



## Captação e aplicação de energia fotovoltaica

**Ciro Dal Bianco Lopes<sup>1</sup>, Juliana de Oliveira Mota<sup>2</sup>, Tiago Millioli Pereira Almeida<sup>3</sup>, Washington Luís Santos Silva<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista da IFMA. e-mail: ciro.bianco@hotmail.com

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista da IFMA. e-mail: julimota07@gmail.com

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Elétrica Industrial – IFMA. Bolsista da FAPEMA. e-mail: tiagomillioliotmail.com

<sup>4</sup>Doutorando do Programa de Pós-Graduação da UFMA - IFMA. e-mail: washington.wlss@ifma.com

**Resumo:** Este trabalho tem como seu principal objetivo analisar e desenvolver melhorias para o sistema de captação de energia solar, para este fim foi feita uma análise sobre os variados tipos de captador fotovoltaico, para que assim se definisse o mais indicado para os fins deste trabalho. Além destas análises propõem-se o desenvolvimento de um sistema microprocessado de retificação controlada da tensão elétrica fornecida pela célula solar, para a elaboração deste sistema controlador estudos de parâmetros de controle foram feitos com o CI 7812, para que depois pudessemos criar o sistema controlador de tensão, sistema este que será implementado por um conversor DC para DC (*chopper*), com a técnica de chaveamento PWM (*puls-width modulation*), onde a tensão de saída será controlada mediante a alterações na tensão de entrada ou variações na carga, por meio do controle do tempo onde as chaves semicondutoras estão ligadas ou desligadas. A chave pode ser um transistor de potência, um SCR (*Silicon Controlled Rectifier*) ou um transistor FET (*Field-effect transistors*), neste caso será feito pelo microcontrolador 8051.

**Palavras-chave:** Célula solar, Microcontrolado, Energia Solar

### 1. INTRODUÇÃO

O sol, fonte de energia praticamente inesgotável, tanto como fonte de luz quanto de calor, vem ao longo do tempo firmando-se como uma das mais viáveis soluções para os problemas energéticos. A energia solar dentre todas as disponíveis no planeta é a mais limpa e abundante, assim é de importância vital seu aperfeiçoamento, para que no futuro possamos utilizá-la plenamente.

Atualmente, os sistemas fotovoltaicos têm grande utilização em várias áreas e regiões. Apesar disso, o preço dessa tecnologia ainda é muito alto para a maioria dos brasileiros, se o compararmos ao das demais fontes de energia elétrica. Assim se torna mais que evidente a necessidade do desenvolvimento e do barateamento desta fonte de energia.

O Brasil apresenta uma radiação solar média acima de 2500 horas/ano, por ter como característica um clima tropical. Sendo assim a energia fotovoltaica uma das fontes mais viáveis para o futuro do nosso país. A preservação do meio ambiente é um fator muito importante e que muitas vezes é “ignorado” quando pensamos na obtenção de energia, a energia solar se mostra como a fonte das próximas gerações, limpa, gratuita e inesgotável.

Assim neste trabalho apresentamos estudos referentes aos tipos de células fotovoltaicas, assim como a compreensão do funcionamento do efeito fotovoltaico que é o responsável pela conversão de luz em energia elétrica. Mostramos a elaboração de um sistema retificador controlador de tensão, que é implementado por um conversor DC/DC (*chopper*) o qual garantira o controle da saída de tensão do conversor pela técnica de chaveamento PWM (*puls-width modulation*), chaveamento este que será controlado pelo microcontrolador 8051. Este trabalho tem por finalidade garantir que a energia produzida pela célula fotovoltaica possa carregar um banco de baterias, para isso temos que retificar a saída da célula é ainda fazer o controle de tensão, já que o sistema de baterias necessita de uma tensão estável para que possa ser carregado sem nenhum dano.



