



19 Congresso de Iniciação Científica

PROTOCOLO DE ENSAIOS E DE TESTES COMPARATIVOS DE DESEMPENHO DE CELULAS FOTOVOLTAICAS REFERENTES A ISOLAÇÃO INCIDENTE

Autor(es)

MARCUS VINICIUS CASTELLUCCI FERMINO

Orientador(es)

PAULO JORGE MORAES FIGUEIREDO

Apoio Financeiro

PIBIC/CNPQ

1. Introdução

O presente trabalho propõe a elaboração de um protocolo de ensaios e testes para verificação do desempenho de placas solares, a partir das características fornecidas pelos fabricantes. Em decorrência da deterioração temporal e de defeitos de fabricação, estes equipamentos podem apresentar rendimento diferente do previsto pelo fabricante. Tendo em vista a crescente preocupação a respeito da produção energética sustentável e a presença crescente de equipamentos fotovoltaicos no cotidiano, o presente trabalho busca contribuir propondo uma bancada para análise do comportamento das células, a partir de condições padronizadas de exposição, o que possibilita tanto a análise comparativa entre equipamentos quanto a verificação das características preditas nos modelos fornecidos pelos fabricantes ao longo da vida útil das mesmas. A bancada proposta visa ainda contribuir para a exposição desta modalidade produtiva na Universidade através de experiências de laboratório que poderão ser realizadas de forma diversificada. Revisão Bibliográfica: As células solares são também chamadas de células fotovoltaicas, pois podem produzir eletricidade a partir de outras fontes de luz que não o sol graças ao efeito fotoelétrico descoberto em 1839 por Edmund Becquerel. Os tipos mais comuns de células solares encontradas são as células de: • Cristais de silício • Filmes Silício é a matéria prima de mais de 95% das células solares produzidas no mundo. Sua utilização não sobrecarrega o meio ambiente no quesito extração, pois o silício é o segundo elemento mais abundante no planeta terra. A maioria das células fotovoltaicas é feita de cristais de silício tratados ou dopados de modo a permitir que elétrons sejam liberados quando a luz atinge a célula. Neste sentido as células podem ser construídas a partir de silício policristalino ou monocristalino. SILÍCIO ELETRÔNICO O processo de purificação do silício e posterior obtenção do silício policristalino ou monocristalino ocorrem como descrito: O material bruto, que é disposto em pedras de quartzo, é moído e derretido em um forno de arco elétrico a mais de 2000C, onde o quartzo é reduzido em Si e CO₂, através do coque, seguindo a reação: SiO₂ (s) + C(s) → Si (l) + CO₂ (g) O silício líquido que se acumula na parte inferior do forno é extraído e resfriado controladamente para evitar o acúmulo de impurezas. Após essa primeira etapa obtém-se o silício comercial ou metalúrgico, com um grau de pureza da ordem de 99%. O próximo passo na purificação do silício consiste na injeção de silício metalúrgico e ácido clorídrico (HCl) controladamente, usando-se um reator de leito fluidizado para a criação do gás triclorosilano (SiHCl₃), através da seguinte reação. Si (s) + 3HCl (g) → SiHCl₃ (l) + H₂ (g) Após esse processo, o triclorosilano é reduzido com gás hidrogênio para a obtenção do silício eletrônico. O processo de redução é feito em um reator CVD (deposição de vapor químico), onde o silício gasoso se deposita em um tarugo hiperpuro de silício policristalino em forma de u invertido, com cerca de 250 kg, sendo que esse processo dura em média uma semana. A reação ocorre da seguinte forma: SiHCl₃ (g) + H₂ (g) → Si (s) + 3HCl (g) O silício sólido é então quebrado e enviado para as indústrias que fazem células fotovoltaicas, que promovem a seleção do material em função de processos produtivos

