

ESTUDO DE CONVERSOR DE POTÊNCIA PARA GERAÇÃO DE ENERGIA EM CC

ALEXANDRE LOURENÇO POLO¹

VICENTE DE LIMA GONGORA²

SAULO AGUIAR SAES³

RESUMO

Os conversores de potência ou inversores fazem a modificação da energia que neles são aplicadas em sua entrada a fim de adquirir uma nova forma de energia em sua saída para a utilização em residências, indústrias ou comércio em geral. Com o sol sendo uma fonte de energia e estando presente em todos os lugares, utilizamos essa energia para a produção de uma energia limpa e renovável, onde faremos sua utilização em vários setores. Sendo assim, o objetivo desse trabalho é desenvolver e montar um protótipo para conversão de energia elétrica CC gerada a partir de células fotovoltaicas em energia CA.

Palavras-chave: Inversor de frequência, conversor de frequência e energia solar.

¹ Graduação – Tecnólogo em Manutenção Industrial, da Faculdade de Tecnologia do Senai Londrina. E-mail: xandypolo@hotmail.com

² -MS.c Vicente de Lima Gongora Faculdades da indústria Senai Londrina. E-mail: vicente.gongora@pr.senai.br

³ Mestrando em Engenharia Mecânica, UNESP - Bauru, saulo.saes@fiepr.org.br

1 INTRODUÇÃO

O setor elétrico brasileiro vem sendo reestruturado gradativamente devido ao aumento constante no consumo de energia elétrica e aos impactos ambientais. A utilização de fontes de energia renováveis tem se tornado uma alternativa à dependência hídrica, diversificando a matriz energética. Dentre as fontes alternativas, a energia solar fotovoltaica destaca-se por ser abundante e inesgotável, com baixo índice de degradação ao meio ambiente.

A energia solar fotovoltaica é obtida através da conversão da radiação solar em eletricidade através de painéis fotovoltaicos. Como a geração de energia por painéis fotovoltaicos depende das condições climáticas, ocorre uma variação na potência produzida. Sendo assim, é necessária a utilização de métodos que garantam que os painéis forneçam a máxima potência possível na sua saída (BALESTERO *et al*, 2014).

Um estudo de conversores de potência aplicados a sistemas de geração de energia tem se tornado uma opção técnica e viável economicamente, com o sol como fonte de energia renovável. Com a eletrônica de potência e as exigências ambientais, e sociais, esses fatores contribuem para o crescimento e avanços para essa tecnologia.

Atualmente, existem incentivos que viabilizam a instalação de painéis solares, os quais aumentam a demandam e conseqüentemente, reduzem os custos de forma progressiva. Desde 2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis e fornecer o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. É permitido o uso de qualquer fonte renovável além da cogeração qualificada.

A microgeração distribuída é uma central geradora de energia elétrica com potência instalada de até 75 quilowatts (KW); e na minigeração, com potência acima de 75 KW, conectadas a rede de distribuição por instalações das unidades consumidoras. Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. São inovações que aliam a economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade (ANEEL, 2015).

Pelo mundo, a utilização da energia solar contabilizou, ao final de 2014, uma potência instalada de geração de energia solar fotovoltaica de 180 Gigawatts (GW); um crescimento de 40,2 GW comparado ao ano anterior. Os dados constam do boletim “Energia Solar no Brasil e no Mundo – Ano de Referência – 2014”, publicado pelo Ministério de Minas e Energia (MME).

Neste boletim aponta que em dois anos o Brasil deverá estar entre os 20 países com maior geração de energia solar no mundo. Os cinco primeiros países com potência já instalada são: Alemanha, China, Japão, Itália e Estados Unidos. Eles correspondem por 70% da produção de energia solar.

Com a necessidade de geração e produção de energia sustentável, nasceu a necessidade de pesquisa, avaliação e implementação de um modelo de conversor para a geração de energia renovável. Os estudos dos conversores de potência aplicados a sistemas de geração de energia vêm ganhando destaque na sua utilização, fabricação, e pesquisas de tecnologias para uma melhor economia e melhor desempenho em sua utilização.