## 2. LEVANTAMENTOS REALIZADOS

### 2.1 Célula Fotovoltaica Silício Monocristalina

É o material mais usado na composição das células fotovoltaicas, atingindo cerca de 60% do mercado. A uniformidade da estrutura molecular resultante da utilização de um cristal único é ideal para potencializar o efeito fotovoltaico. O rendimento máximo atingido em laboratório ronda os 24%, o qual em utilização prática se reduz para cerca de 15%. A produção de silício cristalino é cara. (Rui Castro)

### 2.2 Efeito Fotovoltaico

O efeito fotovoltaico é a chave para a geração de energia através da luz do sol. Ele ocorre a partir de materiais semicondutores que se caracterizam pela presença de bandas de energia, onde se formarão as bandas de valência e as bandas de condução.

Para estudo inicial o silício, que se caracteriza por possuir quatro elétrons que se ligam aos vizinhos formando uma rede cristalina. Ao doparmos esse material com a adição do fósforo, que possui cinco elétrons de ligação, teremos sempre um elétron sobrando fracamente ligado ao seu átomo de origem. Assim com uma pequena quantidade de energia este elétron ira para a banda de condução, tornando o fósforo um dopante doador de elétrons, ele atua no semicondutor como uma impureza do tipo N.

Já se com o silício utilizarmos o boro, que possui três elétrons de ligação, haverá uma falta de elétrons para satisfazer as ligações, essa falta de elétrons são chamadas de lacuna, com uma pequena incidência de energia um elétron de um sitio vizinho pode pular para esta lacuna, fazendo assim uma nova lacuna em outro lugar, ou uma movimentação de lacuna [isso só pode ser dito para melhor entendimento, pois quem se movimenta sempre é o elétron ou carga negativa, nunca a lacuna ou carga positiva(falta do elétron ), por esta característica o boro é um dopante receptor de elétrons, que atua no semicondutor como uma impureza de tipo P.

O efeito fotovoltaico é dado a partir da introdução dos átomos de boro e fósforo no silício puro, formando uma junção PN. Com esta junção a movimentação de elétrons livres do lado N para o lado P, preenchendo as suas lacunas, tornando o lado P negativamente carregado, assim como o lado N positivamente carregado, este processo continua ate que seja alcançado um equilíbrio, e seja gerado um campo elétrico que impeça a passagem de elétrons livres de N para P.

Ao se expor esta junção PN a fótons com energia superior ao GAP será, simultaneamente, gerando elétrons livres e lacunas, com isso a uma aceleração nas cargas, gerando uma corrente através da junção, dando origem a uma diferença de potencial, que é chamada de efeito fotovoltaico. Ao ligarmos essas duas extremidades do silício (lado P e lado N), haverá circulação de elétrons, e assim nos possibilitando alimentar algum dispositivo eletrônico do nosso interesse.

### 2.3 Controlador de carga com CI LM 7812

Os controladores de carga são circuitos, que têm a finalidade de apresentar uma carga elétrica ideal assim com uma tensão estável para que se torne possível a alimentação de um sistema de baterias.

Neste trabalho forma utilizados para obtenção de parâmetros no controle da tensão de saída.

### 2.4 Microcontrolador 8051

O 8051 é um microcontrolador rápido com *clock* de 12 MHz,sendo que existem versões de até 30MHz, fornecidas por outros fabricantes, e suas características de *hardware* e *software* permitem usá-lo como um poderoso controlador, sobretudo em sistemas para lógica sequencial e combinatória.

Pode trabalhar com até 64 KBytes de memória de programa e mais 64KBytes de memória de dados isoladamente, além de sua RAM interna.

