

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS NO BRASIL: ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella¹
Carla Kazue Nakao Cavaliero²
Ennio Peres da Silva³

RESUMO

A Lei nº 10.438/02 estabeleceu o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, único programa nacional a estimular as fontes renováveis alternativas, com o intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos a partir das fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas – PCHs e biomassa no sistema interligado nacional. Posteriormente, o PROINFA foi revisado pela Lei nº 10.762/03 e alterou em sua regulamentação a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos, que em sua primeira etapa passou a corresponder a 60% do custo total da construção dos projetos contemplados. A energia solar fotovoltaica não foi contemplada pelo Programa, e o objetivo deste trabalho é estimar o índice de nacionalização para cada um dos três sistemas fotovoltaicos selecionados para estudo (sistema de bombeamento de água, sistema de eletrificação rural e sistema conectado à rede elétrica). Para elaboração desse cálculo foi efetuada uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA e considerados somente os custos dos principais equipamentos e não dos serviços. Os resultados obtidos permitiram concluir que os sistemas de bombeamento de água e de eletrificação rural são sistemas que 5% e 35%, respectivamente, dos seus equipamentos já são disponibilizados pela indústria nacional. O mesmo não ocorre com os sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica, que

1 Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas – DCAT, Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA. Av. Francisco Mota, 572 - Costa e Silva – CEP: 59.625-900, Mossoró/RN. Email: fkv@ufersa.edu.br

2 Departamento de Energia – Faculdade de Engenharia Mecânica – UNICAMP. Rua Mendeleiev, s/n – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” – Barão Geraldo – Cx. Postal 6122, CEP: 13083-970 – Campinas/SP. Tel: +55 19 3521-3262/3269. Email: cavaliero@fem.unicamp.br

3 Departamento de Física Aplicada – Instituto de Física “Gleb Wataghin” – UNICAMP Rua Sérgio Buarque de Holanda, s/n – Cidade Universitária “Zeferino Vaz” – Barão Geraldo – Cx. Postal 6039, CEP: 13083-970 – Campinas/SP. Tel: + 55 19 32891860. Email: lh2ennio@ifi.unicamp.br



atualmente tem 100% dos seus principais equipamentos importados.

Palavras-chave: Energia Solar Fotovoltaica, Sistemas Fotovoltaicos, Índice de Nacionalização, PROINFA, Fontes Renováveis Alternativas.

ABSTRACT

The Law nº 10.438/02 established the Program of Incentives for Alternative Electric Power Sources – PROINFA, which is the only national program aimed to foster alternative renewable energy sources and to increase the share of electric energy production from enterprises based on wind power, small hydropower plants and biomass in the interconnected national power grid. PROINFA was later modified by the Law nº 10.762/03 which revised the regulation imposing a minimum nationalization index of services and equipment that in its first stage corresponded to 60% of the total cost of the selected projects. Solar photovoltaic power was not included in PROINFA and because of that the objective of this thesis is to estimate the nationalization index of each of the following photovoltaic systems selected for the study: water pumping PV system, rural electrification PV system and grid-connected PV system. In order to carry out the calculations, the methodology used at PROINFA was adapted and only the costs of the key equipment, not the services, were considered. The results led to the conclusion that the water pumping and the rural electrification systems are those in which 5% and 35%, respectively, equipment is already made available by the national industry. The same is not verified for the grid-connected PV systems in which 100% of the key equipment is imported.

Keywords: Photovoltaic Solar Energy, Pv Systems, Nationalization Index, Proinfa, Alternative Renewable Energy

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, alguns programas foram desenvolvidos com o objetivo de estimular o uso de fontes renováveis alternativas, porém poucos incluíram também os sistemas fotovoltaicos, já que seus custos de geração são relativamente mais elevados que as demais fontes alternativas.

O maior programa nacional de estímulo à energia solar fotovoltaica foi o Programa de Desenvolvimento Energético de Estados e Municípios – PRODEEM⁴. Tal Programa instalou aproximadamente 9 mil sistemas fotovoltaicos nas cinco fases de geração de energia e bombeamento de água, e na fase emergencial apenas de sistemas fotovoltaicos de bombeamento de água. Os sistemas foram instalados de junho de 1996 a dezembro de 2001 e implantados em todos os 26 estados brasileiros, especialmente nas regiões Nordeste (semi-árido) e Norte (Amazônia).

A quantidade de sistemas fotovoltaicos instalados no âmbito do PRODEEM justificaria por si só um estímulo ao desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos. No entanto, a opção na época foi a realização de licitações internacionais para a aquisição de kits fotovoltaicos. Assim, praticamente todos os equipamentos utilizados foram importados, ou seja, não havendo nenhum estímulo ao desenvolvimento da indústria nacional.

Com a crise de energia elétrica no país vivida em 2001, a diversificação das fontes de energia passou a ter grande importância, trazendo novamente as fontes renováveis alternativas de energia ao centro das atenções. Neste contexto, através da Lei nº 10.438 foi estabelecido o Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA, com o intuito de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos a partir das fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas – PCHs e biomassa no sistema interligado nacional.

Apesar da energia solar fotovoltaica não ter sido contemplada pelo PROINFA, na própria Lei nº 10.438/02 há um dispositivo sobre a utilização dos recursos da Reserva Global de Reversão - RGR⁵ para um Programa de

4 O PRODEEM foi estabelecido pelo Governo Federal brasileiro através de um Decreto Presidencial de dezembro de 1994, com o objetivo de promover o suprimento de energia às comunidades rurais de baixa renda localizadas distantes da rede elétrica convencional. O Programa foi coordenado pelo Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético - DNDE, do Ministério de Minas e Energia - MME, e tinha como responsável técnico o Centro de Pesquisas de Energia Elétrica - CEPEL, subsidiária das Centrais Elétricas Brasileiras - ELETROBRÁS, cujas atribuições incluía determinar as especificações dos equipamentos para as licitações, realizar a avaliação de projetos, treinamento técnico de pessoal, estabelecimento dos padrões de instalação, verificação/inspeção de instalações, análise de desempenho e de falhas, etc.

