

FERRAMENTAS PARA A CARACTERIZAÇÃO DE PAINÉIS FOTOVOLTAICOS

Lauro de Vilhena B. Machado Neto*, Elizabeth Marques Duarte Pereira**, Roberto Schirm**
 Aline Bicalho**, Luis G. M. Oliveira**, Ricardo Aquino**,
 Flávio M. T. da Silva*, Helvécio B. de Oliveira*, Ivo H. de Pádua*, Rodrigo C. Ivo*

Grupo de Estudo em Energia da PUC Minas (GREEN-PUC Minas)

*Laboratório de Eletrônica de Potência-Departamento de Engenharia Eletrônica-PUC Minas
 Av. Dom José Gaspar, 500, P. 03, S. 104, 30.535-610, Belo Horizonte, MG, Brasil,
 Tel. +55-31-319.4115 Fax +55-31-319.4225 Email: lvilhena@pucminas.br

**Laboratório de Energia Solar-Departamento de Engenharia Mecânica-PUC Minas
 Av. Dom José Gaspar, 500, P. 19, 30.535-610, Belo Horizonte, MG, Brasil,
 Tel. +55-31-319.4387 Fax +55-31-319.4225 Email: green@pucminas.br

RESUMEN

Neste trabalho apresentamos procedimentos y herramientas para la caracterización completa de paneles fotovoltaicos. Como punto de partida, fueron obtenidas las curvas características provenientes por el fabricante. En un segundo momento fueron hechas coletas manuales de dados para la confección de las curvas características. A partir de las propiedades físicas de semiconductores el modelamento del panel fue establecido. El procedimiento establecido es muy fatigoso y reiterativo, podendo llevar a imprecisiones. Para la automatización deste procedimiento, lo siguiente sistema fue proyectado y montado: un conversor dc/dc permite realizar el control electrónico de carga resistiva; un computadora realiza el control cíclico de la variación de carga del panel. Un sistema de adquisición de dados permite la obtención de los parámetros en el panel. A partir desta coleta de dados automatizada un software constroe las curvas características.

1. Introdução

A Energia Solar vem ocupando seu espaço, de direito, como uma das mais limpas energias renováveis. Os Sistemas Fotovoltaicos, apesar do baixo rendimento e do alto custo, vem merecendo um atenção toda especial, pois a tendência é a elevação do rendimento na conversão fotovoltaica e a diminuição nos custos proporcionado pela Microeletrônica e pela Eletrônica de Potência.

O Grupo de Estudos em Energia da PUC Minas (**GREEN**) vem com este trabalho, "**Ferramentas para a Caracterização de Painéis Fotovoltaicos**", implantar uma Linha de Pesquisa e Desenvolvimento na área de Sistemas Fotovoltaicos. Nossos objetivos são apresentar ao público em geral, à Indústria e aos Governos Federal, Estadual e Municipal os benefícios da utilização de Sistemas Fotovoltaicos e pesquisar, desenvolver e manufaturar: Softwares e Hardwares para a caracterização de Painéis Fotovoltaicos, protótipos de Condicionadores de Energia para Painéis Fotovoltaicos, protótipos de Sistemas Fotovoltaicos Inteligentes e protótipos de Sistemas Fotovoltaicos para aplicações rurais.

Neste trabalho, específico, apresentamos procedimentos e ferramentas para a caracterização de Painéis Fotovoltaicos. Na primeira fase são apresentadas as curvas características fornecidas pelo fabricante, uma coleta manual de dados e o modelamento do painel a partir de suas propriedades físicas.

O procedimento estabelecido mostrou-se, entretanto, impreciso e tedioso. Para contornarmos estes problemas, propusemos a manufatura de um sistema automatizado para a coleta e tratamento estatístico de dados para painéis fotovoltaicos, que constituiu-se na segunda fase do projeto. Com os dados da coleta automática, partimos para a elaboração de um software, utilizando a linguagem C++Builder, para a confecção das curvas características. Para o tratamento estatístico dos dados utilizou-se o algoritmo de regressão polinomial.