Este trabalho tem foco no estudo, desenvolvimento e montagem de conversores de energia que funcionam em cascata, sendo o primeiro um

conversor de corrente de forma contínua CC/CC, que faz o aumento de tensão através das células fotovoltaica, e o segundo um inversor CC/CA que é encarregado de fazer a inversão de corrente, passando a corrente contínua do conversor para corrente alternada, que utilizará como fonte primaria a energia solar.

A construção de um equipamento que será capaz de produzir energia através de células fotovoltaicas. Um problema que poderá ser amenizado será a redução de poluição que alguns métodos de geração de energia produzem, como os resíduos das usinas nucleares, e a poluição das termoeletricas onde é usado combustível fóssil que ao ser queimado libera poluentes na atmosfera onde eles são responsáveis pelo efeito estufa do planeta.

Sendo assim, o objetivo principal deste trabalho é pesquisar, desenvolver e montar um protótipo para conversão de energia elétrica contínua (CC) gerada a partir de células fotovoltaicas em energia alternada (CA) a ser consumida pelos diversos tipos de cargas. Tem também como finalidade aprimorar os conhecimentos teóricos e conceitos das tecnologias existentes para este assunto. Comprovar na prática os planos de projeto, executando o levantamento em osciloscópio, das formas de ondas de tensão e corrente com carga nominal de projeto e a vazio.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Geração de Energia

A falta de energia elétrica em locais de difícil acesso em áreas rurais onde há necessidades de energia tanto para iluminação, ligações de bombas

de água, a grande demanda de energia para áreas residenciais e comerciais, industriais e a produção de energia elétrica renovável e limpa.

A partir da Resolução Normativa ANEEL nº 482/2012, o consumidor brasileiro pode gerar sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis ou cogeração qualificada. Chamado de Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) é possível ao consumidor instalar pequenos geradores em sua unidade consumidora e trocar energia com a distribuidora local com objetivo de reduzir o valor da fatura de energia elétrica.

Quando a quantidade de energia gerada em determinado mês for superior à energia consumida naquele período, o consumidor fica com créditos que podem ser utilizados para diminuir a fatura dos meses seguintes. Com prazo de validade dos créditos de 60 meses, é possível utilizá-los para abater o consumo de unidades consumidoras do mesmo titular situadas em outro local, desde que na área de atendimento de uma mesma distribuidora. Esse tipo de utilização dos créditos foi denominado “autoconsumo remoto” (ANEEL, 2015).

As novas regras da ANEEL permitem a geração de energia, denominadas micro e minigeração distribuídas. A primeira corresponde a uma central geradora com potência instalada até 75 KW; a última, com potência instalada potência acima de 75 KW e menor ou igual a 5 megawatts (MW), (sendo 3 MW para a fonte hídrica). Ambas conectadas na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras. Ainda são possíveis a instalação em condomínios e a realização por meio de consórcio ou cooperativa. São inovações que podem aliar economia financeira, consciência socioambiental e autossustentabilidade. (ANEEL, 2015).

Como a geração de energia por painéis fotovoltaicos depende das condições climáticas, ocorre uma variação na potência produzida, de acordo com as variações de temperatura das placas e da intensidade luminosa que incide sobre elas. Sendo assim, é necessária a utilização de métodos que garantam que os painéis forneçam a máxima potência possível na sua saída (BALESTERO *et al*, 2014). As placas fotovoltaicas devem ser instaladas em uma angulação para a melhor irradiação solar do plano inclinado. Tomado base a cidade de Londrina, essa angulação é de 23° voltado para o norte, com essa medida teremos uma média mensal de 5,07 kWh/m².dia.