5 Foi instituída pela Lei nº 5.655, de 20 de maio de 1971, "com a finalidade de prover recursos para reversão, encampação, expansão e melhoria dos serviços públicos de energia elétrica", conforme consta do art. 4º da Lei. Com a redação dada pela Lei nº 8.631, de 20 de março de 1993, e a sua cobrança, que deveria terminar em 2002, foi prorrogada até o ano de 2010, conforme estabelecido pela Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002.



fomento a essa tecnologia. De forma indireta poder-se-ia dizer que este dispositivo estaria sendo atendido, pois o Programa Luz para Todos⁶ – LPT, programa federal iniciado em 2004 com o objetivo de acabar com a exclusão do acesso a energia elétrica no país, é o maior beneficiário dos recursos da RGR, havendo uma grande oportunidade para a tecnologia solar fotovoltaica ser aplicada, em especial na Região Amazônica e no semi-árido (PORTO, 2007). Inclusive, o Plano Nacional de Mudanças Climáticas - PNMC (2008) sugere o aproveitamento do Programa LPT como uma oportunidade de inserção da indústria fotovoltaica brasileira no mercado, e, desta forma, o Programa serviria como auxílio inicial de fomento à criação de um parque industrial competitivo de sistemas fotovoltaicos. No entanto, os poucos projetos que contemplam o uso da energia solar fotovoltaica no âmbito do LPT não permitem considerá-lo também um programa de fomento a esta tecnologia.

Analisando ainda a efetividade dos mecanismos regulatórios em fomentar o uso de sistemas com fontes alternativas, pode-se constatar que, o PROINFA tem também como grande mérito incluir na sua regulamentação a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos. Para a primeira fase esse índice é de 60% do custo total de construção dos projetos e para a segunda fase passa a 90% (MME, 2006a).

O valor do índice de nacionalização adotado pelo PROINFA, em sua primeira fase, foi um pouco maior do que o grau de nacionalização já existente no Brasil, para as tecnologias consideradas, mas como estava sendo criada uma demanda, exigiu-se uma contrapartida da indústria em benefício do país (PORTO, 2007).

Considerando a importância da criação de um mecanismo específico de estímulo ao uso da energia solar fotovoltaica e seguindo a mesma linha de raciocínio adotada no PROINFA, um índice de nacionalização para esta fonte determina a demanda a ser criada, que assim como a primeira fase do PROINFA, deve ser relativamente superior ao índice calculado, visando promover o desenvolvimento da indústria nacional. Objetivamente, a determinação de um índice de nacionalização para os sistemas fotovoltaicos, deve restringir a importação de equipamentos, evitando, mais uma

⁶ Programa coordenado pelo Ministério de Minas e Energia com participação da ELETROBRÁS e de suas empresas controladas. A meta inicial do Luz Para Todos era atender 12 milhões de domicílios, sendo 2 milhões em áreas urbanas e 10 milhões em áreas rurais. Segundo a Empresa de Pesquisa Energética - EPE, desses 10 milhões já foram atendidos 7,5 milhões de residências. No entanto, o executivo avaliou que essa meta da região rural já aumentou em cerca de dois ou três milhões de domicílios.

vez, que seja implantado um Programa que não tenha entre suas prioridades estimular a indústria nacional do setor, como ocorrido no PRODEEM.

Assim, o presente trabalho, tem como objetivo apresentar resultados de uma pesquisa realizada por Varella (2009), com a finalidade de estimar o índice de nacionalização para três sistemas fotovoltaicos analisados (sistema de bombeamento de água, sistema de eletrificação rural e sistema conectado à rede elétrica), pois acredita-se que a determinação de um índice de nacionalização para os sistemas fotovoltaicos será de fundamental relevância em um programa brasileiro de incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica, estimulando diretamente a indústria nacional de equipamentos e trazendo benefícios sociais, econômicos e ambientais importantes para a sociedade.

2. METODOLOGIA APLICADA

Para definir a metodologia a ser aplicada no trabalho foram realizadas algumas pesquisas com o intuito de se conseguir localizar experiências bem sucedidas em outros países que utilizassem uma metodologia para determinar um índice de nacionalização de sistemas fotovoltaicos. Como não se obteve êxito, pois os países com a tecnologia solar fotovoltaica bem estabelecida não têm explícito entre suas metas, em seus respectivos programas de incentivo, estimular a indústria nacional através da determinação de um índice para equipamentos e serviços, optou-se por fazer uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA. Vale lembrar que como foram consideradas três aplicações de sistemas fotovoltaicos no Brasil definiu-se um índice de nacionalização para cada sistema.

2.1. Metodologia do PROINFA

O PROINFA é um programa de incentivo às fontes alternativas de geração de energia elétrica e em sua primeira etapa incentiva a indústria nacional com a obrigatoriedade de um índice mínimo de nacionalização de serviços e equipamentos de 60% do custo total de construção dos projetos contemplados.

Para elaboração deste cálculo e comprovação do atendimento ao índice de nacionalização foi adotado o padrão da Agência Especial de Financiamento Industrial – FINAME quanto aos equipamentos e serviços,



conforme o documento intitulado “Critérios e Instruções para Cálculo de Índices de Nacionalização de Equipamentos e Serviços dos Empreendimentos do PROINFA” (PORTARIA MME nº 86, 2007).

A Portaria MME nº 86/2007, de 25 de maio de 2007, que regula o cálculo do grau de nacionalização de 60% para equipamentos e serviços dos empreendimentos construídos, apresentou em seu Anexo I a fórmula para elaboração deste cálculo.

O índice de nacionalização em valor (Iv), na primeira etapa do Programa, deve ser calculado pela Equação (1):

$$Iv = 1 - \left(\frac{X}{Y} \right) \cdot 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

X = valor dos componentes importados, composto pelo somatório das seguintes parcelas:

(a) Valor FOB⁷ dos componentes importados diretamente pelo fabricante e incorporados ao equipamento, acrescido do frete, do seguro de transporte e do Imposto de Importação, convertido em reais pela taxa de câmbio;

(b) Valor FOB dos componentes importados diretamente pela compradora e incorporados ao equipamento, acrescido do frete, do seguro de transporte e do Imposto de Importação, convertido em reais pela taxa de câmbio;

(c) Valor dos componentes importados por terceiros e adquiridos no mercado interno pela fabricante, excluindo-se Imposto sobre Produtos Industrializados - IPI e Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços – ICMS:

(i) quando o valor do frete for contratado com navio de bandeira brasileira, em moeda nacional, terá seu valor deduzido das respectivas parcelas acima e incorporado aos custos dos serviços nacionais;

⁷ O termo FOB - Free on Board (livre a bordo) significa que o exportador entrega as mercadorias quando elas transpõem a amurada do navio no porto de embarque nomeado. É o chamado transporte não pago.