2. Painel Fotovoltaico

O painel fotovoltaico utilizado é do Fabricante KIOCERA. Apresentamos na **Figura 01** a característica $V \times I$ de um Módulo Solar Multicristal de 45.3 W.

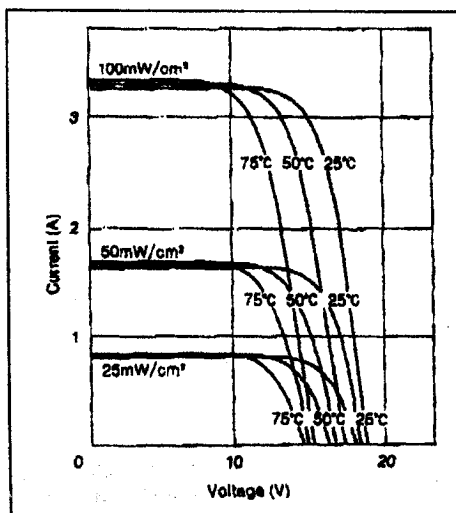


Figura 1 : Característica $V \times I$ (Módulo Solar)

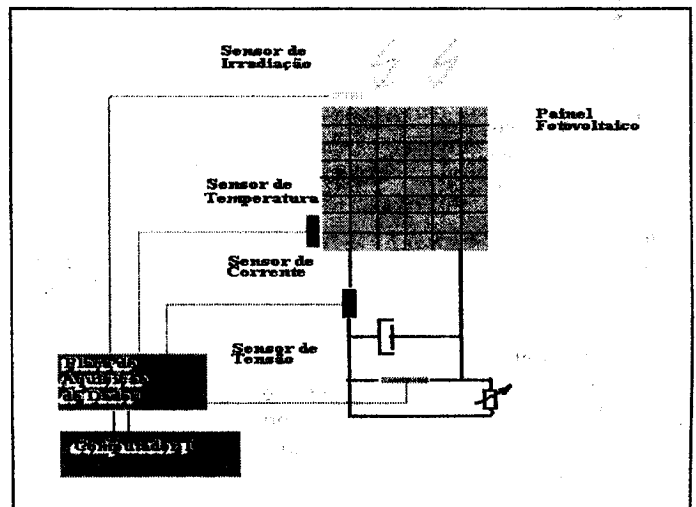


Figura 2 : Circuito utilizado na Coleta Manual de Dados

3. Coleta Manual de Dados

Em um segundo passo foram realizadas coletas manuais de dados para a confecção das curvas características. O objetivo básico deste procedimento é a comprovação das curvas fornecidas pelo fabricante; devemos destacar, também, o caráter didático deste procedimento, quando do primeiro contato dos alunos com a Conversão Fotovoltaica de Energia. Na Figura 02 apresentamos o circuito utilizado na coleta manual de dados.

Com o intuito de estabelecer a faixa de funcionamento dinâmico para painéis, foi construída uma família de curvas; isto irá permitir, aos projetistas de Condicionadores de Energia para Painéis Fotovoltaicos, uma simplificação do sistema de controle. Na Figura 3 uma família de curvas cobrindo uma ampla faixa de radiação é apresentada; as coletas de 1 a 10 compreendem irradiações indo de $213,56 \text{ W/m}^2$ a $921,67 \text{ W/m}^2$, tendo, no melhor caso, como variação de radiação em cada coleta em torno de 20 W/m^2 , e a temperatura variando de $28,5^\circ\text{C}$ a $48,0^\circ\text{C}$. Como podemos observar pelo resultado obtido, o procedimento é impreciso, não conseguindo parametrizar as Curvas Características precisamente em função da radiação e da temperatura.

