



19 Congresso de Iniciação Científica

**ANÁLISE DO ALINHAMENTO DIRECIONAL NO DESEMPENHO DE CÉLULAS
FOTOVOLTAICAS: UM ESTADO DE CASO PARA A REGIÃO DE SANTA BÁRBARA DOESTE
BRASIL**

Autor(es)

DIEGO MACHADO DINIZ

Orientador(es)

PAULO JORGE MORAES FIGUEIREDO

Apoio Financeiro

PIBIC/CNPQ

1. Introdução

A questão energética, envolvendo as conversões, os usos e as disponibilidades das diversas modalidades de energia, é sem dúvida uma das mais complexas do mundo contemporâneo. Esta complexidade se amplia quando nos deparamos com os diversos impactos ambientais associados às etapas dos ciclos energéticos, da extração e/ou produção primária ao consumo de energia. Um outro aspecto fundamental da questão energética esta relacionado ao prognóstico de escassez das principais mercadorias energéticas primárias que compõem a matriz mundial (FIGUEIREDO, 1997). (BERMANN, 2000).

Diante do exposto, o presente projeto busca contribuir para a expansão do uso de energia solar, em particular para o uso difuso doméstico dos sistemas fotovoltaicos, como forma complementar ao suprimento tradicional de energia elétrica. Neste sentido, o direcionamento adequado das células fotovoltaicas, objetivado a maximização da geração firme de energia elétrica, é um parâmetro fundamental.

REVISÃO DE LITERATURA

SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos compreendem o conjunto dos equipamentos necessários para transformar a energia radiante do Sol em eletricidade adequada para o uso do consumidor. Para fins dessa exposição eles foram divididos em 4 classes básicas: os isolados, os híbridos, os de bombeamento d'água e os conectados ao sistema elétrico.

A seleção do sistema mais adequado depende das finalidades que se pretende dar a eletricidade produzida, da análise econômica, do nível de confiabilidade de fornecimento de eletricidade que se deseja e de outras condições específicas de cada projeto. A eletricidade produzida pelas células fotovoltaicas tem características específicas, exigindo equipamentos adicionais para adaptá-la aos equipamentos consumidores. Os módulos fotovoltaicos geram corrente elétrica contínua com tensão e corrente variável em função do nível de insolação e em função dos requisitos da carga. Portanto são necessários, entre outros, inversores quando se necessita de corrente alternada (usada na maioria dos eletrodomésticos disponíveis no mercado), acumuladores elétricos (baterias) para acumular a energia gerada nos momentos de insolação para uso durante as 24 horas do dia e controladores de carga para proteção das baterias contra cargas e descargas excessivas.

CELULAS SOLARES

A célula solar é composta de um material semicondutor, com a maioria das aplicações usando o cristal de silício, é montada com uma placa metálica que serve de contato elétrico e suporte para suportar a estrutura da célula, depois uma fina lamina de material semicondutor tipo P, “dopada” normalmente com um elemento do grupo 13 da tabela periódica, depois um elemento do grupo 15 da tabela periódica é difundido no topo formando uma junção PN, um revestimento antirreflexo é colocado na superfície superior e por último contatos elétricos são colocados na superfície para coletar os elétrons soltos.

Assim fótons de luz passam pela camada tipo N, elétrons absorvem essa energia, estes elétrons se movem para a banda de condução deixando lacunas, antes que os elétrons possam recombinar com as lacunas, o campo elétrico formado pela junção PN os separam, os elétrons movem para os contatos da superfície, e as lacunas são preenchidas com elétrons de átomos próximo promovendo o deslocamento das lacunas para o fundo da camada P. Quando o circuito esta conectado a uma carga gera-se uma corrente elétrica.

MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Os módulos são conjuntos de células fotovoltaicas incorporadas em uma única unidade, geralmente soldadas juntas sob uma proteção de vidro. Normalmente os fabricantes garantem uma potência de saída de 80% da potência nominal mesmo após 20 ou 25 anos de utilização.

Quando se conectam as células em paralelo, somam-se as correntes e a tensão do módulo é exatamente a tensão de cada célula. Pelas características típicas das células (corrente máxima por volta de 3A e tensão muito baixa, em torno de 0,7V) este arranjo não é utilizado salvo em condições muito especiais. A conexão mais comum de células fotovoltaicas em módulos é o arranjo em série; neste, a tensão total do módulo é a soma das tensões individuais das células. Considerando-se que se deseja carregar baterias de 12V, os módulos fotovoltaicos devem produzir aproximadamente 16V, resultando em uma conexão entre 28 e 40 células de silício.

ALINHAMENTO DIRECIONAL

Para estudar o efeito do alinhamento direcional de placas fotovoltaicas precisa-se fazer um estudo sobre como a radiação solar chega a nosso planeta.

