

# **AVALIAÇÃO DOS PRIMEIROS ELEMENTOS PARA A IMPLANTAÇÃO DE UM BANCO DE DADOS DENTRO DA PERSPECTIVA DA DESCENTRALIZAÇÃO DE ENERGIA, APLICANDO A TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA COMO RECURSO COMPLEMENTAR E AUTÔNOMO**

## **EVALUATION OF THE FIRST ELEMENTS TO THE IMPLEMENTATION OF A DATABASE IN THE PERSPECTIVE OF ENERGY DECENTRALIZATION APPLYING THE PHOTOVOLTAIC TECHNOLOGY AS COMPLEMENTARY AND AUTONOMOUS SOURCE**

**João Vicente Zampieron<sup>1</sup>; Douglas Peres Furtado Arouca<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Campus da Fundação de Ensino Superior de Passos-FESP, Universidade Estadual de Minas Gerais. E-mail: [jovizam@hotmail.com](mailto:jovizam@hotmail.com), E-mail: [douglasarouca@yahoo.com.br](mailto:douglasarouca@yahoo.com.br)

---

### **RESUMO**

Diversos autores têm apontado as células fotovoltaicas, elementos capazes de realizar a conversão da radiação solar em energia elétrica, como uma das alternativas mais promissoras ao suprimento energético da sociedade contemporânea. A implementação da tecnologia fotovoltaica como fonte complementar e autônoma, remete à proposição da descentralização energética como saída para o abastecimento de inúmeras famílias que vivem isoladas e sediadas no meio rural. Partindo-se desta perspectiva, o presente trabalho teve como objetivo conhecer o perfil de consumo de energia no entorno de Passos (MG), além de levantar o estágio de difusão de fontes alternativas nas propriedades rurais visitadas e o conhecimento das pessoas entrevistadas no que se refere às tecnologias renováveis. Foi realizada também a avaliação do rendimento de um protótipo fotovoltaico (conforme NBR 10899:2006), em diferentes situações. As condições climáticas a que foram expostas as células solares revelaram-se favoráveis ao emprego da energia solar no município.

**Palavras-chave:** Energia solar. Energia alternativa. Células fotovoltaicas. Energia limpa.

---

### **ABSTRACT**

Several authors have been pointed out the photovoltaic cells, elements capable of turning the solar radiation into electrical energy, as one of the most promising alternatives to the energy supplying of the contemporary society. The implementation of the technology as a complementary and autonomous source brings to the proposition of the energy decentralization as a solution to the energy supplying of numerous families that live isolated and in the rural area. From this perspective, this paper analyzes the consumption profile the energy use around of Passos (MG),

besides surveying the stage of widespread of alternative sources in the visited areas and the knowledge of the people interviewed about renewable technology. The second study carried out consisted of the evaluation of a photovoltaic prototype (according NBR 10899:2006), in different conditions. The weather conditions to which the solar cells were exposed were favorable to the use of solar energy in the municipality.

**Keywords:** Solar energy. Environment. Photovoltaic cells. Alternative energy. Clean energy.

---

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade por alternativas que sejam capazes de atender à demanda crescente de energia da população mundial e, igualmente, de promover o mínimo de impacto ao meio ambiente, tem motivado a procura por tecnologias sustentáveis, em substituição àquelas que se utilizam dos poluentes recursos fósseis.

Do mesmo modo, tão necessárias quanto às pesquisas por soluções energéticas que impliquem em menor geração de poluição, é sua inserção no âmbito produtivo de comunidades rurais e isoladas. São milhares as famílias que continuam desassistidas da oferta de energia.

Com o propósito de alcançar a universalização do acesso à energia elétrica, o Brasil esboçou, nos últimos anos, um impulso no sentido de fomentar a descentralização no abastecimento, ainda rudimentar e tomado por programas pontuais sem, muitas vezes, continuidade.

Dentre os sistemas utilizados para eletrificação residencial em áreas isoladas, chamados *stand-alone* (AHM, 2009), diversos autores enfatizaram e sustentam o emprego da energia solar, entre eles: Serpa (2001), Santos (2002), Goldemberg e Lucon (2007), Castro (2008), Moraes (2009), Ramos (2009) e Ribeiro (2010).