(ii) quando o seguro for contratado com seguradora brasileira, em moeda nacional, terá seu valor deduzido das respectivas parcelas acima e incorporado aos custos dos serviços nacionais;

(d) Valor dos serviços contratados no exterior, em moeda estrangeira, excluídos os impostos; e

(e) Taxas e outras despesas pagas em moeda estrangeira, excluídos os impostos.

Y = Valor composto pelo somatório das seguintes parcelas:

(a) Valor dos componentes importados (X);

(b) Valor dos componentes nacionais, adquiridos no mercado interno, excluindo-se IPI e ICMS;

(c) Valor dos serviços contratados no Brasil, em moeda nacional, excluídos os impostos; e

(d) Taxas, aluguéis e demais despesas em moeda nacional, excluídos os impostos.

2.2. Adaptação da Metodologia do Proinfa

Conforme supracitado, para a determinação do índice de nacionalização dos equipamentos pertencentes aos sistemas fotovoltaicos considerados foi efetuada uma adaptação da metodologia utilizada pelo PROINFA. Para tanto, o índice aqui definido inclui somente os equipamentos e não os serviços.

O cálculo utilizado segue o mesmo princípio do PROINFA e a fórmula utilizada é a mesma, porém para simplificar os critérios estabelecidos no item 2.1, o índice de nacionalização em valor foi calculado considerando-se:

X = valor unitário dos equipamentos importados, excluindo-se IPI e ICMS.

Y = valor total do sistema fotovoltaico (somatório de todos os equipamentos do sistema), excluindo-se IPI e ICMS.



3. DESCRIÇÃO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS ANALISADOS E ESTIMATIVA DO ÍNDICE DE NACIONALIZAÇÃO

Para calcular o índice de nacionalização, objetivo principal deste trabalho, foram selecionados três sistemas fotovoltaicos, sendo um para cada uma das três aplicações.

Considerou-se conveniente selecionar estes sistemas, pois cada sistema fotovoltaico (bombeamento de água, eletrificação rural e conectado à rede elétrica) tem suas especificidades. Assim, obteve-se ao final três índices diferentes, ou seja, um para cada aplicação.

Os sistemas escolhidos para esta análise, bem como a justificativa pela escolha dos mesmos, são mostrados nos itens 3.1, 3.3 e 3.5.

Escolhidos os três sistemas fotovoltaicos propostos, realizou-se uma cotação para cada um dos sistemas com seus respectivos equipamentos. Essa cotação foi realizada através de consulta a alguns revendedores que atuam no mercado nacional, e desta forma foi possível estimar o índice de nacionalização para cada um dos sistemas, como pode ser visto nos itens 3.2, 3.4 e 3.6.

3.1. Sistemas Fotovoltaicos para Bombeamento de Água: Sistema Proposto

O sistema fotovoltaico de bombeamento de água selecionado para análise foi instalado pelo PRODEEM e está localizado no assentamento Palú no município de Presidente Bernardes às margens da rodovia que comunica as cidades de Presidente Prudente e Mirante Paranapanema. Este sistema foi revitalizado através do Plano de Revitalização e Capacitação – PRC⁸.

As características técnicas do sistema fotovoltaico de bombeamento de água antes e após a revitalização são apresentadas na Tabela 1.

⁸ Em 2002, o Tribunal de Contas da União – TCU elaborou um relatório de auditoria de natureza operacional, objetivando avaliar o resultado dos objetivos estratégicos do PRODEEM. Tal relatório culminou com a aprovação do Acórdão TCU no 598/03, em maio de 2003, que recomendou uma reestruturação completa do programa e determinou que se implantasse um controle patrimonial adequado. Em julho de 2003, teve início o processo de concepção do Plano de Revitalização e Capacitação – PRC.

Tabela 1 - Características técnicas do sistema de bombeamento de água original e revitalizado

| | Sistema original | Sistema revitalizado |
|-----------------------------|-------------------------|-----------------------------|
| Gerador fotovoltaico | 16 módulos KC 80 | 40 módulos KC 80 |
| Configuração | 8 série x 2 paralelo | 20 série x 2 paralelo |
| Potência máxima instalada | 1.280 Wp | 3.200 Wp |
| Posicionamento da motobomba | 72 m | 54 m |
| Reservatório (7,5 m) | 7.500 l | 7.500 l |
| Motobomba | SCS10-230 | BMSAF407/ 2-13/ 2 CV |
| Condicionador de potência | Booster PCB 8-90B | CFW08 plus |

O sistema de bombeamento de água proposto, conforme mostra a Figura 1, é constituído por um arranjo com 40 módulos fotovoltaicos com potência de 80 Wp cada, totalizando 3.200 Wp.



Fonte: Brito⁹, 2006.

Figura 1 - Instalação fotovoltaica do sistema de bombeamento fotovoltaico proposto

⁹ O trabalho de Brito (2006) dedica atenção à otimização do acoplamento de geradores fotovoltaicos a motores de corrente alternada através de conversores de frequência comerciais, para acionar bombas centrífugas para fins de bombeamento de água. Os resultados mostrados comprovam que este novo tipo de configuração é confiável e economicamente viável, podendo ser adotada como uma solução universal para sistemas de bombeamento de água que utilizam motobombas com potência igual ou superior a 1/2 CV.



Os módulos utilizados no sistema são da marca japonesa Kyocera modelo KC80, a motobomba é da marca nacional Somar, no modelo BM-SAF407/2-13/2 CV, e o conversor de frequência é da marca nacional Weg, no modelo CFW08 plus. Estes equipamentos estão listados na Tabela 2.

Tabela 2 - Equipamentos do sistema de bombeamento de água proposto

| Equipamento | Quantidade (Und.) |
|---------------------------|-------------------|
| Módulo fotovoltaico 80 Wp | 40 |
| Conjunto motobomba 2 CV | 01 |
| Conversor de frequência | 01 |

Fonte: Brito, 2006.

