

UTILIZAÇÃO DE MÓDULOS FV DE FILME FINO EM AMBIENTES INTERNOS PARA ALIMENTAÇÃO DE CARGAS DE BAIXO CONSUMO

Dyego de Campos – dyego.campos@ifsc.edu.br

Clóvis Antônio Petry – petry@ifsc.edu.br

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, Departamento Acadêmico de Eletrônica

Resumo. *Esse trabalho apresenta o desenvolvimento de um circuito de captação, processamento e armazenamento de energia luminosa em ambientes internos. Descrevem-se os componentes do projeto, como: painéis fotovoltaicos para ambientes internos, conversor cc-cc e supercapacitores. Propõe-se um processamento de energia com circuito de baixo consumo e alto rendimento. Apresenta-se uma nova tecnologia no armazenamento de energia. A geração de conteúdo e disseminação da tecnologia de energia fotovoltaica também é resultado do trabalho. Por fim obtêm-se produtos de baixa potência auto-suficientes energeticamente. A funcionalidade do sistema proposto foi realizada com a implementação de um protótipo de laboratório, constituído por um painel de 1 mA x 7 V, supercapacitores associados resultando em 6 F x 11 V, alimentando um sensor de presença com corrente variável de 18 μ A à 4,5 mA e tensão de 9 V.*

Palavras-chave: *Célula indoor, Energia fotovoltaica, Supercapacitores.*

1. INTRODUÇÃO

Com aumento do número de equipamentos que não utilizam a rede elétrica diretamente, a demanda de dispositivos de armazenamento também aumentou. Normalmente são utilizadas pilhas, baterias e mais recentemente os supercapacitores, como dispositivos de armazenamento. O material dos quais pilhas e baterias são constituídas, em muitos casos, possuem metais pesados em sua composição. O descarte desses componentes preocupam governos e empresas, pois quando não efetuado de forma correta é prejudicial ao meio ambiente (Reidler, 2000).

O uso de energia solar para alimentar equipamentos no qual o acesso à rede elétrica não está disponível, é possível através dos dispositivos fotovoltaicos, que convertem a energia solar em energia elétrica (Singh, 2013). Os dispositivos mais utilizados são os de silício cristalino. Porém, o uso desses em ambientes internos é inviável devido ao seu volume e eficiência sob radiação artificial. Uma solução é o uso dos dispositivos de filmes finos, pois além de mais baratos, do ponto de vista financeiro, ainda possuem a vantagem de utilizarem menor quantidade de material e o local onde os filmes são depositados, os substratos, são flexíveis, transparentes, leves e possuem uma estética mais atraente, tornando possível a utilização em ambientes internos (Ghensev, 2006).

Nesse contexto, a ideia deste trabalho é reutilizar a energia luminosa artificial ou natural, captada por módulos de filmes finos (Gau, 2013), para alimentar equipamentos de baixo consumo, os que são tipicamente supridos por uma bateria alcalina de 9 V e \approx 250 mA, em ambientes internos com pouca ou nenhuma iluminação solar, e também armazenar esta energia convertida em supercapacitores, para uso em períodos em que não houver iluminação ambiente. Desta forma, elimina-se a necessidade da utilização de pilhas, baterias ou da rede elétrica como fonte de energia direta ou como forma de recarregamento desses armazenadores de energia (Schnewwly, 2000).

A estrutura do trabalho está dividida nos seguintes tópicos: no item 2 é apresentada a metodologia utilizada; nos itens 3 e 4 são apresentadas as tecnologias utilizadas, respectivamente, dispositivos fotovoltaicos e supercapacitores; a estrutura proposta é apresentada no item 5; já no item 6 é apresentado um exemplo de aplicação da estrutura; o projeto da estrutura é apresentado no item 7; por sua vez, no item 8 são apresentados os resultados obtidos com o trabalho. Ao final, no item 9, são apresentadas as conclusões referentes ao trabalho realizado.