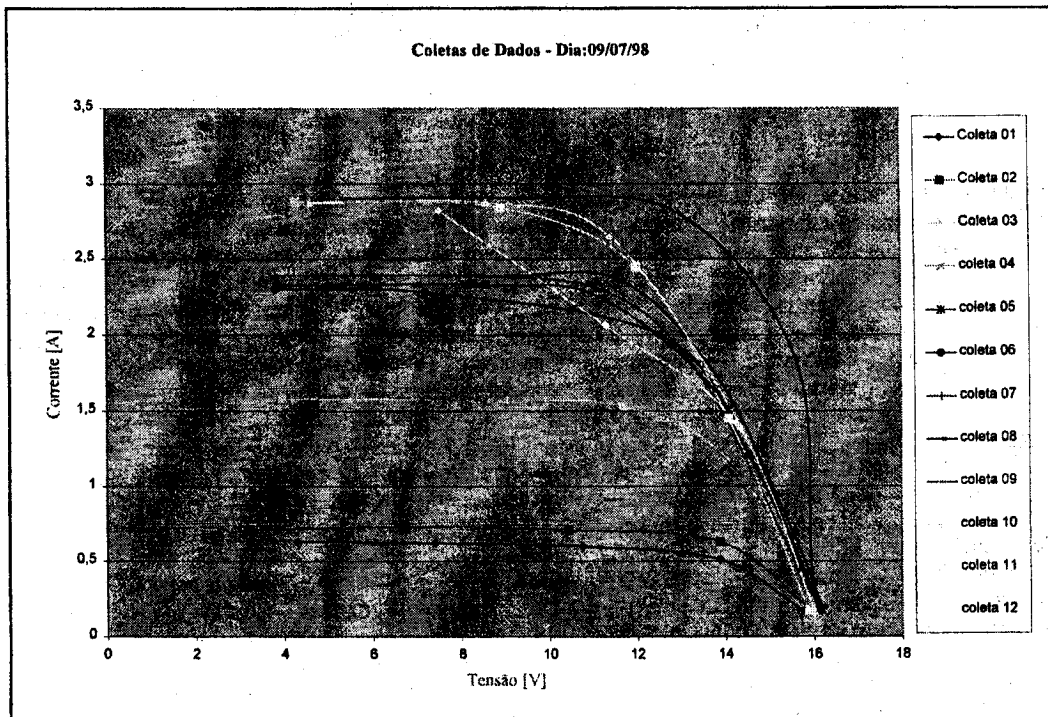


Figura 3: Curvas Características utilizando como parâmetro à radiação.

4. Modelamento

A partir das propriedades físicas de semicondutores, o modelamento do painel foi estabelecido. Apresentamos abaixo as principais equações:

$$J = K1 * \lambda - K2 * e^{(\alpha * V - \beta * T - \gamma)}$$

$$V = \frac{1}{\alpha} * \left[\ln \left(\frac{\lambda}{K} - \frac{J_p}{A_{cel}} \right) + \beta * T + \gamma \right]$$

$$V_p = \sum_{j=1}^{N_{cel}} V_j - N_{cel} * R_s * J_p$$

$$V_p = \left[\sum_{j=1}^{N_{cel}} \left[\frac{1}{\alpha_j} * \left(\ln \left(\frac{\lambda_j}{K_j} - \frac{J_{pj}}{A_{cel}} \right) + \beta_j * T_j + \lambda_j \right) \right] \right] - N_{cel} * R_s * I_p$$

J = densidade de corrente (mA/cm^2);

V = tensão na célula (V);

$K1$ = adimensional de proporcionalidade entre J e λ na região linear (gerador de corrente);

λ = intensidade luminosa incidente (mW/cm^2);

$K2$ = constante de ajuste de valor $1\text{mA}/\text{cm}^2$;

β = coeficiente de temperatura ($1/^\circ\text{C}$);

α = coeficiente de tensão (1/V);

γ = adimensional para ajustar a curva na região em que a célula pode ser considerada um gerador de tensão variável com a temperatura;

N_{cel} = número total de células em série;

R_s = resistência de contato.