3.2. Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico para Bombeamento de Água

Para esse sistema, apenas os módulos fotovoltaicos¹⁰ não são fabricados nacionalmente. A Tabela 3 apresenta as informações sobre os respectivos custos.

Tabela 3 - Custo do sistema fotovoltaico para bombeamento de água

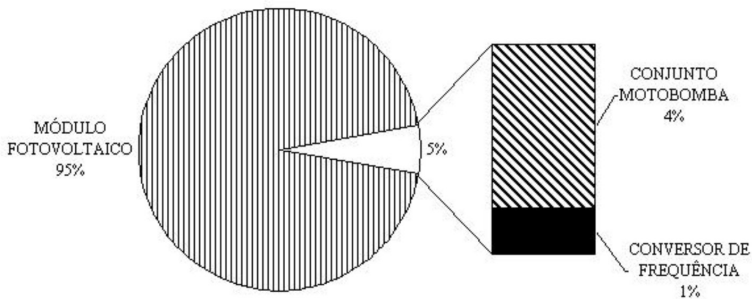
| Equipamento | Quantidade (Und.) | Preço médio unitário* (R\$) | Preço total (R\$) |
|---------------------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| Módulo fotovoltaico 80 W _p | 40 | 1521,00 | 60.840,00 |
| Conjunto motobomba 2 CV | 01 | 2738,50 | 2.738,50 |
| Conversor de frequência | 01 | 759,13 | 759,13 |
| Preço total sistema | - | - | 64.337,63 |

Fonte: Varela, 2009.

* Cotação realizada em novembro de 2008 com alguns revendedores.

Os dados da Tabela 3 evidenciam o quanto a participação do módulo fotovoltaico é relevante e onera o sistema, equivalendo nesta situação a 95% do custo total do sistema orçado, mesmo com a utilização do conjunto motobomba e conversor de frequência de fabricação nacional. Assim, conclui-se que atualmente o índice de nacionalização correspondente é de apenas 5%, conforme verifica-se na Figura 2.

10 No Brasil não há fabricante nacional de módulos fotovoltaicos, sendo o mercado dominado por empresas multinacionais, tais como Kyocera Solar (Japão), Shell Solar (Holanda), Siemens (Alemanha), Conergy (Alemanha), Isofotón (Espanha) e Atersa (Espanha).



Fonte: Varella, 2009.

Figura 2 - Custo do sistema fotovoltaico completo para bombeamento de água, em Porcentagem

Apesar da definição do índice de nacionalização de 5% mostrado na Figura 2, é importante lembrar que o sistema de bombeamento de água aqui analisado é apenas um exemplo proposto para o cálculo do índice, pois o dimensionamento de um sistema é realizado de acordo com a quantidade de água prevista para uso que satisfará às necessidades do usuário, as características do poço, a altura manométrica, as características da insolação local e outras circunstâncias do projeto. Assim, não há como determinar um único índice, mas há como prevê-lo para cada caso específico.

3.3. Sistema Fotovoltaico para Eletrificação Rural: Sistema Proposto

A literatura pesquisada aponta como pequenos sistemas fotovoltaicos individuais domiciliares para eletrificação rural, também conhecidos como Solar Home System – SHS, aqueles que satisfaçam as necessidades elétricas básicas de uma residência, como por exemplo, suprir as necessidades de iluminação e de alguns periféricos (televisão, rádio, entre outros) (COSTA, 1998; OLIVER & JACKSON, 2002).

Normalmente estes sistemas consistem de um kit com módulos fotovoltaicos com potência variando de 50 a 150 Wp, gerando corrente elétrica contínua armazenada em baterias de 105 a 220 Ah (COSTA, 1998; OLIVER & JACKSON, 2002; CRESESB, 2005).

Através da literatura e consulta com alguns revendedores, definiu-se para esta análise o sistema proposto, mostrado na Tabela 4.



Os periféricos que podem ser ligadas a este sistema, utilizando o módulo fotovoltaico de 150 Wp, são um conjunto de iluminação com 8 lâmpadas fluorescentes compactas até 11 W cada, ligadas até 2 horas por dia, um rádio gravador de pequena potência, uma televisão, por até 3h/dia (SOLENERG, 2007).

Tabela 4 - Equipamentos do sistema de eletrificação rural proposto

| Equipamento | Quantidade (Und.) |
|----------------------------|-------------------|
| Módulo fotovoltaico 150 Wp | 01 |
| Controlador de carga 10 A | 01 |
| Inversor de corrente 400 W | 01 |
| Bateria 220 Ah | 01 |

Fonte: Varella, 2009.

*Elaborada a partir de Costa (1998), CRESESB (2005) e SOLENERG (2007).

Em setembro de 2004, através da Resolução Normativa nº 83/2004, a ANEEL regulamentou o uso dos Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes - SIGFI's. Uma das principais características obrigatórias aos SIGFI's implantados é que deverá enquadrar-se em uma das cinco classificações de atendimento, conforme mostra a Tabela 5 (Artigo 3º, inciso II, f.3) (ANEEL, 2004).

Tabela 5 - Classificação de atendimento dos SIGFI

| Classes de atendimento | Consumo diário de referência (Wh/dia) | Autonomia mínima (dias) | Potência mínima disponibilizada (W) | Disponibilidade mensal garantida (kWh) |
|------------------------|---------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------|--|
| SIGFI13 | 435 | 2 | 250 | 13 |
| SIGFI30 | 1000 | 2 | 500 | 30 |
| SIGFI45 | 1500 | 2 | 700 | 45 |
| SIGFI60 | 2000 | 2 | 1000 | 60 |
| SIGFI80 | 2650 | 2 | 1250 | 80 |

Fonte: ANEEL, 2004.

No Artigo 2º, inciso XV, em ANEEL (2004), o SIGFI¹¹ é definido como sendo um sistema de geração de energia elétrica implantado por conces-

11 As características obrigatórias aos SIGFI's implantados podem ser verificadas na Resolução Normativa nº 83/2004 da ANEEL.

sionária ou permissionária de distribuição de energia elétrica, utilizando exclusivamente fonte de energia intermitente para o fornecimento a unidade consumidora única, constituído basicamente de um sistema de geração, um sistema de acumulação e um sistema condicionador de potência.