2. METODOLOGIA

A metodologia empregada consistiu primeiramente em realizar um estudo do tema e das tecnologias empregadas no projeto tais como: tecnologias fotovoltaicas e de dispositivos de armazenamento disponíveis. Logo após, foram escolhidos os componentes e tecnologias utilizados. Foram realizados ensaios do funcionamento individual dos componentes, como: a carga, os módulos fotovoltaicos e os supercapacitores. Então, foi realizada uma análise comparativa dos resultados práticos com os teóricos. Em paralelo ao descrito, foi realizada a documentação de cada etapa com a finalidade de gerar conteúdo para reprodução posterior, bem como com a intenção de obter o domínio sobre as tecnologias apresentadas.

3. TECNOLOGIA DE DISPOSITIVOS FOTOVOLTAICOS

Segundo Ghensev (2006) as células ou dispositivos fotovoltaicos podem ser divididos em três grupos, de acordo com sua tecnologia e aplicação no mercado, dentre os quais as que são fabricadas com o uso do silício cristalino, tanto o silício monocristalino (m-Si) como o policristalino (p-Si); e as que são fabricadas com filmes finos de silício amorfo (a-Si), telureto de cádmio (CdTe) ou disseleneto de cobre e índio/gálio (CIS/CIGS).

As células de filmes finos utilizam uma quantidade menor de material, em relação as células de silício cristalino, seu processo de fabricação é menos custoso e utiliza substratos mais baratos. Podendo esses substratos serem feitos de materiais flexíveis, leves e transparentes. (Oliveira, 2008 e Konagai, 2013).

A escolha do tipo de módulo foi baseada na Tab. 1 (Ghensev, 2006), na qual é feita uma relação custo x benefício com base em alguns dados: custo dos materiais, processos de manufatura e eficiência funcional de conversão energética. Assim, optou-se pelo a-Si pela melhor relação custo x benefício, além de apresentar uma melhor resposta espectral em relação ao c-Si, por exemplo.

Tabela 1 – Relação Custo x Benefício dos módulos fotovoltaicos.

MATERIAL	FATOR CUSTO X BENEFÍCIO
Silício policristalino (pc-Si)	3,5
Silício monocristalino (mc-Si)	2,3
Silício amorfo (a-Si)	1,5
Telureto de Cádmio (CdTe)	0,42
Disseleneto de Cobre Índio (CIS)	0,29

O grupo utilizado nesse trabalho será o de filmes finos e o módulo fotovoltaico utilizado, Fig. 1, será do tipo de silício amorfo, modelo 07/096/096COA do fabricante SOLEMS S.A.



Figura 1 – Módulo fotovoltaico utilizado.

As características do módulo 07/096/096COA, segundo manual do fabricante são apresentadas na Tab. 2.

Tabela 2 – Características elétricas do módulo 07/096/096COA.

AMBIENTE		V_{oc} [V]	I_{cc} [μ A]	MPP I / V [μ A / V]
Ambiente interior	200 lux	3,9	160	133/2,8
	1000 lux	4,2	820	660/3
Ambiente exterior (25° - AM 1,5)	200 W/m ²	4,5	20000	0,17/3,5
	1000 W/m ²	5	99000	0,65/3,7

4. TECNOLOGIA DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Entre os dispositivos de armazenamento de energia mais utilizados atualmente podem-se citar: capacitores convencionais, baterias e supercapacitores.

Um capacitor convencional, é formado por duas placas metálicas separadas por um material isolante chamado de dielétrico. A capacitância depende da superfície das placas, da espessura do dielétrico e do material do qual o dielétrico é feito.

De acordo com Schneuwly (2000), supercapacitores, também conhecidos como ultracapacitores ou capacitores elétricos de dupla camada (EDLC), são armazenadores de energia que possuem uma boa relação entre alta densidade de potência e energia, quando comparados aos outros armazenadores mais usados atualmente: baterias e capacitores convencionais. Os supercapacitores, de acordo com Fanjul (2003), não possuem o dielétrico sólido como nos capacitores e possuem uma superfície com grande área. Segundo Braga (2010), isso é obtido pela utilização de um eletrodo poroso a base de carbono que é imerso em uma substância condutora, chamada de eletrólito, que penetra nos poros de carbono e através de reação forma uma película ultrafina, o dielétrico, que cobre todos os poros.