Os processos fotovoltaicos (FV), cuja fonte primária é o Sol, abundante e limpa, oferecem um grande potencial para satisfazer as necessidades energéticas atuais e, principalmente, futuras. A energia média diária fornecida pelo Sol equivaleria a 10.000 vezes o consumo mundial neste mesmo período (CRUZ, 2009). Dada a alta média de insolação incidente em seu território, superior a 7 horas diárias, o Brasil conta com as condições climáticas para fazer expandir sua aplicação. Na região de estudo, o clima predominante é o tropical de altitude, com temperatura média anual superior a 18 °C e inverno com baixa nebulosidade.

De acordo com Castro (2008), o emprego da energia solar promove uma série de benefícios ambientais, em substituição às fontes convencionais. Sua utilização, entretanto, não tem considerado os aspectos ambientais e a diminuição da geração elétrica tradicional, mas, sim, sua portabilidade.

Apesar de frequentemente ser reportada na literatura como “inviável” para uso em maior escala, a energia solar pode representar a solução ideal para áreas afastadas à obtenção de eletricidade (RAMOS, 2009). O baixo rendimento da tecnologia, quando comparado com o investimento inicial, tende a ser compensado devido à resistência do material, normalmente superior a 25 anos, e à geração de energia possível ao longo desse tempo.

O rendimento das células FV tem crescido a ponto de torná-las economicamente competitivas em curto prazo, com a redução progressiva do investimento inicial que requerem, e à medida que for difundida a valoração dos custos ambientais e sociais da geração centralizada, será uma das opções mais promissoras ao abastecimento de energia elétrica, principalmente em áreas isoladas, como fonte complementar e autônoma (SHAYANI, 2006).

Santos (2002) ainda acrescentou a exigência de se conhecer os níveis de consumo dos domicílios para se alcançar êxito na implantação de sistemas com esta tecnologia. Em seus projetos, sobre eletrificação em comunidades caiçaras, Serpa (2001) menciona que o sucesso perpassa pelo

conhecimento das condições climáticas e da demanda de energia da localidade a ser implantada a tecnologia.

Shayani (2006), por sua vez, ressaltou a importância das pesquisas sobre o rendimento dos painéis solares, citando que existem diversos estudos voltados à melhoria da eficiência das células solares, enfatizando a necessidade de mapear seus índices de aproveitamento, para identificação de “quais os aspectos que devem ser trabalhados para melhorar a eficiência do conjunto”.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1. Etapa de levantamento na zona rural

Partindo-se de um delineamento geográfico das comunidades rurais situadas no entorno da cidade de Passos (sudoeste Mineiro), com o propósito de conhecer a realidade do consumo energético desses locais, definiram-se, primeiramente, as linhas (ou estradas vicinais) que seriam percorridas. As viagens se distribuíram ao longo de 5 meses (agosto a dezembro). Ao todo, foram visitadas 4 localidades e 37 propriedades (ou famílias), respectivamente na ordem a seguir: Esmeril, 7 famílias; Mumbuca, 13 famílias; Areias, 7 famílias e Bananal, 10 famílias (Tabela 1).

**Tabela 1.** Total de casas, por linhas, cujos consumos energéticos foram levantados

	ESTRADAS	AREIAS	BANANAL	ESMERIL	JULIEIRA	MUMBUCA	RIO GRANDE
TOTAL DE CASAS	Visitadas	7	10	7	-	13	-
	Dados obtidos junto à concessionária	63	55	-	35	60	49

Para a primeira etapa do trabalho, de levantamento *in situ*, na zona rural do município, foi elaborado um questionário, que continha tópicos referentes ao conhecimento das pessoas entrevistadas sobre a existência de fontes energéticas alternativas; aos equipamentos na residência com consumo de energia elétrica; ao número de residentes na casa; às coordenadas geográficas do local; às atividades com maior consumo de energia; à prática de culturas e criações; ao uso de sistemas de irrigação e bombas hidráulicas.