5. Sistema de Automação

Para a automação dos procedimentos de coleta e tratamento estatístico de dados o seguinte sistema foi projetado/manufaturado: um conversor de corrente contínua em corrente contínua variável (conversor dc/dc) permite realizar o controle eletrônico de carga resistiva imposta ao painel fotovoltaico. Um microcomputador realiza o controle cíclico da variação de carga do painel, através de um conversor digital/analgico, de um modulador por largura de pulso (PWM) e de

um driver para o chaveador do conversor dc/dc, que consiste de um transistor bipolar com gate isolado (IGBT). Um diagrama de blocos do sistema é apresentado na Figura 4.

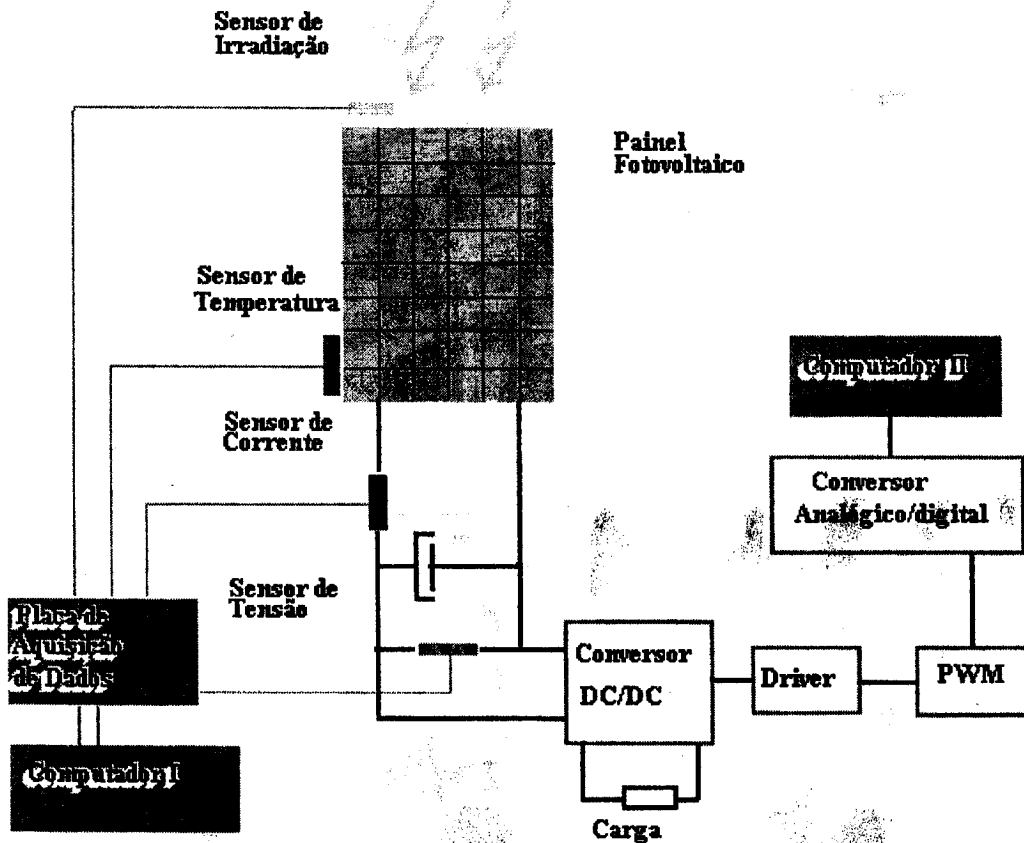


Figura 4: Diagrama de blocos do sistema de automação.

Na Figura 5 apresentamos o diagrama do circuito eletrônico e na Figura 6 as formas de onda de referência de corrente (resistência) imposta ao painel e a corrente no painel fotovoltaico. Os softwares utilizados foram: Design Architect e AccuSim da Mentor Graphics Corporation (Convênio Mentor Graphics/PUC Minas).