O supercapacitor utilizado nesse trabalho, Fig. 2, é o EDLSG155V5R5C do fabricante Cornell Dubilier.



Figura 2 – Supercapacitor utilizado.

As características do supercapacitor utilizado são apresentadas na Tab. 3.

Tabela 3 – Característica do supercapacitor EDLSG155V5R5C.

CAPACITÂNCIA	1,5 F
TENSÃO	5,5 V
RESISTÊNCIA SÉRIE EQUIVALENTE (ESR)	30 Ω
FAIXA TEMPERATURA DE OPERAÇÃO	-25 °C até 85 °C

Segundo Reidler e Gunther (2000), as pilhas e baterias comportam-se como usinas portáteis, que transformam energia química em energia elétrica. Elas podem ser divididas, entre outras, como primárias (descartáveis) e secundárias (recarregáveis). Os tipos de pilhas e baterias de uso doméstico mais comum são: as alcalinas e as de zinco-carbono, do tipo primário e as de níquel-cádmio do tipo secundário. As pilhas alcalinas atualmente são isentas de mercúrio em sua composição. Enquanto as de zinco-carbono possuem baixo teor de mercúrio. Porém, além do mercúrio, pilhas e baterias podem conter em sua composição metais pesados como: o chumbo, o zinco e o cádmio. O grande problema com esses dispositivos de armazenamento é o descarte de forma incorreta, o que acaba acarretando problemas ambientais e de saúde ao ser humano, principalmente para dispositivos não regulamentados, piratas, que podem conter níveis de metais pesados acima do permitido.

A Tab. 4 Schneuwly (2000), mostra uma comparação entre os três dispositivos de armazenamento mais utilizados atualmente.

5. ESTRUTURA PROPOSTA

A Fig. 3 dá uma visão geral do projeto. O mesmo é composto por um painel fotovoltaico, que tem por objetivo captar a energia luminosa artificial ou natural do ambiente e convertê-la em energia elétrica. Em seguida, o conversor eleva a tensão do painel para a tensão de operação da carga. Após passar pelo conversor é realizado o armazenamento de energia nos supercapacitores para ser utilizada pela carga, um sensor de presença, por exemplo.

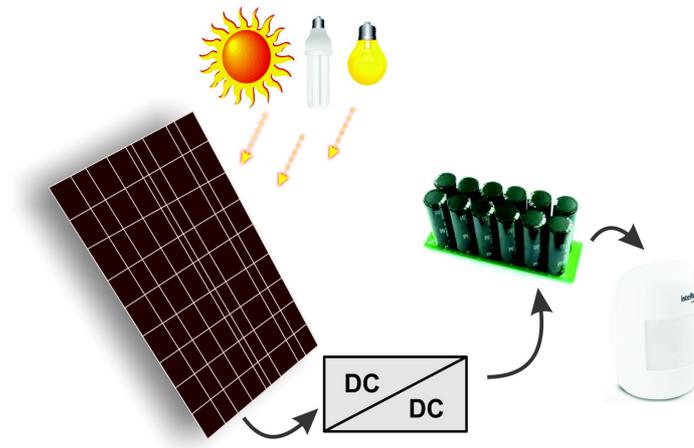


Figura 3 – Estrutura proposta.

Tabela 4 – Comparação entre dispositivos de armazenamento.

CARACTERÍSTICA	CAPACITOR CONVENCIONAL	EDLC	BATERIAS
Densidade de energia [Wh/kg]	0,1	3	100
Densidade de potência [W/Kg]	10^7	3.000	100
Tempo de carga [s]	$10^{-3} - 10^{-6}$	0,3-30	> 1.000
Tempo de descarga [s]	$10^{-3} - 10^{-6}$	0,3-30	1.000 – 10.000
Nº Ciclos	10^{10}	10^6	1.000
Durabilidade [anos]	30	30	5
Eficiência [%]	> 95	85 - 98	70 - 85

6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO DA ESTRUTURA

Como aplicação do projeto, é necessária uma carga para ambientes internos, de baixo consumo e preferencialmente um produto de empresas regionais. Desta forma, foi escolhido um sensor de presença sem fio, modelo IVP2000SF da fabricante Intelbras.