Atualmente há duas concessionárias de energia no Brasil que estão instalando SIGFI no Programa LPT, que são a Companhia de Eletricidade do Estado da Bahia – COELBA e a Companhia Energética de Minas Gerais – CEMIG. Tal fato mostra que o SIGFI ainda não está devidamente consolidado no âmbito das empresas concessionárias de distribuição de energia e nem do próprio MME.

3.4. Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico para Eletrificação Rural

Para calcular o índice de nacionalização do sistema fotovoltaico para eletrificação rural proposto cotaram-se os equipamentos mostrados na Tabela 6.

Tabela 6 - Custo do sistema fotovoltaico para eletrificação rural

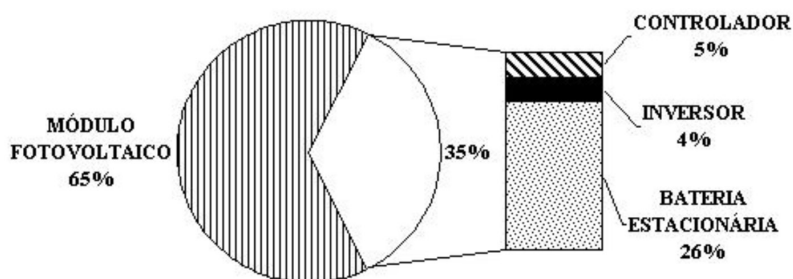
| Equipamento | Quantidade (Und.) | Preço médio unitário* (R\$) | Preço total (R\$) |
|----------------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| Módulo fotovoltaico 150 Wp | 01 | 2.496,2 | 2.496,2 |
| Controlador de carga 10 A | 01 | 183,43 | 183,43 |
| Inversor de corrente 400 W | 01 | 161,7 | 161,7 |
| Bateria 220 Ah | 01 | 1.020,77 | 1.020,77 |
| Preço total sistema | - | - | 3.862,1 |

Fonte: Varela, 2009.

* Cotação realizada em agosto de 2008 com alguns revendedores atuando no mercado nacional.

A Tabela 6 mostra que somente o gerador fotovoltaico equivale a aproximadamente 65% do custo total do sistema. Logo, como o único equipamento importado pertencente a este tipo de sistema é o módulo fotovoltaico, pode-se concluir que o índice de nacionalização para sistema fotovoltaico de eletrificação rural proposto é de 35%¹², conforme mostra a Figura 3.

¹² Da mesma forma que acontece com os sistemas de bombeamento de água, esse índice poderá ter uma variação de $\pm 5\%$, dependendo do preço dos equipamentos utilizados no sistema.



Fonte: Varella, 2009.

Figura 3 - Custo do sistema fotovoltaico completo para eletrificação rural, em Porcentagem

O índice aqui estimado poderá variar com sistemas maiores. Como os sistemas para eletrificação rural são modulares (podem ter quantidades variadas de módulos fotovoltaicos a depender da sua finalidade), dependendo da carga a ser atendida poderá haver um aumento da quantidade de módulos, variando conseqüentemente a potência e quantidade dos demais equipamentos.

Considerando que algumas concessionárias de energia elétrica estão instalando SIGFI's, decidiu-se estimar o índice de nacionalização dos sistemas instalados pela COELBA¹³, que tem avançado mais na instalação desses sistemas quando comparada às demais.

Em Silva Filho (2007), são apresentados o "dimensionamento e especificações técnicas dos primeiros 3 mil sistemas¹⁴ fotovoltaicos instalados pela COELBA¹⁵, em 2005, atendendo à classificação SIGFI 13¹⁶, com fornecimento de energia elétrica mensal de 13 kWh.

Através destes dados realizou-se uma cotação para os equipamentos utilizados nesses SIGFI's, como mostra a Tabela 7, e foi possível estimar

13 Segundo Silva Filho (2008) já foram instalados 12 mil sistemas e em 2008 pretende-se instalar mais 3 mil.

14 Informações mais detalhadas desses sistemas, tais como a escolha do local de instalação dos mesmos, cidades que foram atendidas, entre outras, podem ser consultadas em Silva Filho (2007).

15 Os sistemas que foram instalados pela COELBA seguiram o modelo de contratação do tipo *turn key*. Nesse tipo de contratação, a empresa contratada se responsabiliza pelo projeto, aquisição de equipamentos, instalação dos materiais e equipamentos, e orientação ao usuário sobre o funcionamento do sistema, ou seja, a empresa é responsável por fornecer todos as especificações da Resolução nº 83/04 da ANEEL.

16 O SIGFI 13 é dimensionado para fornecer mensalmente 13 kWh de energia elétrica.

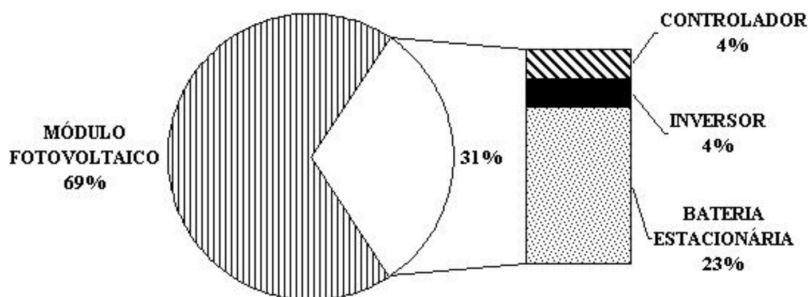
o índice de nacionalização para tal sistema, que pode ser visualizado na Figura 4.

Tabela 7 - Custo total do SIGFI 13 da COELBA

| Equipamento | Fabricante | Quantidade (Und.) | Preço Médio Unitário* (R\$) | Preço Total (R\$) |
|---|----------------------|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| Módulo fotovoltaico KC70 (70Wp) | Kyocera (Japão) | 02 | 1.333,00 | 2.666,00 |
| Controlador de carga, modelo TC1212, 12Vcc/12A | UNITRON (Brasil) | 01 | 174,20 | 174,20 |
| Inversor, potência de saída 300W, 12 Vcc/110Vca | SAMLEX (Canadá) | 01 | 161,70 | 161,70 |
| Bateria, modelo 12MC220 de 244Ah/100h, 12 V | Moura Clean (Brasil) | 01 | 887,56 | 887,56 |
| Preço total do sistema | - | - | - | 3.889,46 |

Fonte: Varela, 2009.