2.2 Conversor CC/CC

No campo dos conversores CC/CC observa-se duas famílias de conversores CC/CC tipo *push-pull*: os alimentados em tensão e os alimentados em corrente (CABALLERO, 1999). O conversor *push-pull* com entrada em corrente é incluído na categoria de conversor CC Isolados. Este tipo de topologia funciona geralmente como elevador de tensão e por ser alimentado em corrente os interruptores operam com sinais de comando sobrepostos com razão cíclica variando entre 50% e 100%, segundo Menezes (2016).

O conversor *push-pull* é apropriado para aplicações com múltiplas saídas e opera numa larga faixa de tensões de entrada. Essa topologia é amplamente utilizada é quando se necessita elevar tensões contínuas para tensões capazes de alimentar conversores CC-CA ou inversores (MENEZES, 2016). A forma de onda na saída do conversor devido ao chaveamento dos

transistores é quadrada e modulada por largura de pulso de acordo com a tensão (SILVA & TREVISIO, 2013).

Algumas vantagens na sua utilização são o isolamento proporcionado pelo transformador, a facilidade do controle, a limitação natural de surtos de corrente devido ao indutor de entrada, além da robustez e simplicidade quando comparado a outros tipos de conversores CC-CC isolados (MENEZES, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

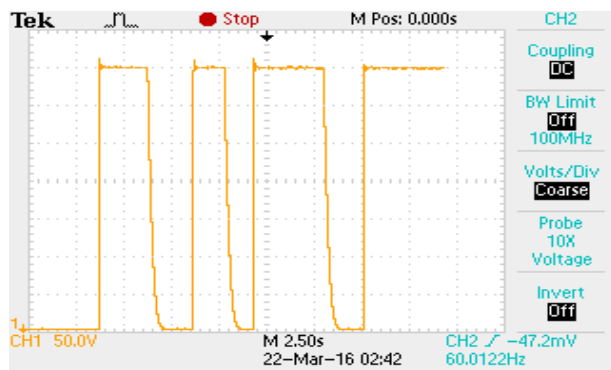
Este trabalho possui caráter prático por conter um conversor de potência, montado no laboratório do SENAI Londrina, entre agosto de 2015 a janeiro de 2016. Para realização dos testes, foi necessária a utilização de uma bateria de 12V com corrente contínua de 60A e uma fonte de alimentação regulável chaveada de corrente contínua.

As placas do conversor tiveram *layout* do esquema elétrico anteriormente desenvolvido. A montagem foi realizada através das informações geradas pelos esquemas elétricos das placas. Para a solda dos componentes eletrônicos, utilizou-se ferro de solda e estanho com o auxílio de um multímetro digital para medição dos componentes e tensões de entrada e saída da placa.

O período de testes iniciou em janeiro de 2016, onde se obteve gráficos por meio de um osciloscópio digital de 2 canais da marca Tektronix. Através do osciloscópio, foi possível medir as tensões e as correntes das chaves CC/CC do conversor, e tensões e correntes no conversor CC/CA e suas formas de ondas.

4 RESULTADOS

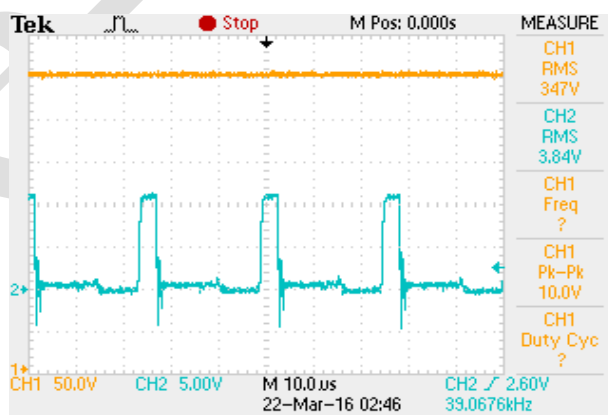
Figura 01: Onda obtida ligando e desligando o conversor a vazio.



Fonte dos autores: (2016).

No ensaio do conversor CC/CC, apresenta uma onda quadrada com o funcionamento correto do transistor, a tensão CC identificada na saída foi no valor de 347VCC.