O objetivo neste projeto é substituir a bateria e utilizar como fonte de alimentação do sensor de presença (carga) painel fotovoltaico e supercapacitores, sendo que durante o período em que o ambiente está iluminado o painel armazena energia nos supercapacitores que tem por objetivo fornecer energia à carga, inclusive em períodos sem iluminação ambiente.

Com base em informações do fabricante e em ensaios do produto, foram obtidos dados do sensor que são apresentados na Tab. 5. O sensor possui três modos de operação: Inicial, teste e normal. O modo inicial serve para autoconfiguração do sensor. O modo de teste tem a finalidade do usuário realizar testes do sensor como, por exemplo, ajuste do ângulo de cobertura. Já o modo normal é o modo de funcionamento normal do sensor.

Tabela 5 – Consumo do sensor.

MODO		TEMPO [s]	I [mA]	I MÉDIA [mA]
Inicial	Acionado	20	0,47	0,47
Teste	Acionado	3	4,50	3
	Em espera	600	0,0178	
Normal	Acionado	3	4,50	0,241

7. PROJETO DA ESTRUTURA PROPOSTA

A energia pode ser calculada pela Eq. (1):

$$Energia = P \cdot t \quad [J] \quad (1)$$

A Eq. (2) apresenta a energia demandada pelo sensor durante seu Modo Inicial. Na Eq. (3) têm-se essa energia demandada para o Modo Teste. E para o Modo Normal, considerando o sensor atuando durante 24 h, a energia demandada é apresentada na Eq. (4).

$$\begin{aligned} Energia_{modoInicial} &= 470\mu A \cdot 7V \cdot 20s \\ Energia_{modoInicial} &= 65,8 mJ \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} Energia_{modoTeste} &= 3mA \cdot 7V \cdot 600s \\ Energia_{modoTeste} &= 12,6 J \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} Energia_{modoNormal} &= 241\mu A \cdot 7V \cdot 86400s \\ Energia_{modoNormal} &= 145,75 J \end{aligned} \quad (4)$$

Com a carga escolhida e os valores de energia demandada pela carga definidos, o próximo passo é calcular a quantidade de módulos e o tipo de arranjo desses módulos necessários para o fornecimento da energia. O caso mais crítico é o Modo Normal no qual o sensor consome mais energia.

Para os ensaios foram utilizadas 4 módulos, em razão do preço para adquirir um número maior destes. Os módulos foram interligados para a formação de um painel, Fig. 4.

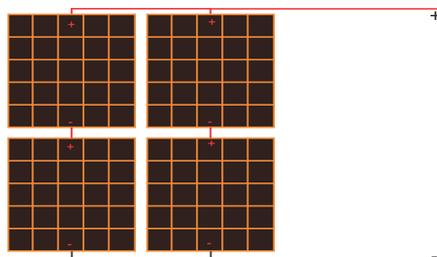


Figura 4 – Associação de módulos fotovoltaicos.

As características elétricas do painel são apresentadas na Fig. 5. As curvas foram simuladas por aproximações por retas. O ponto de máxima potência (MPP) ocorre para uma tensão de 5,6 V e uma corrente de 264 μA .

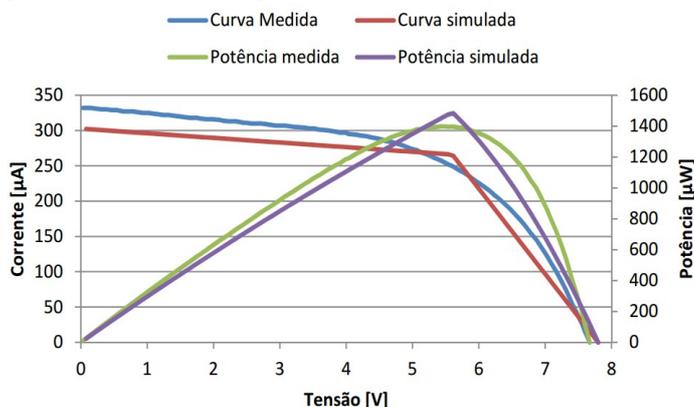


Figura 5 – Curva e potência simuladas x Medidas do painel sob 200 lx.