Para sabermos dos efeitos solares nas placas fotovoltaicas teremos que estudar os movimentos do sol em relação à Terra.

Figura 1 Principais parâmetros geométricos referentes a incidência solar

Fonte: adaptado de ASHRAE(1997)

Começando pela altitude solar (θ) que é definida como o ângulo entre os raios solares QO e o plano horizontal. HO é a projeção do raio solar na superfície horizontal. A altitude solar pode ser calculada pela seguinte relação:

$$\sin(\theta) = \cos(\phi) \sin(L) + \sin(\phi) \cos(L) \cos(w)$$

$\theta + \phi = 90^\circ$

O ângulo de altitude é nulo no nascer e no por do sol, e de 90° no meio dia.

O ângulo azimute solar (α) é o ângulo entre a projeção dos raios solares no plano horizontal e o Norte geográfico. Sentido sul no caso do hemisfério Norte e sentido norte pra o hemisfério Sul.

Ao meio dia solar, o Sol está exatamente no meridiano, que contem a linha norte-sul, e conseqüentemente, o azimute solar é 0° . A expressão matemática para o ângulo azimute é;

$$\tan(\alpha) = \frac{\sin(w)}{\sin(L) \cos(w) - \cos(L) \tan(\phi)}$$

O ângulo POS (γ) é o azimute da superfície e o ângulo HOP (β) é chamado de azimute superfície-solar que pode ser definido como:

$$\gamma = \beta - \alpha$$

A declinação solar, que é o ângulo que os raios solares fazem com o plano equatorial, variando cada dia, pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\delta = 23.45 \sin[(284 + n) \cdot 360 / 365]$$

Onde n é o dia do ano ($1 \leq n \leq 365$).

Longitude (Lt) é a distância angular Leste-Oeste de uma posição terrestre tendo como referência o meridiano de Greenwich, podendo variar de 0o a 180o para cada metade do planeta.

$$\theta = (ST - 12) * 15$$

Onde ST é a hora solar local.

$$\text{hora solar} = \text{hora local padrão} + \text{correção longitudinal} + \text{equação da hora}$$

ou,

$$\text{hora solar} - \text{hora padrão} = 4(L_{\text{st}} - L_{\text{loc}}) / 60 + E / 60 - D$$

Onde L_{st} é o meridiano para fuso horário local, L_{loc} é a longitude da posição em questão, D é o horário de verão (podendo ser 0 ou 60 min) e, “E” é a equação de hora (em minutos) dada pela expressão:

$$E = 9,87 \sin(2B) - 7,53 \cos(B) - 1,5 \sin(B)$$

Onde $B = (n - 81) * 360 / 364$, n = dia do ano.

Por último temos o ângulo de incidência, definido entre o raio incidente em uma superfície e a linha perpendicular a superfície no ponto de incidência chamado normal.

O $\cos(\theta_i)$ é dado pela seguinte equação:

$$\cos(\theta_i) = \cos(\theta) \cos(\gamma) \sin(\beta) + \sin(\theta) \cos(\beta)$$

onde θ é a inclinação do plano (placa solar) em relação a superfície horizontal.

POSICIONAMENTO PARA UM MÓDULO SOLAR EM SANTA BARBARA D'OESTE

Segundo a NASA (1976, p 4. 8-1), a quantidade de energia recebida na placa é influenciada diretamente pelo cosseno do ângulo de incidência. Dependendo deste ângulo a placa receberá mais ou menos radiação.

Através do desenvolvimento teórico apresentado, pode-se calcular o melhor posicionamento para um módulo solar na cidade de Santa Barbara d'Oeste.

Utilizando um o programa EXCEL da MICROSOFT, podemos criar uma tabela que nos permite inserir a latitude, a inclinação e a orientação da placa, possibilitando o calculo da media do ângulo de incidência para todo o ano quando a hora solar for igual a 12:00h. Quando a hora solar for exatamente 12:00h o Sol estará em sua máxima altitude no céu, assim o ângulo de incidência será o menor, maximizando a quantidade de radiação solar recebido pelo módulo.

Simulando varias inclinações e posições, obtém-se que a menor média para o ângulo de incidência em um ano será, quando o módulo estiver posicionado sentido ao Norte geográfico ($\theta = 0$) e com uma inclinação de 20 com uma média anual do ângulo de incidência de 15 .

2. Objetivos

Este projeto tem como objetivo central avaliar, a influência do alinhamento direcional das células fotovoltaicas no desempenho dos sistemas, com vistas à geração elétrica para aplicação residencial e suas perspectivas futuras na região de Santa Bárbara D'Oeste.

