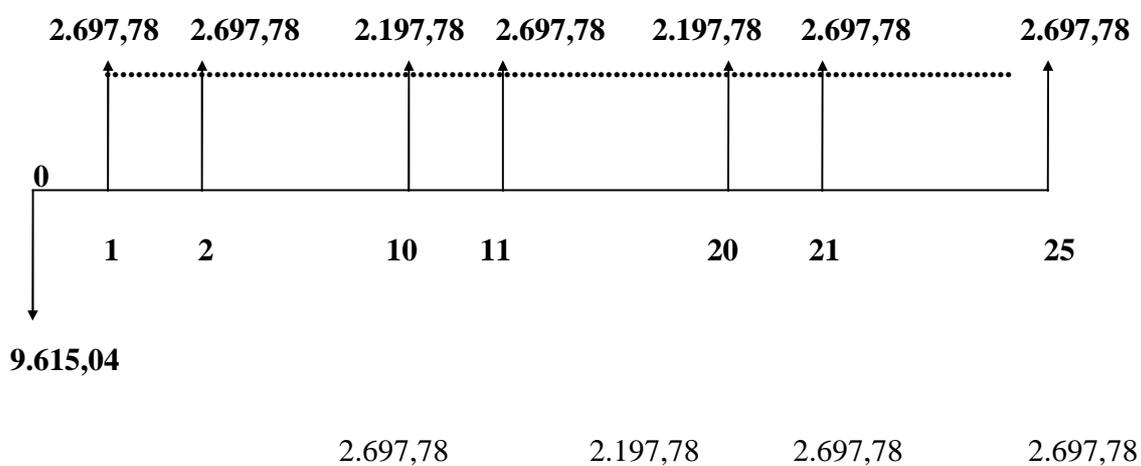
FLUXO DE CAIXA 3



$$VPL_{FXD} = (9.651,04) + \frac{2.338,60}{(1+0,14)^1} + \dots + \frac{1.838,60}{(1+0,14)^{10}} + \frac{2.338,60}{(1+0,14)^{11}} + \dots + \frac{2.338,60}{(1+0,14)^{25}}$$

$$VPL_{FXC} = \text{R\$ } 5.483,10$$

FLUXO DE CAIXA 4



$$VPL_{FXD} = (9.651,04) + \frac{\quad}{(1+0,14)^1} + \dots + \frac{\quad}{(1+0,14)^{10}} + \frac{\quad}{(1+0,14)^{11}} + \dots + \frac{\quad}{(1+0,14)^{25}}$$

$$VPL_{FXD} = \mathbf{R\$ 7.648,56}$$

5.4.2 Taxa Interna de Retorno

Partindo do Fluxo de Caixa apresentado na seção anterior, calcula-se a Taxa Interna de Retorno (TIR) para este projeto; cujas definições encontram-se na Seção 4.

$$(9.651,04) + \frac{2.338,60}{(1+r^*)^1} + \dots + \frac{1.838,60}{(1+r^*)^{10}} + \frac{2.338,60}{(1+r^*)^{11}} + \dots + \frac{2.338,60}{(1+r^*)^{25}} = 0$$

$$\mathbf{TIR_{FXC} = 24,0\%}$$

$$(9.651,04) + \frac{2.697,78}{(1+r^*)^1} + \dots + \frac{2.197,78}{(1+r^*)^{10}} + \frac{2.697,78}{(1+r^*)^{11}} + \dots + \frac{2.697,78}{(1+r^*)^{25}} = 0$$

$$\mathbf{TIR_{FXD} = 27,8\%}$$

Como é possível observar só foi possível analisar a TIR nos modelos em que a Taxa Mínima de Atratividade (TMA) tinha um valor social. Este índice só pode ser calculado quando os seus valores cruzam o ponto zero caso contrário é impossível estima-lo (ver anexo 1 e 2).