Essa quantidade de módulos não é suficiente para fornecer toda a energia demandada pelo sensor, conforme Eq. (5).

$$\begin{aligned} \text{Energia} &= 264\mu\text{A} \cdot 5,6\text{V} \cdot 28800\text{s} \\ \text{Energia} &= 42,57\text{ J} \end{aligned} \quad (5)$$

Seria necessário associar um maior número de módulos. Uma outra solução encontrada, foi realizar os ensaios sob uma iluminância maior que 200 lx. No laboratório onde os testes foram realizados a iluminância era de 697 lx. O painel sob essa iluminância apresentou o seguinte ponto de máxima potência: tensão de 7,01 V e corrente de 997 μA , Fig. 6.

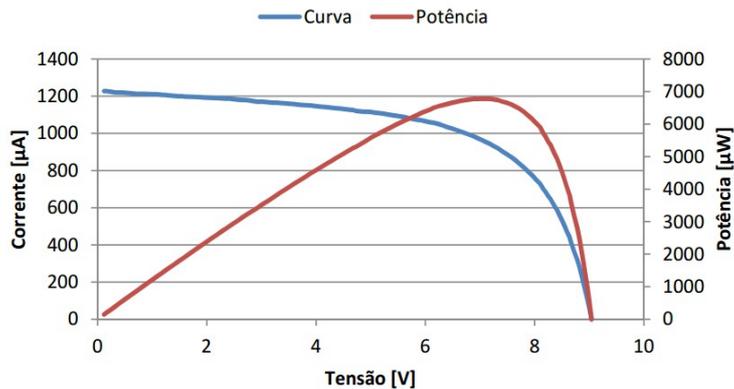


Figura 6 – Características elétricas do painel.

Sob estas condições a energia gerada pelo painel durante um período de 8 h é de 201,28 J, Eq. (6).

$$\begin{aligned} \text{Energia} &= 997\mu\text{A} \cdot 7,01\text{V} \cdot 28800\text{s} \\ \text{Energia} &= 201,28\text{ J} \end{aligned} \quad (6)$$

O valor de capacitância é calculada pela equação da energia de um capacitor, Eq. (7).

$$\text{Energia} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \Delta V^2 \quad (7)$$

A Eq. (8) é um rearranjo da equação de energia do capacitor.

$$C = \frac{2 \cdot \text{Energia}}{\Delta V^2} \quad (8)$$

O capacitor deve ser capaz de fornecer 145,75 J à carga e uma tensão mínima de 7 V. Desta forma o valor de capacitância necessário, é apresentado na Eq. (9).

$$\begin{aligned} C &= \frac{2 \cdot 145,75}{7^2} \\ C &= 5,94\text{ F} \end{aligned} \quad (9)$$

O valor da capacitância necessária é de no mínimo 5,94 F. Cada supercapacitor tem capacidade de carga de 1,5 F, e deve suportar uma tensão de até 9 V, que é a tensão máxima da carga. Como a tensão máxima para o modelo utilizado é de 5,5 V é preciso realizar uma associação mista dos supercapacitores de modo a obter os valores necessários. A Fig. 7 apresenta a associação realizada, que possui capacitância de 6 F e suporta tensão até 11 V.

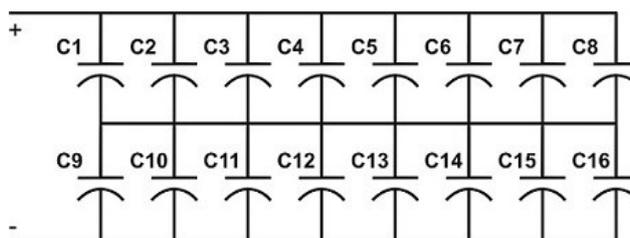


Figura 7 – Associação de supercapacitores.