3. Desenvolvimento

MATERIAIS E MÉTODOS

As células fotovoltaicas foram submetidas a condições controladas e/ou conhecidas pois, para verificar o comportamento das mesmas, é necessário que sejam conhecidos os valores de:

- Tensão
- Corrente
- Temperatura
- Luminosidade
- Tempo

Os materiais utilizados foram:

- Suporte de Placas
- Placa de células fotovoltaicas
- Piranômetro
- Motor Elétrico
- Cabos para envio do sinal
- Circuito de carga
- Placa de aquisição
- Computador pessoal
- Software
- Programa desenvolvido

ESTRUTURA DE SUPORTE DAS PLACAS

Foi concebida uma estrutura para a placa Fotovoltaica, de forma a obter um movimento horizontal. Para tanto, foi acoplado um motor à estrutura, a partir de uma análise do movimento da placa pretendido ao longo do dia.

Optou-se por segmentar 12 horas ao longo do dia, das 06:00h às 18:00h, transformando o intervalo de 12 horas em 43200 segundos, distribuindo estes segundos em 180°, uma vez que o movimento de 1° da placa, equivale a 240 segundos. Desta forma, para cada 240 segundos a placa giraria 1 grau.

A aquisição da energia solar ocorre pela utilização de duas células fotovoltaicas, ligadas diretamente ao LabVIEW.

A medida de tensão do módulo é feita de maneira direta, amostrando-se a tensão nos terminais do painel fotovoltaico em intervalos de tempo.

A medida da corrente fornecida pelo módulo fotovoltaico é feita de maneira indireta através da amostragem da tensão sobre um resistor, conectado em série com cada uma das cargas resistivas, também em intervalos de tempo.

O resistor escolhido foi de 0, 025Ω, acoplado a um suporte em forma de Y no qual são apoiados os resistores (SHUNT).

Para o levantamento da corrente elétrica que circula pelo sistema, foi utilizada a tensão que passa pela lâmpada incandescente.

O resistor SHUNT gera uma pequena corrente elétrica em função da tensão, medida pela placa de aquisição. A partir da Lei de Ohm, se obtém a corrente no circuito.

A medida de radiação solar é obtida através de um piranômetro solar com a capacidade de detectar a radiação em todo o espectro de comprimentos de onda.

Os dados coletados são fornecidos ao LabVIEW para transformação dos sinais, armazenamento de informação, e geração de gráficos e relatórios. Os dados gerados são diretamente lidos pelas entradas do LabVIEW através de uma placa de aquisição e condicionamento de sinais, especialmente desenvolvida para este fim.

O programa para o controle do projeto, foi desenvolvido com o auxílio do técnico do Laboratório de Eletrônica Sr. Frederico Demolim.

No sentido de acompanhar o movimento do sol, foi inicialmente definido um período de 12 horas do dia, de forma que o movimento do painel se dava com a relação de 1° a cada 240 minutos. Esta rotina se encarrega de fazer a movimentação, que se inicia no horário das 06:00h; Com o deslocamento de 1° a cada 240 segundos. Há um sincronismo entre o movimento do painel fotovoltaico e o movimento aparente do Sol, o que mantém a superfície do painel em posição vertical as 12:00h, até que o painel atinja o ponto final as 18:00h, com o sensor no fim de curso.

Após o pôr-do-sol, o painel retorna a posição de início. Por este motivo, em um horário pré-determinado, realiza-se a movimentação de volta do painel até este ficar posicionado no ponto inicial, aguardando o início da próxima jornada.

Os resultados obtidos nas primeiras seções de teste demonstram a eficiência do sistema móvel, ilustrada pela figura 2. o gráfico da figura 2 foi gerado em setembro de 2010.

Para uma análise detalhada do gráfico mostrados na Figura 2 foi utilizada a ferramenta Microsoft Excel. Na planilha do Excel foram inseridos os valores de tensão em intervalos de tempo.

Após a análise inicial, as placas foram posicionadas com inclinações variadas ao longo de vários dias, 3 dias em cada posicionamento. Desta forma foi possível estabelecer a tensão resultante em cada inclinação. A Figura 3 apresenta os resultados obtidos, onde cada linha indica uma inclinação diferente.

A curva mais baixa da figura 3 representa a tensão gerada pela placa para os dias 22-24 de junho de 2011, quando a placa tinha uma inclinação de aproximadamente 10 e estava posicionada aproximadamente 45 NE. A curva intermediária da figura 3 apresenta a tensão gerada pela placa para os dias 11-13 de junho de 2011, quando a placa tinha uma inclinação de aproximadamente 70 e estava posicionada aproximadamente 20 SE. A curva mais alta da figura 3 apresenta os resultados da tensão gerada pela placa para os dias 15-17 de junho de 2011, quando a placa tinha uma inclinação de aproximadamente 70 e estava posicionada aproximadamente 10 NO.

4. Resultado e Discussão

Os resultados foram animadores, pois apesar de varias limitações ocorridas no projeto, o sistema apresentou um ganho expressivo em termos de geração de energia com a utilização da automação do posicionamento do painel solar com base na posição solar.