* Cotação realizada em agosto de 2008 com alguns revendedores atuando no mercado nacional.



Fonte: Varela, 2009.

Figura 4 - Custo do SIGFI 13 da COELBA, em Porcentagem

Apesar do inversor utilizado no sistema da COELBA ser de marca canadense, para o cálculo do índice considerou-se como sendo equipamento nacional, pois conforme supracitado há fabricante brasileiro de inversores.

Comparando o índice de nacionalização do sistema fotovoltaico para eletrificação rural proposto com o índice do SIGFI 13 da COELBA, ob-

servou-se que a diferença foi de apenas 4%. Outro ponto a ser observado e destacado é que o sistema de eletrificação rural proposto nesse trabalho é bem semelhante ao SIGFI 13 da COELBA, ou seja, teria condições de atender a Resolução nº 83/04 da ANEEL.

3.5. Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica: Projeto CPFL PD-28

No país há alguns projetos experimentais envolvendo sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica. No entanto, o projeto escolhido para análise foi o projeto de pesquisa em andamento na UNICAMP com a Companhia Paulista de Força e Luz – CPFL, o PD-28, no âmbito dos projetos de P&D da ANEEL, optou-se por selecioná-lo para definir o índice de nacionalização destes tipos de sistemas.

O PD-28 não envolve unicamente um sistema fotovoltaico, mas sim um sistema híbrido, ou seja, é um estudo da geração distribuída de energia elétrica através da implementação de três tipos de geração: célula a combustível alimentada com hidrogênio a partir da reforma de gás natural, microturbina a gás natural e módulos fotovoltaicos. Este Projeto está montado nas instalações do Laboratório de Hidrogênio – LH2, do Instituto de Física “Gleb Wataghin” da UNICAMP.

A instalação fotovoltaica do PD-28, conforme a Figura 5, é constituída por um arranjo de 60 módulos fotovoltaicos com potência de 125 Wp cada, totalizando 7,5 kWp.



Figura 5 - Instalação fotovoltaica do Projeto PD-28

Os módulos são da marca Kyocera modelo KC125TM e estão conectados eletricamente em série, em 3 grupos de 20 módulos. Cada grupo está conectado a um inversor para conexão à rede da marca SMA, modelo Sunny Boy 2500 U, que pode ser visualizado na Figura 6. A Tabela 8 mostra estes dados.



Figura 6 - Inversores Sunny Boy (SMA) instalados no PD-28

Tabela 8 - Equipamentos instalados no Projeto PD-28

| Equipamento | Quantidade (Und.) |
|--|-------------------|
| Módulo fotovoltaico 125 Wp | 60 |
| Inversor para sistema conectado à rede 2500U | 03 |

Fonte: Varella, 2009.

*Elaborada a partir de Camargo, 2007.

3.6. Índice de Nacionalização: Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede Elétrica

Conforme já mencionado, não há fabricantes nacionais para módulo fotovoltaico e inversor para sistema conectado à rede. Logo, no momento os equipamentos pertencentes aos sistemas conectados à rede são 100% importados. Isso quer dizer que atualmente, quando considerados os principais equipamentos deste tipo de sistema, não há índice de nacionali-

zação. A Tabela 9 mostra os custos unitário e total de cada equipamento e do sistema completo.

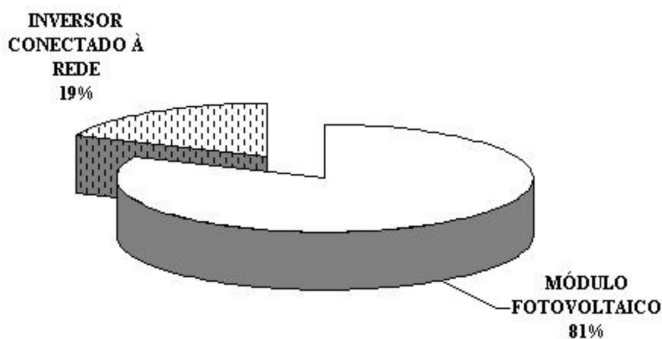
Tabela 9 - Custo sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica

| Equipamento | Quantidade (Und.) | Preço Médio Unitário* (R\$) | Preço total (R\$) |
|--|-------------------|-----------------------------|-------------------|
| Módulo fotovoltaico 125 W | 60 | 2.046,80 | 122.808,00 |
| Inversor para sistema conectado à rede 2500U | 03 | 9.359,00 | 28.077,00 |
| Preço total sistema | - | - | 150.885,00 |

Fonte: Varella, 2009.

* Cotação realizada em julho de 2007 com alguns revendedores atuando no mercado nacional.

Observa-se, na Tabela 9, que o índice correspondente ao inversor conectado à rede equivale a aproximadamente 19% do custo total do sistema e os módulos fotovoltaicos aos 81% restantes, conforme Figura 7.



Fonte: Varella, 2009.

Figura 7 - Custo do sistema fotovoltaico completo conectado à rede elétrica, em Porcentagem

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS E PERSPECTIVAS NO MÉDIO E LONGO PRAZO

A Tabela 10 resume os índices de nacionalização obtidos para os três sistemas fotovoltaicos.

Tabela 10 - Índices de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos analisado

| Sistema Fotovoltaico | Índice de Nacionalização (%) |
|---------------------------|------------------------------|
| Bombeamento de água | 5 |
| Eletrificação rural | 35 |
| Conectado à rede elétrica | 0 |

Fonte: Elaboração a partir dos resultados obtidos no item 3.

A análise dos três sistemas fotovoltaicos, bem como os índices de nacionalização estimados, revelaram que os equipamentos controlador de carga, inversor CC-CA, conjunto motobomba e bateria estão disponíveis nacionalmente, porém sofrem grande competição de empresas estrangeiras no mercado brasileiro.

No caso dos sistemas de eletrificação rural e bombeamento de água o único equipamento que não existe na indústria nacional é o módulo fotovoltaico. Sua contribuição no valor final de cada um destes dois sistemas é muito grande, ficando claro que os módulos fotovoltaicos são os equipamentos determinantes no índice de nacionalização. Já os sistemas conectados à rede não dispõem de nenhum dos seus dois principais equipamentos fabricados no Brasil, que são os inversores para conexão à rede elétrica e os módulos fotovoltaicos.