8. RESULTADOS

O teste foi realizado com o painel sob iluminância de 704 lux, com pequena variação, medida com o luxímetro. Para o modo inicial do sensor, os dados medidos são apresentados na Tab. 6, sendo esses os valores iniciais do circuito. Os valores nesse modo não sofreram variação, já que a energia consumida é pequena, Eq. (2).

Tabela 6 – Consumo do sensor nos testes com iluminação.

MODO	VALOR	V _{PAINEL} [V]	V _{SUPERCAP} [V]	I _{PAINEL} [μA]	NÚMERO DE ACIONAMENTOS	ILUMINÂNCIA [lx]	DURAÇÃO [s]
Inicial	Inicial	7,8	7,13	802	0	704	20
Teste	Inicial	7,8	7,13	811	59	704	600
	Final	7,7	7	847			
Normal (sem acionamento)	Inicial	7,71	7,04	836	0	706	900
	Final	7,83	7,16	804			
Normal (com acionamento)	Inicial	7,83	7,16	804	5	707	1200
	Final	7,91	7,25	789			

Para o modo teste, a energia consumida é maior do que a do modo inicial Eq. (2), por esse motivo houve variações nos valores lidos. Na Tab. 6, pode-se verificar que a tensão variou de 7,13 V (inicial) até 7 V (final). A diferença entre a tensão do painel e a dos supercapacitores, Tab. 6, é devido a queda de tensão no diodo em série. No modo teste foram realizados 59 acionamentos, com duração de 3 s cada, totalizando 177 s. A energia demandada foi de 3,717 J, Eq. (10).

$$\begin{aligned}
 \text{Energia} &= 3\text{mA} \cdot 7\text{V} \cdot 177\text{s} \\
 \text{Energia} &= 3,717\text{ J}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Já a energia gerada pelo painel durante o modo teste, com duração de 600 s, corrente de 847 μA, e tensão de 7 V, é calculada na Eq. (11).

$$\begin{aligned}
 \text{Energia} &= 847\mu\text{A} \cdot 7\text{V} \cdot 600\text{s} \\
 \text{Energia} &= 3,55\text{ J}
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Dessa forma, a energia gerada pelo painel não foi suficiente, sendo necessário o fornecimento da energia armazenada nos supercapacitores. Caso o número de disparos do sensor fosse o máximo possível, 100 acionamentos, a energia fornecida pelos supercapacitores seria ainda maior, Eq. (3). A potência do sensor no modo teste é a maior dos três modos, porém por um tempo menor que a do modo normal.

Os resultados dos testes realizados no ambiente sem iluminação são apresentados na Tab. 7. Os valores da iluminância, da tensão e da corrente medidos durante os testes foram zero. Como não havia geração, toda energia utilizada foi fornecida pelos supercapacitores.

Tabela 7 – Consumo do sensor nos testes sem iluminação.

MODO	VALOR	V _{SUPERCAP} [V]	ILUMINÂNCIA [lx]	DURAÇÃO [s]
Inicial	Inicial	7,13	704	20
Teste	Inicial	7,13	704	600
	Final	7		
Normal (sem acionamento)	Inicial	7,04	706	900
	Final	7,16		
Normal (com acionamento)	Inicial	7,16	707	1200

9. CONCLUSÕES

Neste artigo foi apresentada a utilização de módulos fotovoltaicos de filmes finos para suprimento de energia para pequenas cargas, por exemplo, sensores de presença.

O preço dos módulos ainda é caro e o custo final associado as tarifas bancárias e de importação tornam o projeto com custo elevado. A longo prazo, o usuário sentiria a economia gerada pelo uso desse circuito, porém a curto prazo não indica ser vantajoso. Caso o painel trabalhasse na máxima potência (MPP), o tempo de carga poderia ser reduzido. Outro problema é que a busca por esse ponto requer gastos e energia com processamento de dados. Para isso seria necessário um dispositivo com baixo consumo e que seja capaz de realizar o processamento de dados. Caso contrário esse dispositivo consumiria toda a energia gerada. Na estrutura proposta, se os supercapacitores já estiverem carregados, a energia excedente é desperdiçada o que diminui a eficiência do projeto.