Suas características de *hardware* incluem capacidade de expansão da memória de programa (inicialmente 4KBytes internamente ) para até 64KBytes totais, colocando mais de 60 KBytes



externos, ou então utilizar 64KBytes de memória externa de programa, com a versão 8031, que é a mais utilizada comercialmente, devido ao seu baixo custo; permite-nos também expandir a memória RAM dos 128 Bytes internos para mais 64 KBytes externos; possui quatro portas I/O de 8 Bits cada uma, Bits estes individualmente endereçáveis (caso a memória de programa externa seja utilizada, duas destas portas ficarão comprometidas); interrupção com estrutura “*nesting*” (este é o nome que se dá AP processo pelo qual uma interrupção pode interromper outra que já estiver sendo executada, desde que tenha maior prioridade ) como 5 fontes mascaráveis e dois níveis de prioridade que podem ser alteradas a qualquer momento pelo *software*; dois temporizadores/contadores de 16 Bits; osciladores de *clock* interno, bastando um cristal e dois capacitores; e também um canal de comunicação serial do tipo UART *full-duplex*, que permite também expansão de I/O(SILVA).

## 2.5 Choppers DC

O conversor DC para DC (*chopper* DC) é usado para obter uma tensão DC variável a partir de uma fonte de tensão DC constante. O valor médio da tensão de saída varia quando se altera a proporção do tempo no qual a saída fica ligada à entrada. Essa conversão pode ser obtida pela combinação de indutor e/ou um capacitor e um dispositivo de estado sólido que opere no modo de chaveamento em alta frequência. Em aplicações de alta tensão e alta corrente, os dispositivos de chaveamento usados em circuitos *chopper* são os tiristores. Quando se usam os transistores de alta potência – TJBs (*bipolar junction transistors* – transistor de junção bipolar) ou MOSFETs (*metal-oxide semiconductor Field-effect transistors* – transistores de efeito de campo metal-óxido-semicondutor) ou ainda os GTOs (*gate-turnonoff thyristors* – tiristores de desligamento por porta)-, pode-se passar para o estado desligado com facilidade. Basta controlar a corrente de base ou de porta. Os tiristores utilizados em circuitos DC devem passar para o estado desligado via comutação forçada, uma vez que não tem a facilidade de comutação natural, como ocorre nos circuitos AC.

A técnica de chaveamento usado em *choppers* DC é denominada de PDW (*pulse-width modulation* – modulação por largura de pulso). Há duas espécies fundamentais de circuitos *chopper*: *step-down* ou *Buck* e *step-up* ou *boost*. O *Chopper Buck* produz uma tensão de saída menor ou igual a tensão de entrada, o *Chopper Boost* fornece uma tensão de saída maior ou igual a tensão de entrada. Ambos são usados em várias aplicações industriais nas quais há uma fonte constante. As aplicações típicas incluem controle de motores DC para tração elétrica, chaveamento de alimentadores de potência, UPS (*Uninterruptible Power Supplies* – fonte de alimentação de funcionamento contínuo) e equipamentos operados por bateria (ASHFAQ).

## 2.6 Choppers Buck-boost

O circuito *Chopper Buck-boost* DC para DC combina a tensão de saída de outros conversores *choppers*. A tensão de saída pode ser mais alta, igual ou menor do que a tensão de entrada. (ASHFAQ).

A grande vantagem deste tipo de *chopper* e sua capacidade de regular uma tensão acima da desejada, como uma tensão abaixo da desejada, possibilitando assim um maior controle da saída.

## 2.7 PWM

O circuito que utiliza modulação por largura de pulso é conhecido como circuitos PWM (*Pulse-Width Modulation*). O PWM parte do princípio que um sinal poderá modificar seu tempo de *on* (nível lógico alto) ou *off* (nível lógico baixo ), tanto para mais como para menos, mas sem nunca modificar o período do sinal.