Um sistema de Aquisição de Dados, através de sensores, permite a obtenção dos seguintes parâmetros no painel: incidência luminosa, temperatura, tensão e corrente. As aquisições são cíclicas, acompanhando a variação cíclica de resistência de carga no painel.

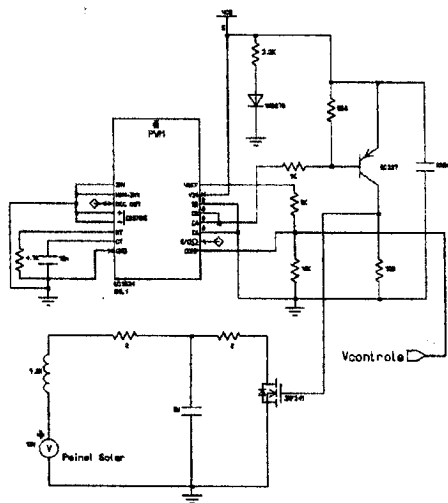


Figura 5: Diagrama eletrônico do Conversor DC/DC (design Arch.-Mentor Graphics).

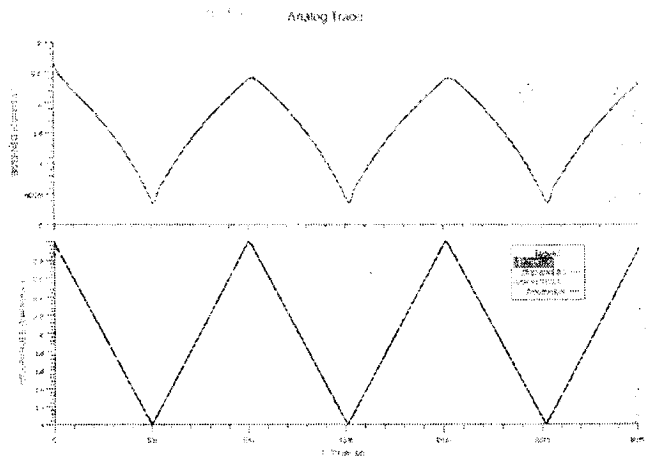


Figura 6: Formas de onda de corrente no painel e de referência (AccuSim-Mentor Graphics).