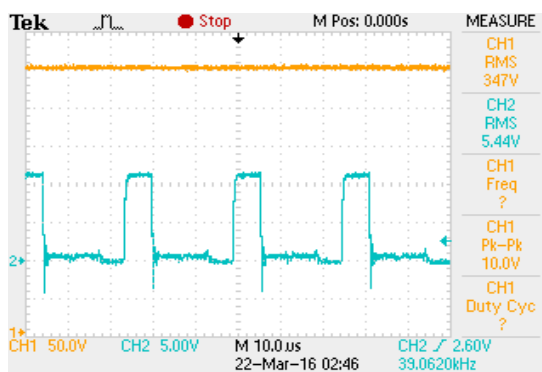
Figura 02- Largura de pulso de comando.



Fonte dos autores: (2016).

Na primeira medição foi utilizada uma carga de 50W e VCC de 347V e 3,84V RMS, e foi obtido uma onda quadrada com largura de pulso das chaves de potência, normal para o chaveamento dos transistores.

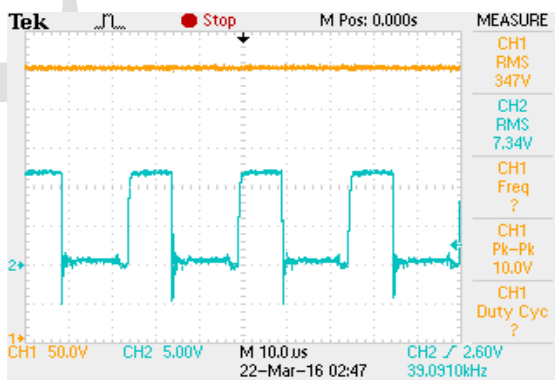
Figura 03- largura de pulso de comando.



Fonte dos autores: (2016).

O segundo teste foi utilizado uma carga de 100W com VCC de 347V, e 5,44V RMS a largura de pulso teve um período de funcionamento maior, e com a mesma tensão e formato de onda.

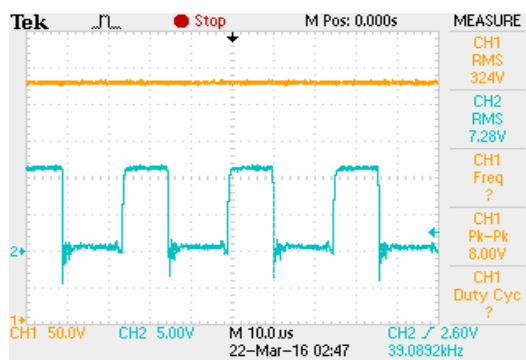
Figura 04- largura de pulso de comando.



Fonte dos autores: (2016).

O terceiro teste foi utilizado uma carga de 150W com VCC de 347V, e 7,34V RMS a largura de pulso das chaves teve o funcionamento maior, e manteve 347V.

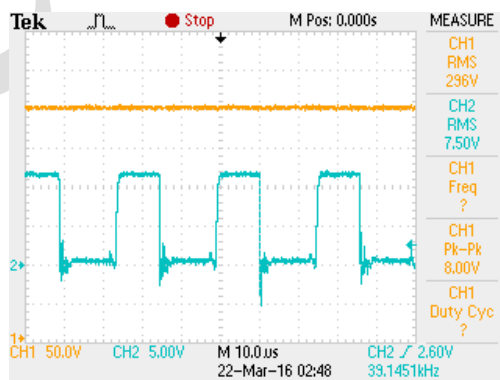
Figura 05- Largura de pulso de comando.



Fonte dos autores: (2016).

O quarto teste foi realizado com uma carga de 200W o valor VCC teve uma queda indo para 324V e valor RMS ficou em 7,28V, a largura de pulso da onda continuou aumentando.

Figura 06- Largura de pulso de comando.



Fonte dos autores: (2016).

O quinto teste foi com 250W, o VCC 296V largura de pulso ficou maior, o RMS ficou em 7,50V. o chaveamento dos transistores está em trabalho normal.