## 3. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Material

- Módulo fotovoltaico (Siemens M55 )
- 1 microcontrolador ATMEL AT89S52
- CI LM7812
- 4 Diodos (3n257)



- 1 capacitor eletrolítico 220  $\mu\text{F}$
- 2 LED's verdes
- 1 capacitor eletrolítico 10 $\mu\text{F}/35\text{V}$
- 3 capacitor cerâmico 10nF
- 2 capacitores cerâmicos 33nF
- 1 cristal 12MHz
- 4 resistores 1K $\Omega$  1/4W
- Compilador PINNACLE 52
- Gravador de AT89S52 – CERNE
- Fonte regulável de tensão DC
- Osciloscópio digital
- Fios para contato
- Protoboard
- Multímetro

### 3.2 Métodos

Para se alcançar os resultados propostos neste trabalho o subdividimos em pontos de maior importância: levantamento bibliográfico, definição da célula solar, teste de captação de energia da célula solar, obtenção de parâmetro de controle de tensão do CI 7812, criação do programa PWM de controle de largura de pulso.

Durante a etapa de levantamento bibliográfico foram pesquisados os tipos de células fotovoltaicas, bem como o funcionamento do efeito fotovoltaico. Uma vez que a energia obtida através da celular solar não pode ser utilizada diretamente, durante o levantamento bibliográfico, foi pesquisado, também, maneiras de torna essa energia utilizável. Para este fim, foram estudados os tipos de controles de tensão, inicialmente usando o circuito integrado LM7812, e posteriormente o circuito *Chopper Buck-Boost*. Para a utilização do circuito *chopper* foi necessário fazer um estudo sobre o PWM, pois este é responsável por controlar chaveamento do circuito *chopper*. Neste trabalho o PWM será implementado pelo microcontrolador 8051.

Posteriormente ao levantamento bibliográfico foi definido o tipo de célula fotovoltaica, assim como os componentes necessários para a implementação deste trabalho.

Já em posse da célula fotovoltaica, nos foi possível efetuar alguns teste para obter parâmetros da sua capacidade de produção de energia.

Após testarmos a célula fotovoltaica, obtivemos estimativas de controle de tensão com a utilização do CI LM7812, foram feitos teste com varias cargas, para que assim pudéssemos estimar ate que carga nossa célula poderia suportar, mantendo ainda um nível de potência aceitável.

Neste ponto do trabalho, foi desenvolvido o programa de controle da largura de pulso, tendo este uma vital importância para o projeto, pois com ele podemos controlar o tempo que o sinal de chaveamento do *chopper* ficara em *ON*(alto) ou em *OFF*(baixo), com este programa nos é possível modular a largura de pulso da maneira que quisermos , assim podendo manipular a saída de tenção do *chopper* de maneira que possamos sempre obter a saída desejada, esse controle foi desenvolvido na linguagem *ASSEMBLY*, que é conhecida como uma linguagem de baixo nível ou nível de maquina, diferente de linguagens como Pascal, C, C++, dentre outra. Para que pudéssemos fazer é compilar o programa utilizamos o compilador *Pinnacle 52*, a gravação do programa no microcontrolador 8051, foi feita via USB, utilizando o programa de gravação e o gravador da *Cerne*.

Este programa tem como objetivo nos permitir controlar o tempo de chaveamento, ou seja, conseguimos controlar tanto o período total, quanto o tempo que o sinal estará em *ON* (alto) ou *OFF* (baixo), ainda nos permite variar esse tempos dependendo da entrada fornecida pela célula solar, assim nos permitindo produzir uma saída de tensão constante e própria para alimenta um sistema de baterias.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as diversas células fotovoltaicas estudadas, a célula fotovoltaica de silício monocristalino (FIGURA 01), mostrou-se como sendo a melhor opção para a viabilidade do projeto. Assim, nos foi



disponibilizado, pelo IFMA, o módulo fotovoltaico M55 (FIGURA 02) composto pelas células especificadas. De posse do módulo, foram feitos testes referentes à sua capacidade de absorção de energia solar ao longo do dia (TABELA 1).