A partir das entrevistas, puderam ser apurados valores médios, mensais, gastos com energia elétrica de cada linha visitada, o grau de difusão de energias alternativas nas comunidades, seu conhecimento sobre a existência de tecnologias renováveis para o suprimento de energia (Tabela 2). Utilizou-se estatística descritiva para o tratamento dos dados coletados, cuja finalidade foi mapear a realidade energética das localidades estudadas, que por sua vez foram situadas geograficamente fazendo-se uso de um GPS de navegação, modelo Garmin eTrex Venture, de precisão 5 a 15 metros.

**Tabela 2.** Dados coletados referentes aos domicílios visitados

Famílias	Linhas	Coordenadas geográficas	Altitude (m)	Nº de residentes na casa	Conhecimento de outras fontes de energia	Emprego de outras fontes energéticas	Atividade(s) com maior consumo de energia	Gasto mensal médio (em R\$)
1	Areias	S 20°48'08.4"; W 46°25'43.4"	635	2	N	N	Bomba d'água	30,00
2	Areias	S 20°47'30.8"; W 46°28'44.4"	784	2	N	N	Picadeira	50,00
3	Areias	S 20°45'18.9"; W 46°32'27.8"	808	5	N	N	Chuveiro	60,00
4	Areias	S 20°44'44.8"; W 46°33'20.1"	776	1	S	N	Resfriador de leite	450,00
5	Areias	S 20°42'43.3"; W 46°32'20"	735	5	S	N	Geladeira, chuveiro	75,00
6	Areias	S 20°44'53.1"; W 46°33'05.8"	753	4	N	N	Freezer	130,00
7	Areias	S 20°47'28.3"; W 46°28'02.5"	780	4	S	N	Geladeira, chuveiro	45,00
8	Bananal	S 20°38'44.9"; W 46°47'27.6"	750	6	N	N	Ordenhadeira	200,00
9	Bananal	S 20°39'54.6"; W 46°43'29.2"	748	2	N	N	Picadeira	70,00
10	Bananal	S 20°37'44.7"; W 46°48'31.5"	688	4	N	N	Resfriador de leite	300,00
11	Bananal	S 20°39'32.5"; W 46°45'04.4"	754	5	N	S	Resfriador de leite	150,00
12	Bananal	S 20°40'19"; W 46°41'58.1"	793	2	N	N	Picadeira	45,00
13	Bananal	S 20°40'02.1"; W 46°42'53.5"	768	3	N	N	Picadeira	180,00
14	Bananal	S 20°40'37.4"; W 46°41'31"	812	5	N	N	Picadeira	180,00
15	Bananal	S 20°39'06"; W 46°47'02.4"	724	12	N	N	Bomba d'água, misturador de ração	800,00
16	Bananal	S 20°39'45.4"; W 46°43'53.4"	775	5	N	N	Ordenhadeira	220,00
17	Bananal	S 20°37'46.4"; W 46°48'16.5"	695	5	N	N	Resfriador de leite	500,00
18	Esmeril	S 20°34'50.7"; W 46°26'04.1"	736	2	S	N	Resfriador de leite, ordenhadeira	300,00
19	Esmeril	S 20°35'52.4"; W 46°26'27.5"	735	2	S	N	Resfriador de leite	160,00
20	Esmeril	S 20°35'19.9"; W 46°26'29.7"	730	6	N	N	Resfriador de leite	130,00
21	Esmeril	S 20°34'58.1"; W 46°26'08.2"	724	1	S	N	Resfriador de leite	75,00
22	Esmeril	S 20°36'29"; W 46°25'59.4"	731	5	S	N	Resfriador de leite	470,00
23	Esmeril	S 20°35'42.9"; W 46°24'49.3"	742	3	N	N	Resfriador de leite	170,00
24	Esmeril	S 20°35'01.4"; W 46°25'41.4"	758	2	N	N	Picadeira	27,00
25	Mumbuca	S 20°54'13.2"; W 46°35'48.2"	939	2	S	N	Freezer	70,00
26	Mumbuca	S 20°54'02.9"; W 46°36'24.1"	934	4	S	N	Siladeira	45,00
27	Mumbuca	S 20°54'12.8"; W 46°37'15.4"	914	2	S	S	Chuveiro	35,00
28	Mumbuca	S 20°54'18.1"; W 46°37'23.6"	916	5	S	N	Chuveiro	80,00
29	Mumbuca	S 20°54'47.7"; W 46°35'22.2"	970	3	S	N	Chuveiro, picadeira	40,00
30	Mumbuca	S 20°55'16.0"; W 46°33'46.3"	1117	1	S	N	Chuveiro	50,00
31	Mumbuca	S 20°55'05.9"; W 46°34'00.2"	997	4	N	N	Esmeril, furadeira, lixadeira, solda	70,00
32	Mumbuca	S 20°55'11.1"; W 46°34'05.2"	1005	2	S	N	Bomba d'água, geladeira	50,00
33	Mumbuca	S 20°57'34.9"; W 46°35'41.0"	985	4	S	N	Geladeira	30,00
34	Mumbuca	S 20°55'44.5"; W 46°34'21.2"	1089	3	S	N	Motor elétrico, geladeira, chuveiro	50,00
35	Mumbuca	S 20°55'23.7"; W 46°32'44.7"	1053	4	S	S	Picadeira	200,00
36	Mumbuca	S 20°55'17.7"; W 46°30'07.3"	955	3	S	N	Geladeira	17,00
37	Mumbuca	S 20°56'22.0"; W 46°29'30.2"	1061	4	N	N	Bomba d'água, chuveiro	30,00