5 CONCLUSÃO

A otimização de cargas para sistemas fotovoltaicos apresenta-se como um campo importante para realização de testes e para novos desenvolvimentos na área de eletrônica de potência. Este trabalho constitui uma etapa inicial desse desenvolvimento, com resultados dentro do esperado, que visam aumentar a viabilidade econômica para melhor concorrência comercial.

Com os dados coletados foi possível chegar a um resultado satisfatório, sua utilização poderá ser aproveitada por vários segmentos entre eles, residenciais, comerciais, rurais, e industriais. O inversor poderá trabalhar com um banco de baterias para manter a carga e utilizar em períodos sem sol e a noite, ou sem baterias trabalhando de forma autônoma só com a luz solar.

Pode ser concluído que o investimento de um sistema de energia solar, a longo prazo é uma alternativa rentável se pagando o investimento em média de 5 a 6 anos e sem contar com a contribuição para o meio ambiente por se tratar de energia limpa sustentável.

STUDY OF POWER CONVERTER FOR ENERGY GENERATION IN CC

ALEXANDRE LOURENÇO POLO¹

VICENTE DE LIMA GONGORA²

SAULO AGUIAR SAES³

ABSTRACT

The power converters or inverters make the change of energy in them are applied to their input in order to acquire a new form of energy in its output for use in homes, industry or business in general. With the sun being a source of energy and being present everywhere, we use this energy for the production of clean and renewable energy, where we will make use of it in various sectors. Therefore, the objective of this work is to develop and assemble a prototype for the conversion of DC electric energy generated from photovoltaic cells into AC energy.

Key-words: frequency inverter, inverter and solar energy.

¹ Graduation – Technologist in Industrial Maintenance, in Faculty of Technology of SENAI Londrina. E-mail: xandypolo@hotmail.com

² MS.c Vicente de Lima Gongora - Faculty of Technology of SENAI Londrina. E-mail: vicente.gongora@pr.senai.br

³ MSc in Mechanical Engineering, UNESP – Bauru, E-mail: saulo.saes@fiepr.org.br

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** Brasil, Jun. 2012. Disponível em: < <http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em 27 mar. 2016.

BALESTERO, Juan Paulo Robles et al. **Micro Geração Fotovoltaica com vistas a implantação do Programa de Geração Distribuída.** *Revista técnico-científica do IFSC [recurso eletrônico]*. Florianópolis, ano 4, n. 2, dez. 2014. Publicação do IFSC, 2014. Disponível em: < <http://periodicos.ifsc.edu.br/index.php/rtc/article/view/1393/975>>. Acesso em: 07 mai. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **ANEEL Amplia Possibilidades Para Micro E Minigeração Distribuída.** Brasil, Nov. 2015. Disponível em <http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/noticias/Output_Noticias.cfm?Identidade=8955&id_area=90>. Acesso em 07 Mai. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Geração Distribuída: Micro e Minigeração Distribuídas.** Brasil, Mar. 2016. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/informacoestecnicas//asset_publisher/CegkWaVJF5E/content/geracaodistribuidaintroduc1/656827?inheritRedirect=false&redirect=http%3A%2F%2Fwww.aneel.gov.br%2Finformacoestecnicas%3Fp_id%3D101_INSTANCE_CegkWaVJWF5E%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn2%26p_p_col_pos%3D1%26p_p_col_count%3D2>. Acesso em: 27 Mar. 2016.

BRASIL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012. **Estabelece as Condições Gerais Para o Acesso de Microgeração e Minigeração Distribuída aos Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica, e dá Outras Providências.** Disponível em < <http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2012482.pdf>> Acesso em: 27 Mar. 2016.

BRASIL. Ministério De Minas E Energia. **Energia Solar Fotovoltaica Cresceu Quase 30% no Mundo em 2014**. Portal Brasil, Brasil, Dez. 2015. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/web/guest/pagina-inicial/outras-noticias/-asset_publisher/32hLrOzMKwWb/content/energia-solar-otovoltaica-cresceu-quase-30-no-mundo-em-2014>. Acesso em 08 Mai. 2016.