Figura 01- célula fotovoltaica de silício monocristalino



Figura 02- Módulo fotovoltaico M55

Tabela 1- Estimativas da medição de tensão do módulo solar

Hora	Tensão Max	Tensão Min
9:00	20.55V	19.45V
11:00	20.45V	19.55V
12:00	21.23V	19.61V

Com a utilização do controlador de tensão LM7812, foram obtidos valores referentes a relação da carga com a potencia fornecida pela célula fotovoltaica (Gráfico 1)

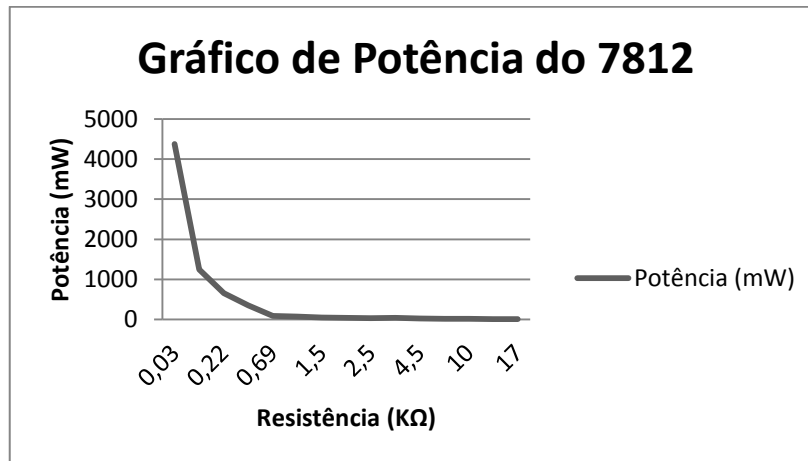


Gráfico 1 - Resultados da variação de potência em relação a variação de carga.

Então, nos foi possível idealizar uma maneira de controlar a tensão que será fornecida para o sistema de baterias, para esse fim utilizamos um conversor DC/DC (*chopper* DC), que pela modulação da largura do pulso do sinal de entrada nos permite controlar o sinal de saída, da maneira que mas nos seja útil (neste caso 12 V), o *chopper* realiza o controle de largura de banda utilizando-se de uma chave, onde quando a chave esta fechada o sinal esta no estado alto ou *on*, já quando ela esta aberta o mesmo se encontra em estado baixo ou *off*, dependendo do tempo que o sinal fica em *on* ou *off* a tensão diminui ou aumenta, com esse sistema podemos obter a tensão desejada na saída, tendo tanto uma entrada maior que a desejada, como uma entrada menor.



Já com os conhecimentos tanto de 8051 quanto do *chopper* DC, nos foi possível idealizar um sistema microcontrolado, neste utilizamos o 8051 para executar o chaveamento do *chopper*, para isso montamos um fluxograma que é exposto abaixo (FIGURA 03)

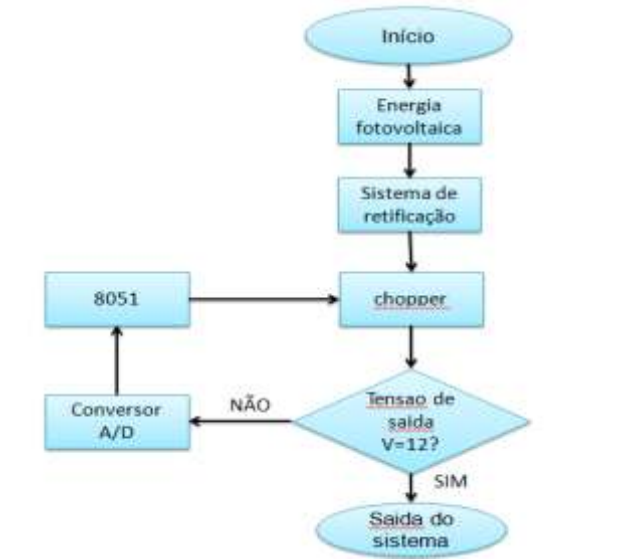


Figura 03- Fluxograma referente ao sistema de controle de tensão microcontrolador.