Após a realização das visitas a campo, dada a subjetividade embutida nas respostas das pessoas entrevistadas, quando perguntadas sobre seus consumos energéticos - imprecisão aquela que Santos (2002) entende como principal razão às críticas direcionadas ao uso de questionários -, a fim de aproximar, à demanda real, as estimativas de consumo, e ainda, com o intuito de torná-las ainda mais factíveis dentro da projeção à que o trabalho se propôs chegar, ampliou-se o horizonte de análise com a obtenção das médias de consumo de outros domicílios não visitados, incluindo os de duas outras linhas rurais, "Julieira" e "Rio Grande", junto à empresa Holus, responsável pela leitura dos gastos energéticos na zona rural do município.

Deste modo, das informações levantadas com a aplicação dos questionários nas viagens, apenas as médias de consumo foram integradas àquelas conseguidas com a concessionária, que forneceu tão somente os gastos com energia de algumas dezenas de usuários, referentes aos meses de agosto, setembro e outubro de 2011, a partir dos quais se subtraíram as médias, sendo então incorporadas àquelas levantadas na fase de campo.

## 2.2. Avaliação da eficiência do protótipo fotovoltaico

Primeiramente, para a realização dos experimentos com o protótipo (Figura 1), definiu-se um local na cidade de Passos, referenciado pelas coordenadas geográficas S 20°42'50.51"; O 46°36'21.89", localizado a 729 m de altitude. Fazendo-se uso do aparelho, composto por duas células fotovoltaicas, policristalinas, cada uma com tamanho de 3,5 cm (largura) x 5 cm

(comprimento), ligadas em série, acopladas em uma base de suporte com eixo móvel e dotada de bornes de saída interligados a pontos do circuito do aparelho, mediram-se os valores de tensão e correntes geradas pelas células. As potências resultantes também foram encontradas após a obtenção das grandezas anteriores. A área da célula foi transformada para “m<sup>2</sup>”.



**Figura 1.** Protótipo e multímetro, durante medição. Fonte: Autores

Utilizou-se o protótipo idealizado por Lima e Pinheiro (2007), quando estes propuseram o dimensionamento de um circuito elétrico acoplado a placas fotovoltaicas a fim de avaliar o seu comportamento e capacidade de armazenamento da energia solar convertida e direcionada a uma pilha convencional (NI-MH 3600), recarregável. O circuito, composto por transistor e resistores, empregou a técnica de regulador de corrente por base constante. Foi possível controlar a corrente na carga através de um dos resistores, interligado em série com a carga. Responsável pelo bloqueio de possíveis correntes reversas, fez-se uso de um diodo de silício, apresentando queda de tensão de aproximadamente 0,3V em condução.