CABALLERO, Domingo Antônio Ruiz. **Novo Conversor CC-CC Flyback-Push-Pull Alimentado em Corrente: Desenvolvimento Teórico e Experimental**. 1999. 200 F. Tese (Doutorado em Energia Elétrica). Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1999. Disponível em <http://www.ivobarbi.com/PDF/Teses/Tese%20Domingo_A.%20Caballero.pdf>. Acesso em 30 nov. 2016.

CAMACHO, José Roberto; RODRIGUES, Pollyanna; MATOS, Fernando B. **Simulação da Influência da Intensidade Luminosa e da Temperatura no Comportamento de Células Solares**. In: CONFERÊNCIA DE ESTUDOS EM ENGENHARIA ELÉTRICA, 2008, Uberlândia. **VI Conferência de Estudos em Engenharia Elétrica**. Minas Gerais: CEEL, 2008. Disponível em: <http://www.ceel.eletrica.ufu.br/artigos2008/ceel2008_48.pdf>. Acesso em: 06 mai. 2016.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito – CRESESB / Centro de Pesquisas de Energia Elétrica CEPEL. **Potencial Energético**. Disponível em < http://www.cresesb.cepel.br/index.php#localidade_180> Acesso em 30 nov. 2016.

COSTA E SILVA, Carlos André Soares. **Conversor CC/CC para Aplicação em Instalação Fotovoltaica**. 2012. 34 F. Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores Major Automação). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Porto, 2012. Disponível em <http://paginas.fe.up.pt/~ee07308/docs/Estado%20de%20Arte_v3.pdf>. Acesso em: 07 mai. 2016.

Instituto Newton C. Braga, **Como Funcionam os Conversores A/D**. Disponível em <http://www.newtonbraga.com.br/index.php/comofunciona/6864-como-funcionam-os-conversores-a-d-art853> Acesso em 01 dez. 2016.

MACHADO NETO, Vilhena Brandão *et al.* **Desenvolvimento de conversor eletrônico para máxima transferência de potência em sistemas fotovoltaicos aplicados à eletrificação rural.** In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 5., 2004, Campinas. Proceedings online Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC0000000022004000100045&lng=en&nrm=abn>. Acesso em 26 Mar. 2016.

MENEZES, Thiago Lima de. **Conversor Push-Pull Alimentado em Corrente aplicado a Correção do Fator de Potência de Fontes de Alimentação.** 2016. 95 F. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energia Elétrica). Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa. 2016. Disponível em < http://www.cear.ufpb.br/arquivos/cgee/TCC/TCC_-_Thiago_Lima_de_Menezes.pdf> Acesso em 30 nov. 2016.

PEREIRA, Osvaldo L. S.; GONÇALVES, Felipe F. **Dimensionamento de Inversores para Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica: Estudo de Caso do Sistema de Tubarão – SC.** Revista Brasileira de Energia. v.14, n.1, 1o Sem. 2008, pp. 25-45.

SILVA, Emerson Charles M.; TREVISO, Carlos Henrique G. **Inversor de tensão com topologia push-pull para injeção de energia em sistemas elétricos com modulação SPWM.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 34, n. 1, p. 31-44, jan./jul. 2013.

TERÁN, Eldin Mario Miranda. **Sistema Fotovoltaico de Pequeno Porte Interligado à Rede Elétrica.** 2012. 145 F. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Ceará. 2012. Disponível em: <http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/3869/1/2012_dis_emmteran.pdf>. Acesso em 28 nov. 2016.

Associação Brasileira da Indústria Elétrica e Eletrônica. **Propostas para Inserção da Energia Solar Fotovoltaica na Matriz Elétrica Brasileira.** Brasil, Jun. 2012. Disponível em: <<http://www.abinee.org.br/informac/arquivos/profotov.pdf>>. Acesso em 27 mar. 2016.