Como a tecnologia dos inversores CC-CA já está bem desenvolvida nacionalmente, acredita-se que tal fato possa facilitar o desenvolvimento e amadurecimento dos inversores CC-CA para conexão à rede elétrica possibilitando significativos avanços tecnológicos no país. Em comunicação pessoal com o Prof. Dr. Roberto Zilles¹⁷, em setembro de 2005, o mesmo informou que um grupo do Departamento de Energia Elétrica da Universidade Federal do Ceará – UFCE está desenvolvendo um inversor para sistemas conectados à rede elétrica utilizando tecnologia semelhante ao fabricante alemão SMA. Assim, considera-se aqui que no médio prazo este equipamento pode vir a ser fabricado no país e o sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica poderá atender um índice de nacionalização de cerca de 19%, que corresponderia ao inversor para conexão à rede elétrica fabricado no Brasil, mostrado no item 3.6. Esse índice também pode variar de 14 a 24%, quando se considera uma margem de erro de 5% devido à variação de orçamento, de custos, etc..

17 Informação obtida em uma visita ao IEE/USP.



Diferentemente dos inversores CC-CA para conexão à rede elétrica, para a fabricação de módulos fotovoltaicos é preciso um investimento inicial muito alto, que segundo Zanesco e Moehlecke (2008), é em torno de R\$ 50 milhões, o que equivaleria a uma fábrica produzindo aproximadamente 10 MW¹⁸ por ano inicialmente. Tratando-se de tamanho investimento inicial, o interesse em investir na indústria deste equipamento só será viável se for criada uma demanda que possua um horizonte mínimo capaz de possibilitar a amortização dos investimentos realizados. Assim, acredita-se que somente no longo prazo módulos fotovoltaicos poderão vir a ser produzidos no país.

Atualmente o CB-Solar, localizado no NT-SOLAR da PUCRS, está desenvolvendo uma planta-piloto com 200 módulos fotovoltaicos. Um dos resultados diretos desse projeto é o processo de fabricação de células solares e módulos fotovoltaicos em fase pré-industrial. Dessa forma, esse projeto representa a maior iniciativa de estímulo à pesquisa, desenvolvimento de novas tecnologias¹⁹ e formação de recursos humanos que se tem atualmente envolvendo as células fotovoltaicas e módulos fotovoltaicos no país. Mesmo assim, levará algum tempo para que tais módulos venham a ser fabricados em escala industrial, pois de acordo com os próprios coordenadores do Projeto, Zanesco e Moehlecke (2008), é necessário um alto investimento inicial.

Apesar da dificuldade em produzi-los, acredita-se que no médio prazo os módulos poderiam ser montados no Brasil, não sendo necessário importá-los prontos e montados. Para isso, seria necessário investir na capacitação de recursos humanos e na formação de boa competência nacional para a montagem dos módulos a partir das células. No entanto, acredita-se que isso somente ocorrerá se houver uma exigência contratual para que assim seja feito, como no caso de compras feitas por empresas ou instituições públicas.

Ainda pensando no longo prazo, o país poderia purificar o silício aqui mesmo, pois é um grande produtor de silício metalúrgico, o silício (mono e multicristalino) continuou sendo o material responsável por 90%

18 Este valor é a potência em módulos fotovoltaicos fabricados por ano, medida nas condições padrão internacionalmente estabelecidas: irradiância de 1000 W/m², espectro AM1,5G e temperatura do módulo a 25°C.

19 Segundo os Professores Adriano Moehlecke e Izete Zanesco, em contato pessoalmente na PUCRS, em 06 de novembro de 2008, ao longo das pesquisas desenvolvidas, durante o projeto, foram descobertas três novas tecnologias que aliam baixo custo e boa eficiência.

da produção mundial de células. Tal quadro mostra que a tecnologia do silício continuará dominando as aplicações fotovoltaicas nos próximos anos, apesar de novas tecnologias estarem sendo inseridas no mercado. A disponibilidade de silício purificado no mercado local certamente estimularia investimentos na fabricação de células e módulos fotovoltaicos. Segundo Zilles (2006), “é estratégico associar programas de incentivo ao uso de sistemas fotovoltaicos a programas de fomento à purificação do silício nacional”.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo estimar um índice de nacionalização, para cada sistema especificado, que possa vir a ser utilizado conjuntamente na elaboração de uma proposta de programa de estímulo nacional ao uso da energia solar fotovoltaica e à indústria brasileira desse setor. A motivação para o desenvolvimento da pesquisa se traduz nos diversos benefícios que a determinação destes índices pode proporcionar à sociedade, em termos de diversificação da matriz energética, não dependência à importação de equipamentos, geração de empregos, formação de recursos humanos, fácil manutenção e reposição de equipamentos, confiabilidade na tecnologia e redução dos impactos causados ao meio ambiente.

Os resultados obtidos permitiram concluir que esse objetivo foi atingido. De acordo com os mesmos, o sistema de bombeamento de água e de eletrificação rural são sistemas que 5% e 35%, respectivamente, dos seus equipamentos já são disponibilizados pela indústria nacional. De posse dos índices é possível saber com mais precisão qual a disponibilidade nacional dos equipamentos pertencentes às três aplicações estudadas, ou seja, são índices representativos nacionalmente.

Apesar desses resultados serem estimativas, pois foram considerados aqui determinados sistemas fotovoltaicos cujos índices podem variar um pouco de acordo com a utilização de cada sistema, ainda assim os índices seriam maiores se houvesse fabricante nacional de módulos fotovoltaicos.

O estabelecimento destes índices também permite que a partir deles uma determinada demanda seja criada, através de um programa de incentivo ao uso desta tecnologia. Vale lembrar que os índices estimados referem-se à capacidade atual da indústria brasileira atender os sistemas fotovoltaicos. Para um programa de incentivo, certamente os índices precisariam ser ligeiramente superiores aos valores calculados pois, desta forma,



a exemplo do próprio PROINFA, estará estimulando a indústria nacional do setor. Outro ponto importante a ser lembrado é que os índices foram determinados a partir dos principais equipamentos de cada um dos três sistemas, mas se levado em consideração outras partes e peças já fabricadas nacionalmente (suporte para o módulo fotovoltaico, equipamentos para conexões hidráulicas e elétricas, entre outros), tais índices seriam naturalmente mais elevados.