5.4.3 Benefício-Custo

E por fim, a Relação Benéfico-Custo (ver Seção 4) que é a relação entre o valor presente dos benefícios e o valor presente dos custos e que deve apresentar um resultado maior que a unidade, fiou assim:

1. Na primeira análise, entre o sistema fotovoltaico e o convencional o índice ficou bem abaixo da unidade ($B/C_1 = 0,13$). O que representa uma superação dos custos sobre os benefícios.

2. Na segunda análise, entre o sistema fotovoltaico e o diesel o índice também ficou bem abaixo que a unidade ($B/C_2 = 0,30$). Representando um custo superior aos benefícios.

3. Na terceira análise, entre o sistema fotovoltaico e o convencional o índice ficou acima da unidade ($B/C_3 = 1,36$). O que representa uma viabilidade do projeto fotovoltaico pois seus benefícios ultrapassam os custos.

4. Na quarta e ultima análise, entre o sistema fotovoltaico e o diesel o índice apresenta um valor superior ao da unidade ($B/C = 1,50$). Demonstrando que o sistema fotovoltaico também é viável nesta situação.

Tabela 5.4: Resultados dos Cálculos dos Índices

jan, 2001				
	Privada		Social	
	F x C	F x D	F x C	F x D
VPL	R\$ -14.438,67	R\$ -11.923,41	R\$ 5.483,10	R\$ 7.648,56
TIR	-	-	24,0%	27,8%
B/C	0,13	0,28	1,36	1,50

6. CONCLUSÃO

De acordo com o exposto, neste trabalho, observa-se uma vantagem econômica do Sistema Solar Fotovoltaico para bombeamento de água, dentro dos parâmetros delimitados, em relação as outras duas alternativas. Porém a escolha por qualquer um dos sistemas não é uma questão puramente econômica. Aspectos ambientais ou, até mesmo, a própria iniciativa de arriscar um investimento em uma nova tecnologia, que se mostre bastante promissora, certamente definirá qual a mais apropriada.

Nesta avaliação, observou-se que o sistema a diesel é o menos eficiente dos três. Também pode-se notar que, o sistema elétrico convencional apresenta-se mais viável em distâncias inferiores a 2,5 Km, da rede de distribuição. No entanto, é certo que quanto mais as localidades forem se distanciando da rede de distribuição sua eficiência a eficiência do sistema convencional tende a cair e seus custos aumentarem.

Neste estudo pode-se observar que a energia solar via células fotovoltaicas para bombeamento de água não se apresenta como um bom investimento para um projeto que visa apenas benefícios diretos (análise privada). Porém é bem aceito quando se busca uma análise de cunho social em que os benefícios, além de diretos, são principalmente notados na melhoria da qualidade de vida dos local (benefícios indiretos).

Com um mercado potencial enorme, da ordem de vinte milhões de pessoas sem acesso a energia elétrica; um freqüente uso ineficiente de diesel na produção de energia elétrica em sistemas descentralizados e no bombeamento para usos domésticos e/ ou na irrigação, com vários sistemas demonstrativos em operação, uma capacidade científica não desprezível, uma capacidade de produção ou acesso a tecnologia de um razoável nível de maturidade, a possibilidade de captação de recursos em diversas fontes, em particular através do Solar Initiative do Banco Mundial, do Programa de Apoio ao Pequeno Produtor (PAPP) e do Programa de Energias Renováveis (PROERN) do Banco do Nordeste do Brasil, do PRODEEM e PTU, e a existência de um número substancial de cooperativas agrícolas, de eletrificação rural, ONG's e associações agindo no meio rural sem restrições institucionais a venda do serviço da energização através de sistemas descentralizados demonstra que todas as condições para um uso disseminado das tecnologias das energias renováveis estão satisfeita e caracteriza a não existência de barreiras institucionais e financeiras a implantação destes sistemas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A M. Energia Solar Fotovoltaica. Laboratório de Microeletrônica da Escola Politécnica. São Paulo: USP, 1984.