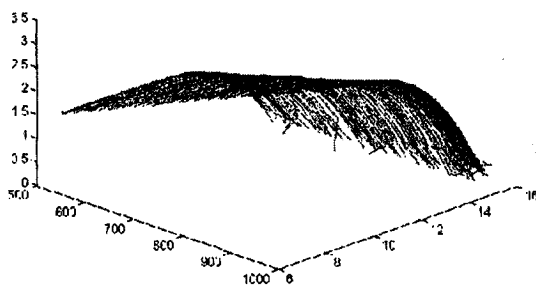


Figura 7: Superfícies no espaço Tensão x Corrente x irradiação

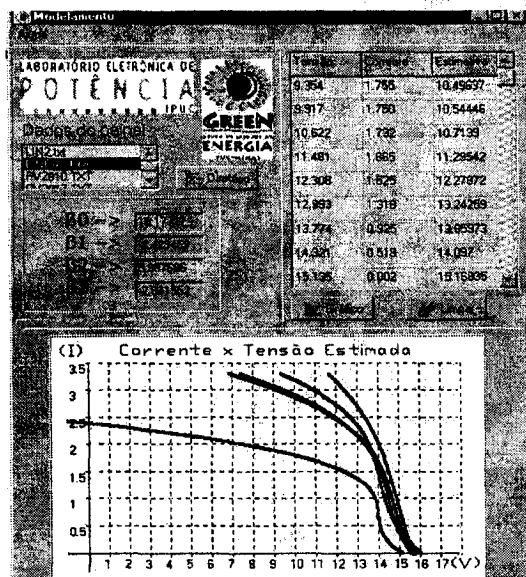


Figura 8: Janela do Software de Plotagem

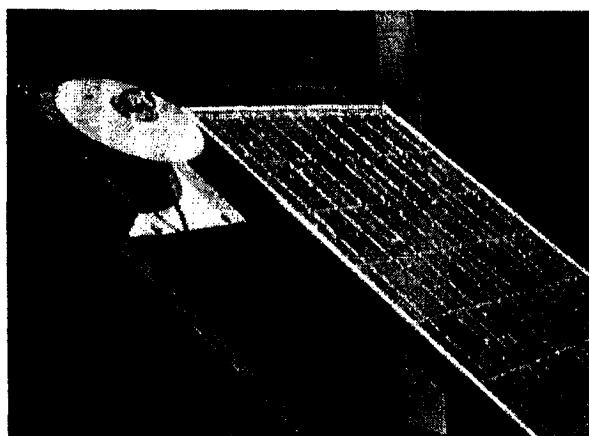


Figura 9: Painel Solar e Piranômetro

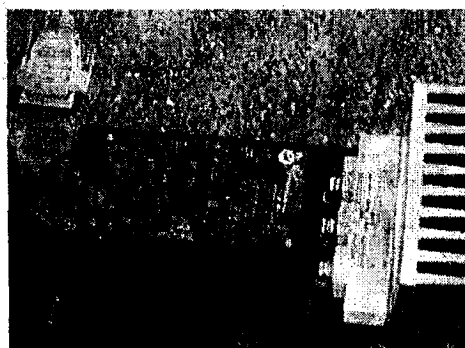


Figura 10: Sistema de Automação

As curvas características obtidas com o sistema de automação são apresentadas na Figura 7. Neste diagrama temos tensão em função da corrente utilizando como parâmetro a radiação. A partir dos dados coletados automaticamente, implementou-se um software em C++Builder, para a plotagem das curvas características. O software é baseado no Algoritmo de Regressão Polinomial. Com este algoritmo não é possível estimar os parâmetros do painel devido a não linearidade do modelo. Apresentamos na Figura 8 uma janela do software desenvolvido e, também, são apresentadas algumas fotos do Sistema de Automação nas Figuras 9 e 10.

7. Conclusão

A Automação do Sistema de Coleta de Dados para Painéis Fotovoltaicos permitiu um tratamento estatístico dos dados eficaz, indispensável com a coleta manual. O sistema eletrônico mais software respondem à dinâmica do painel fotovoltaico. Com este sistema podemos dar subsídios aos projetistas de Sistemas Eletrônicos que utilizam como fonte de alimentação Painéis Fotovoltaicos. Como desenvolvimento posteriores, podemos citar: integração de todo o sistema de automação, confecção automática de relatórios, estimação dos parâmetros do painel fotovoltaico (regressão não linear) e simulação do sistema completo de automação utilizando os softwares Design Architect, AccuSim e/ou Continuum (Mentor Graphics Corporation).

8. Bibliografia

1. Ljung, L.: "System Identification-Theory For The User"; Prentice-Hall, 1987.
2. Gouesbat, G. et alli.: "Reconstructing Dynamics from a Scalar Time Series"; Annals New York Academy of Sciences; Vol. 808; pp. 25-50;1997.
3. Franceschetti, N. N. et alli.: "Modelagem e Simulação da Transferência de potência de um Sistema Fotovoltaico"; Anais do IV Congresso Brasileiro de Eletrônica de Potência; pp. 275-280, Belo Horizonte, 1997.
4. Green, M. A.: "Solar Cells: operating principles, technology and system application"; Prentice-Hall, 1982.
5. FSEC-(Florida Solar Energy Center), "Photovoltaic System Design", FSEC-GP-36-88,Florida,1988.

Agradecimento:

À Corporação Mentor Graphics pela doação do CAD para Automação de Projetos Eletrônicos (Convênio Mentor Graphics - PUC-Minas).