Os dados de geração de energia foram coletados em diferentes horários, isto é, no intervalo entre às 08h20 e 18h10, durante dois dias, quando o protótipo foi montado nestas angulações, sempre em relação à horizontal: 10°, 20°, 30°, 45°, a *nível plano* e *direcionado ao Sol*, a fim de avaliar o seu rendimento em todas as condições, para posterior comparação e aferição dos desvios resultantes. Com exceção da angulação “*direcionada ao Sol*”, em todas as outras o protótipo foi montado com as células FV voltadas à direção colateral “noroeste”.

Durante as medições das grandezas energéticas (tensão e corrente), fez-se uso do aparelho Multímetro, modelo ET-1002 (Minipa), com as seguintes faixas utilizadas e respectivas precisões do equipamento: tensão DC (faixa 20 V), precisão (tensão  $\pm 0.5\%+5D$ ); corrente DC (faixa 200mA), precisão (corrente  $\pm 1.2\%+5D$ ). Para efeito de cálculo, converteram-se os valores encontrados de corrente (mA) para a unidade ampère (A), usada na obtenção das potências (W).

Baseando-se no que a norma brasileira NBR 10899 (2006) estipula, citada por Reis e Cunha (2006), os rendimentos do protótipo FV foram encontrados, assim como as outras unidades, em todos os horários e angulações, pela equação (1).

$$P_g(t) = \eta \times A \times R_s(t) \quad (1)$$

Em que  $P_g(t)$  é a potência gerada (em kW),  $\eta$  é o rendimento total do sistema (10 a 20%),  $A$  é a área do painel Solar em m<sup>2</sup> e  $R_s(t)$ , a radiação solar incidente, em kW/m<sup>2</sup> em função do tempo. O valor 5 kWh/m<sup>2</sup> foi o utilizado para a variável “ $R_s(t)$ ”, obtido junto ao CPTEC/INPE (2011). Ela se refere à radiação solar incidente no local de estudo, estando nas bandas UV + Vis.

Outro fator importante avaliado, a iluminação, foi medida em todas as faixas de horários com o equipamento Luxímetro (na faixa x 50.000, unidade Lux), modelo MLM-1010, de precisão  $\pm$  (5%+10D), aplicável para todos os valores encontrados. Também comparou-se a variação na geração de energia produzida de acordo com as condições de iluminação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com Lima e Pinheiro (2007), as características da radiação solar (intensidade, distribuição espectral e angular) que chega ao solo terrestre são afetadas por diversos fatores, da distância existente entre a Terra e o Sol à influência de condições atmosféricas e meteorológicas, as quais Meirelles (2002) definiu como variáveis básicas para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos.

A norma ABNT 10899 (2006), embora apresente somente o conceito de eficiência de conversão, é a referência nacional na abordagem sobre o rendimento de módulos fotovoltaicos, o qual pode ser sintetizado pela “razão entre a potência máxima fornecida e o produto da área do módulo (superfície iluminada), ou da célula, pela irradiância total [...]” (SHAYANI, 2006).

#### 3.1. Avaliação do consumo energético na zona rural de Passos (MG)

As médias de gasto energético, em reais e kWh, respectivamente, verificadas nas linhas, contemplando os valores obtidos nas visitas e aqueles junto à concessionária, foram: Areias, R\$ 166,00 e 615 kWh; Bananal, R\$ 109,00 e 375 kWh; Esmeril, R\$ 190,00 e 655 kWh; Julieira, R\$ 177,00 e 609 kWh; Mumbuca, R\$ 53,00 e 182 kWh; Rio Grande R\$ 155,00 e 532 kWh. As médias encontradas, considerando-se os valores de todos os locais, foram: R\$ 142,00 e 495 kWh. A localidade que apresentou maior média de consumo foi a do Esmeril (R\$ 190,00 e 655 kWh), sendo aquela também com menor número de domicílios considerados (7). A linha com menor consumo apurado foi a da Mumbuca (R\$ 53,00 e 182 kWh), com gastos de 73 famílias levantados.

Para aquelas localidades nas quais se observaram gastos mais elevados, sugeriu-se a ligação com o fato do uso de equipamentos de maior consumo energético, como os resfriadores de leite – presentes com mais frequência, por exemplo, na linha do Esmeril. Verificou-se que as atividades rurais nas quais há maior emprego de energia são: processamento de leite e uso de máquinas forrageiras (picadeiras).