BAHIA. COELBA. Órgão de Divulgação da Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia. Linha Direta. V.5, n. 45, 1995

BAHIA. Secretaria de Planejamento e Tecnologia. Sub-Secretaria de Ciência e Tecnologia. Potencial de Energia Solar do Estado da Bahia. Salvador, 1979, 68 p. il.

CALABI, Andréa Sandro. A Energia e a Economia Brasileira. São Paulo: Pioneira, 1983. 250p il.

CAPRA. Fritjof. O Ponto de Mutação. São Paulo: Cultrix, 1982, 447 p. il.

CARRERA, José, GARRIDO, Raymundo. Economia dos Recursos Hídricos: teoria, metodologia e estudo de caso. Salvador, 2000 (no prelo)

CHAMBOULEYROM, Ivan. Eletricidade Solar. Ciência Hoje. v.9, n. 54, 1989.

CONTADOR, Cláudio Roberto. Análise Social de Projetos. 2 ed, São Paulo: Atlas, 1997.

ECO, Humberto. Como se faz uma tese. São Paulo: Perspectiva, 1994. 170p. il.

FRAIDENRAICH, Naum, LYRA, Francisco. Energia Solar: Fundamentos e tecnologia de conversão heliotermoelétrica e fotovoltaica. Recife: Universitária da UFPE, 1995. 471 p. il.

FRAIDENRAICH, Naum, VILELA, O. C. Sistemas de Bombeamento Fotovoltaico para Abastecimento de Água em Comunidades Rurais. (Curso de Bombeamento de Água com Tecnologia Fotovoltaica - Resumos), Recife UFPE, 1994.

GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. Energy and Economic Myths. New York: Pergamon Press, 1976.

GODEMBERG, José. A Conservação de Energia. Ciência Hoje. v. 13, n. 73, 1991.

GREEN, M.A Solar Cells - Operating Principles, Technology and System Applications. Englewood Cliffs, NJ-USA: Prentice-Hall, 1982.

LOPES, A. B. Estudo de viabilidade econômica de sistemas de bombeamento d'água em regiões rurais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA: II SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE ENERGIA. Anais. Rio de Janeiro: UFRJ, 1996.

MUNRO, D. K., HACKER, R. J., THORNYCROFT, J. M. Grid connection of solar fotovoltaic generators. In: European Directory of Renewable energy Suppliers and Services. New York: James & James Science Publishers, 1994.

PALZ, W. Energia Solar e Fontes Alternativas. São Paulo: Hemus Livraria, 1981.

PEREIRA, Osvaldo Soliano. A Experiência Nacional na Disseminação de Energias Renováveis Solar e Eólica. CRESESB Informe. v. 1, n. 1, set. 1995.

POMERANZ, L. Elaboração e Análise de Projetos. São Paulo: Hucitec, 1985. 246p.

RAUSCHENBACH, H.S. Solar Cell Array Design Handbook. NY-USA: Van Nostrand Reinhold Company, 1980.

SALOMON, Délcio Vieira. Como Fazer uma Monografia. São Paulo: Martins Fontes, 1994. 294 p. il.

SALVADOR, M.J.Q. COELBA recebe equipamentos fotovoltaicos. Gazeta Mercantil, Salvador, 23 mar. 1995. Gazeta da Bahia p. 3.

SWEEDLER, A R. Photovoltaics: Assessment and Oportunities for Brazil. Center for Energy Studies. CA-USA: San Diego State University, 1984.

VERGARA, Sylvia Constant. Sugestões para Estruturação de um Projeto de Pesquisa. EBAP/DOC. - CAD. Pesq. 02/91. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas. 27 p.

WOLF, M. Historical Development of Solar Cells. Solar Cells. NY-USA: IEEE Press, 1976.

ZAKON, Abraham, ROUSE, Colim Gram. Vidros e Energia Solar: Alternativa e Interação Tecnológica. Ciência Hoje. v. 7, n. 42. mai. 1988.

ANEXO