5. Considerações Finais

Ao longo da pesquisa e implementação deste projeto, foram utilizadas várias técnicas de engenharia de controle e automação, como por exemplo, a criação do programa e automação da placa. Para além da pesquisa bibliográfica, o processo de concepção e construção do protótipo, permitiu um conhecimento empírico associado ao tipo de pesquisa em andamento, e tem contribuído para a busca de soluções práticas diante dos problemas que surgem ao longo da pesquisa. Isto faz com que o aluno esteja sempre um passo à frente na busca do conhecimento.

Referências Bibliográficas

ASHRAE, 1997. HVAC Fundamentals Handbook. ASHRAE, Atlanta.

BARD, Allen J. Electrochemical methods: Fundamentals and Applications. New York. John Wiley & Sons, Inc. 1980

BERMANN, C. & MARTINS O. S. Sustentabilidade Energética no Brasil: limites, e possibilidades para uma estratégia energética sustentável e democrática. Rio de Janeiro: FASE, 2000.

BERMANN, C. (2007). As novas Energias no Brasil. Rio de Janeiro: FASE, 2007.

FERMINO, Marcus V. C. Protocolo de ensaios e testes comparativos de desempenho de células fotovoltaicas referentes a insolação incidente. Santa Bárbara d'Oeste, SP. 2011. Pesquisa de Iniciação Científica - Programas Institucionais de Iniciação Científica PIBIC/FAPIC, Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2011.

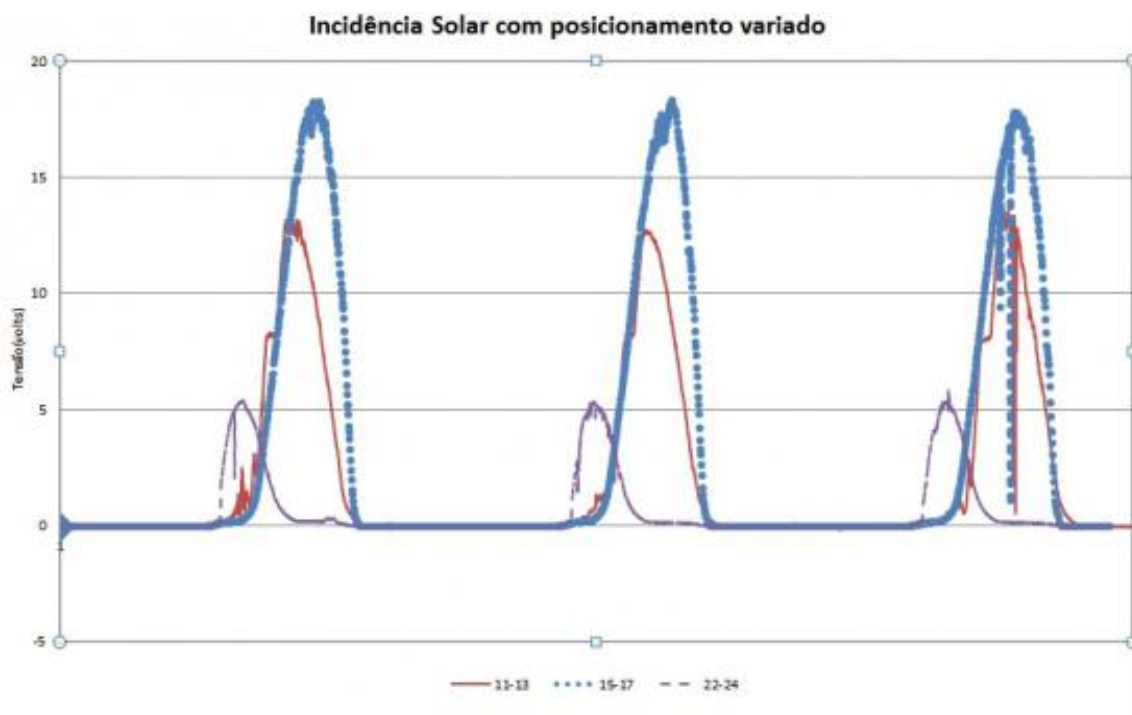
FIGUEIREDO, Paulo J. M. The Brazilian Environmental Debate: Conceptual Elements and Controversial Questions. University of Georgia -UGA, 1997.

LEE, J. D. Química Inorgânica não tão Concisa. Ed. 5 . São Paulo. Editora Edgard Blücher. 2006

KALOGIROU, Soteris. Solar energy engineering: processes and systems. Estados Unidos da America. 2009.

NASA. Solar Cell Array Design Handbook. Pasadena, California, Estados Unidos da America. 1976.

Anexos



Incidência Solar 10-09-2010 a 13-09-2010