Por sua vez, o espaço físico ocupado pelo sistema quando comparado a uma bateria, elemento que é substituído, é muito grande. Enquanto uma bateria possui medidas 4,9 x 2,6 cm, este projeto possui medidas aproximadas de 25 x 25 cm. Porém, com o aprimoramento das tecnologias dos elementos fotovoltaicos, o tamanho tende a diminuir enquanto a eficiência tende a aumentar.

Ao serem comparadas às baterias, as tecnologias utilizadas neste projeto: módulos fotovoltaicos e supercapacitores, possuem uma vida útil bem maior. Com módulos tendo garantia de fabricantes de 10 anos e supercapacitores com tempo de vida de 30 anos, o projeto proposto tende a ser durável por muito tempo, sem precisar de manutenção, sendo uma opção em longo prazo visando redução de impactos ambientais e econômicos.

Os resultados obtidos indicam que o uso da tecnologia de módulos de filmes finos é viável tecnicamente; no entanto em virtude do alto custo ainda não é viável economicamente. Porém, os resultados ambientais que se obtêm com o uso dessa tecnologia motivam a realização de pesquisas correlatas ao tema desse trabalho.

Agradecimentos

Os autores agradecem a empresa SOLEMS S.A pelo fornecimento de dois módulos fotovoltaicos. Também manifestam seu agradecimento à FAPESC (Chamada Pública 04/2012 – T.O 11.340/2012-9) pelo aporte financeiro para o desenvolvimento do projeto por meio do LPEE (Laboratório de Processamento Eletrônico de Energia).

REFERÊNCIAS

- Braga, N. C. Ultracapacitores (ART244). Disponível em: <<http://www.newtonbraga.com.br/index.php/como-funciona/1663-ultracapacitores>>. Acesso em 03 jun. 2013.
- Fanjul, L. M. P. Some new applications of supercapacitors in power electronic systems. Thesis, Master of Science, Texas A&M University, 2003.
- Gau, S. C. Characterizations And Analyses Of Large-Area A-Si:H/ μ c-Si:H Thin-Film Solar Modules For Efficiency Optimization. IEEE Journal of Photovoltaics, Vol. 3, No. 1, January 2013.
- Ghensev, A. Materiais e processos de fabricação de células fotovoltaicas. Monografia, Universidade Federal de Lavras, 2006.
- Konagai, M. Current status of thin-film solar cells and future prospects. 2013 Twentieth International Workshop on Active-Matrix Flatpanel Displays and Devices (AM-FPD), 2013, Kyoto, Japan.
- Oliveira, H. E. Tecnologia fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas). Monografia, Universidade Federal de Lavras, 2008.
- Reidler, N. M. V. L.; Gunther, W. M. R. Gerenciamento de resíduos constituídos por pilhas e baterias usadas. In:

XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre, 2000.

Schneuwly, A.; Gallay R. Properties and applications of supercapacitors from the state-of-the-art to future trends. In: Power Conversion Intelligent Motion Conference. Boston, 2000.

Sing, R.; Alapatt, G. F.; Lakhatakia, A. Making Solar Cells a Reality in Every Home: Opportunities and Challenges for Photovoltaic Device Design. IEEE Journal of the Electron Devices Society, Vol. 1, No. 6, June 2013.

PROPOSAL FOR USE OF INDOOR CELLS FOR SUPPLY ELECTRONIC LOADS REMOTELY

Abstract. *This paper presents the development of a circuit capture, processing and storage of light energy indoors. We describe the components of the project such as: photovoltaic panels for indoor environments, dc-dc converter and ultracapacitors. We propose a processing with low power consumption and high performance circuit. It presents a new technology in energy storage. The content generation and dissemination of photovoltaic technology is also the result of the work. Finally we obtain low power products energetically self-reliant. The functionality of the proposed system was performed with a prototype laboratory implementation, consisting of a panel of 7 V and 1 mA, resulting in an array of ultracapacitors with 11 V and 6 F, feeding a sensor with variable current from 18 μ A to 5 mA and voltage of 9 V.*

Key words: *Indoor cells, Photovoltaic energy, Ultracapacitors.*