No entanto vale ressaltar a preocupação com a imposição de um índice de nacionalização que não seja factível de ser atendido. Dessa forma, deve-se ter cautela e bom senso ao implantar um programa de incentivo ao uso da energia solar fotovoltaica, pois ao aplicar a exigência de um índice que não possa atender a demanda requerida, ao invés de estimular, pode-se acabar desestimulando e até impedindo a utilização do potencial energético nacional proveniente do sol.

Considerando os sistemas fotovoltaicos, os resultados das análises mostraram que os módulos são considerados o gargalo de todos os sistemas estudados, pois representa em média 80%²⁰ do investimento inicial de um sistema. Logo, ao restringir a importação de equipamentos, através da obrigatoriedade de um índice de nacionalização, é fundamental que a demanda criada possua um horizonte mínimo de amortização dos investimentos realizados.

Outra conclusão decorrente da pesquisa é que um maior índice de nacionalização dos sistemas fotovoltaicos só será obtido possivelmente no médio prazo, para o caso dos inversores para sistemas conectados à rede, e no longo prazo, para os módulos fotovoltaicos, períodos estes necessários para o desenvolvimento e o amadurecimento destas tecnologias. Conforme mencionado no item 4, investir atualmente em uma fábrica de módulos fotovoltaicos implicaria em gastos superiores a R\$ 50 milhões para fabricar aproximadamente 10 MW por ano, ou seja, um montante muito elevado. Não é qualquer investidor que pode e se interessaria em instalar uma fábrica com investimento inicial tão alto. Já no caso dos inversores para conexão à rede elétrica o investimento seria bem inferior e como já há tecnologia nacional para os inversores CC-CA, acredita-se que em um espaço de tempo não muito longo poderão estar sendo fabricados nacionalmente.

Por fim, este trabalho de pesquisa estimou índices representativos

20 Média calculada através da contribuição dos módulos fotovoltaicos em cada sistema analisado.

nacionalmente que podem vir a ser utilizados na elaboração de uma proposta de programa para fomentar o uso dos sistemas fotovoltaicos, mas não se pretende aqui colocá-los como única alternativa para incentivar a energia solar fotovoltaica e promover o desenvolvimento da indústria nacional de equipamentos. O que se busca nesse trabalho é contribuir para promover o uso de tal fonte, visando diversificar a matriz energética nacional, qualificar recursos humanos; e desenvolver e amadurecer esta tecnologia.

Este incentivo à indústria nacional de equipamentos pode se configurar num importante passo para a redução dos custos de geração de energia elétrica a partir da energia solar fotovoltaica ou outras fontes renováveis alternativas e, conseqüentemente, para torná-las mais competitivas e atrativas em relação às fontes tradicionais. Além disso, o investimento realizado para desenvolver a indústria nacional pode, em última instância, retornar à população através do aumento da oferta de empregos, da qualificação de recursos humanos e da redução dos impactos ambientais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEEL Agência Nacional de Energia Elétrica. RESOLUÇÃO NORMATIVA Nº 83, de 20 de setembro de 2004. Estabelece os procedimentos e as condições de fornecimento por intermédio de Sistemas Individuais de Geração de Energia Elétrica com Fontes Intermitentes – SIGFI.

BRITO, A.U. Otimização do Acoplamento de Geradores Fotovoltaicos a Motores de Corrente Alternada Através de Conversores de Freqüência Comerciais para Acionar Bombas Centrífugas. Universidade de São Paulo. Instituto de Eletrotécnica e Energia. 2006. (Tese de Doutorado).

CAMARGO, J.C. Comunicação pessoal. Laboratório de Hidrogênio. Instituto de Física “Gleb Wataghin”. UNICAMP. Julho 2007.

COSTA, H.S. Análise Econômica Comparativa entre Diferentes Opções para Eletrificação Domiciliar Rural. Recife/PE. 1998.

CRESESB. Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Energia Solar: Princípios e Aplicações. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br>>. Acesso em: dez 2005.

MME. Ministério de Minas e Energia. PROINFA. Programa de Incentivo as Fontes Alternativas de Energia Elétrica – PROINFA. Disponível em: <<http://www.mme.gov.br>>



www.mme.gov.br/programs_display.do?prg=5> Acesso em: abr 2006a.

OLIVER, M.; JACKSON, T. The market for solar photovoltaics. *Energy Policy*, v. 27, p. 371-385, 2002.

PORTARIA nº 86, de 25 de maio de 2007. Regulamenta o cálculo do grau de nacionalização de 60% para equipamentos e serviços dos empreendimentos construídos. 2007.

PORTO, L. Comunicação via e-mail. Diretora do Departamento de Desenvolvimento Energético e Coordenadora da Sala de Monitoramento do PROINFA. Novembro 2007.

PNMC. Plano Nacional Sobre Mudança do Clima. Setembro, 2008. Decreto nº 6. 263 de 21 de novembro de 2007. 154p.

SILVA FILHO, H.M. Aplicação de sistemas fotovoltaicos na universalização do serviço de energia elétrica na Bahia: uma mudança de paradigma no setor elétrico brasileiro. Universidade de Salvador – UNIFACS. Regulação da Indústria de Energia. 2007. 160 p.(Dissertação de mestrado).

SOLENERG. Disponível em: <http://www.solenerg.com.br>. Acesso em: jul 2007.

VARELLA, F. K. O. M. Estimativa do Índice de Nacionalização dos Sistemas Fotovoltaicos no Brasil. Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP. 2009. 148 p. (Tese de Doutorado).

ZANESCO, I.; MOEHLECKE, A. Comunicação pessoal. Visita ao Núcleo Tecnológico de Energia Solar - NT-Solar. Porto Alegre, no dia 06 de novembro de 2008.

ZILLES, R. Visão sobre a energia solar fotovoltaica. 2006. Disponível em: <<http://www.revistaopinioes.com.br/Conteudo/Sucroalcooleiro/Edicao012/Artigos/Artigo012-23-A.htm>> Acesso em: jul 2008.