específicos. **SILÍCIO POLICRISTALINO** O silício obtido no processo supracitado é fundido e são acrescentados materiais dopantes. Após a fundição, o silício é despejado em moldes para posteriormente a solidificação, ser fatiado em placas. Este silício obtido através de fundição e solidificação sem ordenação dos átomos é chamado de silício policristalino, pois como o próprio nome revela, este é composto por múltiplos cristais. Como resultado deste processo, menos sofisticado que a produção de silício monocristalino, as estruturas cristalinas se formam em tamanhos e formas diversas durante o processo de solidificação. Os grãos cristalinos ficam posicionados em posições diversas, o que faz com que tenham fronteiras irregulares entre os mesmos, interferindo na mobilidade dos elétrons. Devido a estas características os painéis de silício policristalino possuem uma menor eficiência energética quando comparados aos painéis monocristalinos. O custo de produção do silício policristalino é menor e este é também mais resistente, permitindo que as fatias sejam mais delgadas, com até um terço da espessura de uma fatia de silício monocristalino. O tipo de célula fotovoltaica mais encontrada no mercado é a célula policristalina, representando atualmente mais de 90% do mercado de células fotovoltaicas. **SILÍCIO MONOCRISTALINO** O silício monocristalino é produzido por um método de fabricação já conhecido e utilizado pela indústria eletrônica, chamado de Processo Czochralski. A fusão de silício policristalino de alta pureza (silício eletrônico) com material dopante, ocorre em um cadinho de quartzo e logo após um pequeno pedaço de silício monocristalino, chamado de semente, é introduzido no silício fundido e retirado rotacionando-se horizontalmente e de maneira lenta. O lingote de silício que se forma no processo é cortado em fatias de espessura aproximada de 200 a 400 nanômetros. As fatias delgadas são tratadas, cobertas e montadas de maneira interconectada nos módulos fotovoltaicos. **FUNCIONAMENTO DAS CÉLULAS SOLARES** Uma célula fotovoltaica é composta de uma camada finíssima de silício dopado com Fósforo, chamada de silício tipo N. Esta camada se sobrepõe a uma camada mais espessa de silício tipo P, que é dopado por Boro. A célula possui contatos metálicos para o aproveitamento da tensão gerada. Para evitar que a luz reflita, existe uma camada anti-reflexiva que recobre a camada superior das células. Entre as duas camadas se forma uma junção na qual um campo elétrico é formado, fazendo com que as cargas se separem quando o silício é atingido por fótons suficientemente energéticos. Independentemente do tamanho, uma célula comum de silício produz uma diferença de potencial entre as camadas, decorrente da diferença de cargas situadas tipicamente entre 0,5V e 0,6V, quando o circuito se encontra aberto e enquanto a célula estiver exposta à luz solar. Entretanto a corrente e conseqüentemente a potência de uma célula fotovoltaica é inteiramente dependente de sua área superficial, da eficiência e da intensidade da luz que atinge sua superfície.

2. Objetivos

Este trabalho tem como objetivo desenvolver uma bancada de testes e procedimentos com a finalidade de comparar o desempenho das células fotovoltaicas. Os métodos desenvolvidos poderão ser utilizados para construção de aulas experimentais através das quais os alunos realizarão múltiplos testes em células fotovoltaicas.