Para que o controle de tensão fosse uma realidade foi criado um controle de largura de pulso (PWM), controle esse que foi implementado, com o microcontrolado 8051, nos permitindo garantir uma saída de tensão estável que alimente um sistema de baterias.

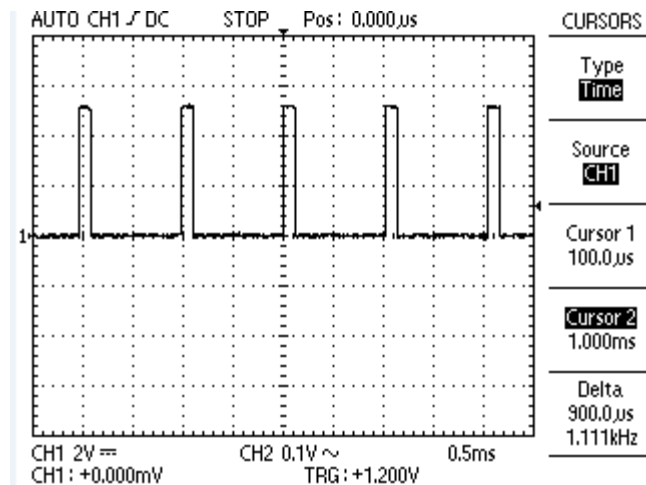


Figura 04-Sinal de onda DC controlado pelo PWM, com largura de ON de 10% (100µs) e de OFF de 90% (900µs), do período do sinal (1000µs).

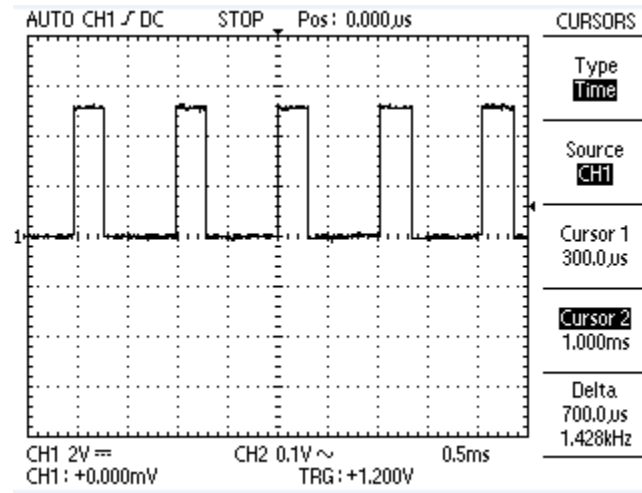


Figura 05-Sinal de onda DC controlado pelo PWM, com largura de *ON* de 30% (300µs) e de *OFF* de 70% (700µs), do período do sinal (1000µs).

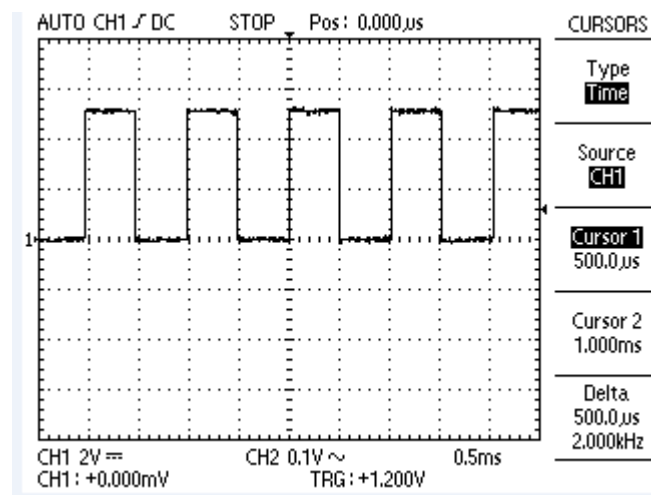


Figura 06-Sinal de onda DC controlado pelo PWM, com largura de *ON* de 50% (500µs) e de *OFF* de 50% (500µs), do período do sinal (1000µs).