3. Desenvolvimento

No sentido de atingir o objetivo proposto, foi desenvolvida uma bancada de testes de placas fotovoltaicas, além do desenvolvimento de um software específico e de circuitos eletrônicos para automatização dos testes. A bancada de testes consiste em uma estrutura metálica retangular feita de cantoneiras e tubos quadrados, que suporta a placa na sua porção inferior e um suporte de madeira com lâmpadas halógenas de 100w na porção superior. Na figura 1 é possível visualizar melhor a bancada. As lâmpadas halógenas de 100w foram escolhidas devido a sua característica de restabelecer seu filamento quando a mesma é desenergizada. O software de controle e interface foi criado utilizando-se o programa LabVIEW, software este que usa blocos lógicos de programação para facilitar seu uso. A figura 2 ilustra a área de trabalho de gerenciamento da bancada, o qual é responsável pelas combinações de acionamentos das lâmpadas. Para a interface entre a bancada e o computador, foi usada uma placa de aquisição de dados USB-1208-LS, com duas entradas analógicas. A entrada analógica 2 da placa tem seu valor exibido no mostrador digital chamado Corrente. Para que o programa pudesse medir esta tensão na placa, foi utilizada a entrada 1 da placa de aquisição e o resultado desta medição é exibido no mostrador digital chamado "Tensão". O programa também calcula a potência resultante, que a placa gerou através da corrente e da tensão momentâneas, usando-se do cálculo $P=U.i$, onde P é potência U e tensão e i é corrente. Para se estabelecer a relação luz x tensões, foram realizadas 1024 combinações diferentes, em função da quantidade de lâmpadas disponíveis na bancada. Quando todas as lâmpadas são acesas, tem-se disponível 1000W e quando todas estiverem apagadas teremos 0W. O método de aquisição de dados pode ser feita tanto automaticamente, quanto manualmente. Quando os acionamentos são feitos manualmente, a obtenção dos dados através do programa deve ser feita pausadamente, visto que é necessário interromper a obtenção de dados sempre que for modificar a comutação das chaves. Para isso são necessárias pelo menos duas pessoas, uma para comutar as chaves e outra para pausar e reiniciar a obtenção de dados no programa. Adotando um tempo de pausa de 10s para a estabilização da corrente e tensão geradas pela placa, o tempo gasto para cada bateria de testes é de cerca de 5h. O modo automático facilita a obtenção dos dados, uma vez que não é necessária a comutação manual das chaves, sendo esta automática realizada através de relês ligados as saídas da placa controladora. O funcionamento do programa automático se dá através de uma soma binária, onde a cada etapa concluída soma-se um bit, que vai de 000000000 a 111111111. Além das comutações, temos que respeitar um determinado tempo de estabilização, visto que a geração de energia elétrica na placa não é instantânea. Com isso, existe no programa um campo que permite escolher o tempo que cada

combinação permanece acesa.

4. Resultado e Discussão

Os resultados obtidos foram apresentados em gráficos onde o valor no eixo das ordenadas se refere ao estado da lâmpada, ou seja, 0 para desligado e 1 para ligado. Já o eixo das abscissas informa quais lâmpadas estão acionadas e este deve ser considerado como o local onde se localiza a placa fotovoltaica. Devem-se desprezar os valores negativos e numéricos, uma vez que o intuito dos gráficos é mostrar qualitativamente a localização da lâmpada e seu estado de acionamento em relação à placa. O gráfico 1 da figura 3 ilustra uma geração de potência de 0,003W. Através deste gráfico é possível notar que quanto mais distribuída é a iluminação, melhor é a geração. Nesse caso observa-se que a lâmpada acesa é a cinco, situada na direção central da placa. No gráfico 2 da figura 3 pode-se notar que somente as lâmpadas um e dez estão acionadas. Na respectiva configuração a geração de potência é de 0,015W, ou seja, muito maior que a configuração anterior. O que difere é que não há concentração de luz em um ponto, e isso faz com que a geração seja melhorada. No gráfico 3 da figura 3 pode-se notar que as lâmpadas um, cinco e dez estão acesas. Nesta configuração é possível perceber um aumento significativo da potência gerada, uma vez que neste momento estamos gerando 0,323W, potência esta que é 21,5 vezes maior que a configuração anterior, onde somente as lâmpadas um e dez estavam acionadas. No gráfico 4 da figura 3 é possível notar que todas as lâmpadas estão acionadas exceto a lâmpada cinco. Nesta configuração a potência gerada é de 1,125W, que é 3,5 vezes maior que na configuração anterior, e pode-se notar que a distribuição de luz afeta diretamente a geração de energia da placa.

5. Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivo a criação de um protocolo de ensaios que pode ser inserido na Universidade através de experiências de laboratório usando-se placas fotovoltaicas. Os métodos citados aqui poderão servir de embasamento para comparação de módulos solares, ou seja, avaliar o custo benefício de determinado fabricante e determinado tipo de placa. Também poderão ser avaliadas situações de degradação do uso da placa e suas influências na geração de energia. Conforme mostrado nos gráficos, tanto a intensidade de luz, quanto a distribuição são fatores relevantes para o bom funcionamento da placa, ou seja, as células fotovoltaicas são diretamente afetadas pela ausência de luz e pela má distribuição da mesma. Como desdobramentos para esta pesquisa, uma sugestão é a análise da variação da rede elétrica nos resultados, sendo que esta variação está diretamente ligada a oscilação de 60Hz da rede. Essas oscilações podem afetar os resultados devido ao trecho em que a tensão na lâmpada atinge 0V, pois nesse momento há uma redução de brilho que não é visível ao olho humano, mas é percebida pela placa coletora de dados. Para contornar esse problema, usou-se capacitores para que de certa forma o sinal ficasse estabilizado.

Referências Bibliográficas

AMALFI, Silvio L. Energia Solar. Monografia (especialista) Pós-Graduação em fontes alternativas de energia da Universidade Federal de Lavras MG, 2005. Disponível em: . Acesso em: 21 dez. 10
DINIZ, D.M. Análise do Alinhamento Direcional no Desempenho de Células Fotovoltaicas: Um estudo de caso para a região de Santa Bárbara d'Oeste - Brasil, SP. 2011. Pesquisa de Iniciação Científica - Programas Institucionais de Iniciação Científica PIBIC/FAPIC, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2011. Disponível em: Acesso em: 25 jan. 11 Disponível em: Acesso em: 24 jul. 11
FEDRIZZI, Maria Cristina. Sistemas fotovoltaicos de abastecimento de água para uso comunitário: lições apreendidas e procedimentos para potencializar sua difusão. Tese (doutorado) - Programa interunidades de pós-graduação em energia da Universidade de São Paulo, 2003.
MÉDICI, M. Avaliação Técnica e Econômica de Sistemas Integrados de Geração de Energia Elétrica e Água Quente a partir da Energia Solar: Um estudo do caso para a região de Santa Bárbara d'Oeste, SP. 2002. Pesquisa de Iniciação Científica - Programas Institucionais de Iniciação Científica PIBIC/FAPIC, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2002.
PEREIRA, Luíz M. N. Produção e caracterização de silício policristalino e suas aplicações a TFTs. Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2008.
PESQUISA FAPESP (2010) - Solução que vem do céu (Matéria de Alex Sander Alcântara). São Paulo: FAPESP, março de 2010.

Anexos

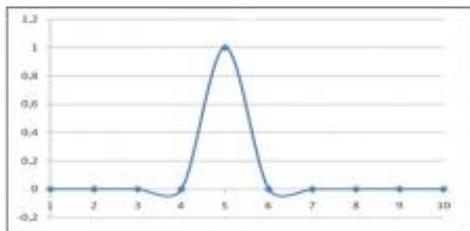


Gráfico 1

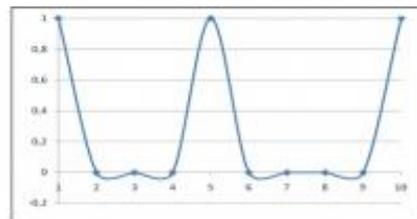


Gráfico 3

Gráfico 2

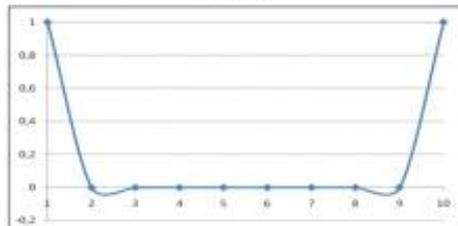


Gráfico 4