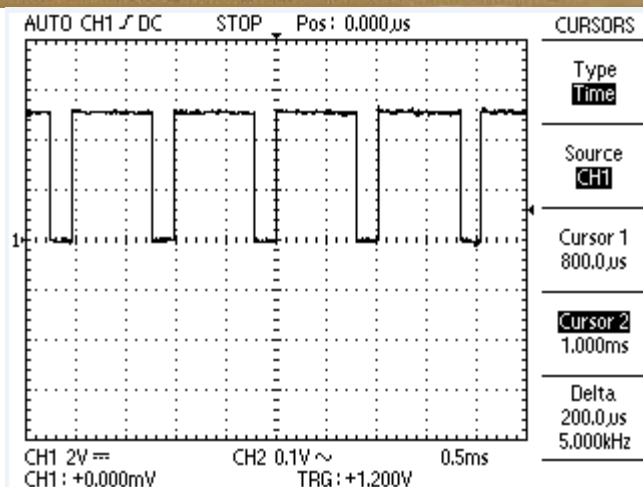


Figura 06-Sinal de onda DC controlado pelo PWM, com largura de ON de 80% (800µs) e de OFF de 20% (200µs), do período do sinal (1000µs).

Com já foi dito neste artigo, o PWM este programa tem grande importância, pois com ele nos foi possível ter um controle total do tempo de chaveamento ligado ou desligado.

## 5. CONCLUSÃO

Neste trabalho foi analisado e definido o conjunto mais indicado para a captação de energia fotovoltaica. Definido o tipo de célula e módulo fotovoltaicos, assim como o melhor sistema para retificação e controle de tensão.

Para o sistema controlador tensão utilizamos um circuito *Chopper Buck-boost*, microcontrolado pelo 8051, que a partir de um programa em *ASSEMBLY* realizava o chaveamento necessário para este sistema. Ainda se faz necessário alguns arranjos para que ocorram menores perdas neste processo.

Este sistema de controle tem uma vasta aplicação, visto que o mesmo pode ser modificado para controlar qualquer entrada de tensão fornecida pela célula solar, tornando assim a utilização da energia solar, mas viável para a população.

Para trabalhos futuros pretende-se melhorar o sistema de controle de tensão, se utilizando de uma programação com melhor resposta e precisão, nosso trabalho ainda pretende focar na obtenção da energia solar, tentaremos criar métodos para que possamos obter o Máximo de energia do sol, por meio de um sistema de movimentação do painel fotovoltaico.

## REFERENCIAS

THOMAS, H. P., KROPOSKI, B., MCNUTT, P., WITT, C. E., BOWER, W., BONN, R, HUND, T.D., “**Progress in Photovoltaic System and Component Improvements**”. *National Renewable Energy Laboratory/ U.S. Department of Energy*, July 1988.

SILVA Júnior, Vdgal Pereira da, **Aplicações Práticas do Microcontrolador 8051**. 10 Ed. São Paulo, Érica Ltda, 2002.

ASHFAQ Ahemd. **Eletrônica de Potência**. São Paulo, Pearson Prentice Hall, 2006

Rui Castro. **Introdução à Energia Fotovoltaica** - Disponível em <[http://enerp4.ist.utl.pt/Content/RuiCastro/download/Fotovoltaico\\_ed2p2.pdf](http://enerp4.ist.utl.pt/Content/RuiCastro/download/Fotovoltaico_ed2p2.pdf) - acessado em 2011> Acessado em: Maio de 2012

C.P. Jain. **World Energy Council**. Disponível em: <[http://www.worldenergy.org/publications/survey\\_of\\_energy\\_resources\\_2007/default.asp](http://www.worldenergy.org/publications/survey_of_energy_resources_2007/default.asp)> Acessado em : Junho de 2012