Apesar do menor número de residentes, o consumo na comunidade “Esmeril” foi o maior de todas as visitadas (Tabela 3), devido aos tipos de atividades desenvolvidas e de maquinário existente no local, que acabam por consumir mais energia elétrica.

**Tabela 3** - Caracterização do total de famílias por linha, número médio de residentes por casa e gasto energético médio das comunidades.

Linhas	Total de Famílias		Número Médio de Residentes	Média de Gasto Energético (em R\$)	Média de Gasto Energético (em kWh)
	Casas Visitadas	Dados da Concessionária			
Areias	7	63	3	166	615
Bananal	10	55	5	109	375
Esmeril	7	*	3	190	655
Julieira	*	35	*	177	609
Mumbuca	13	60	3	53	182
Rio Grande	*	49	*	155	532

Mesmo apresentando maior número médio de residentes nos domicílios, a linha do Bananal (5), esta variável não resultou em consumo superior energético nesta localidade, ao contrário do esperado.

Sobre a ocorrência de outras fontes energéticas nos domicílios visitados, em 92%, há apenas consumo de energia elétrica advinda do sistema de abastecimento tradicional, da concessionária, e apenas em 8% o emprego de fontes alternativas, que não a convencional. Diante desse quadro, observou-se o amplo espaço receptivo à utilização e difusão do emprego de fontes opcionais de energia.

O conhecimento dos moradores da zona rural sobre a existência de fontes energéticas alternativas, ainda quando citadas tecnologias (durante as entrevistas), mostrou-se muito aquém do vislumbrado, dadas as condições em que se encontravam as famílias visitadas: em mais de 80% dos casos, elas contavam com pelo menos uma TV e um rádio. Encontrou-se, também, que 49% têm conhecimento de fontes alternativas, permitindo inferir que a comunidade detém pouca informação a respeito de outras fontes de energia, sejam renováveis ou não.

### 3.2. Medição da eficiência do protótipo FV

Sobre as condições climáticas a que esteve exposto o protótipo, no local do experimento, as médias verificadas foram: 29 °C de temperatura, umidade do ar de 52%, pressão atmosférica de 1008 hPa, enquanto a velocidade dos ventos foi diminuta e pouco variou, com uma média de 4 km/h.

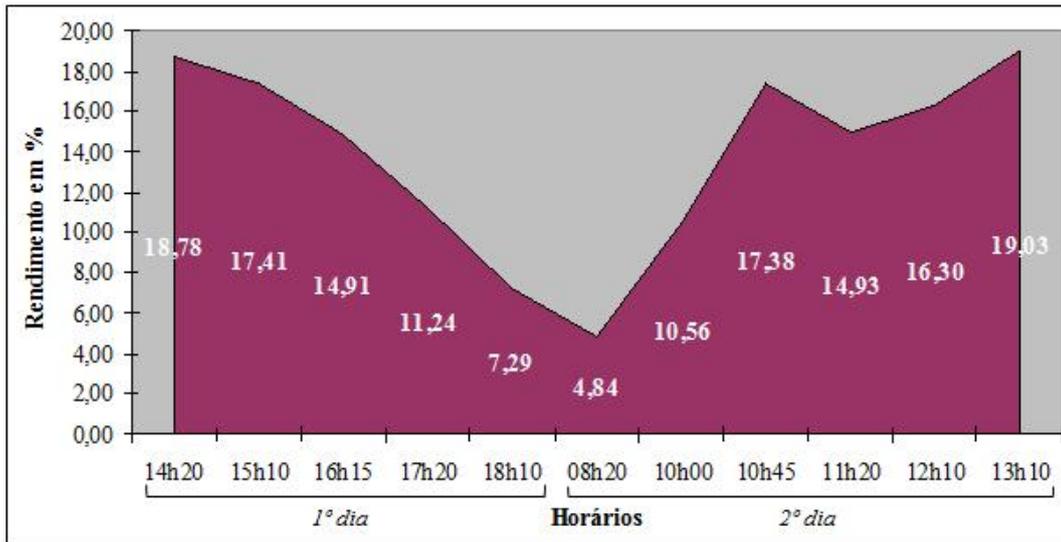
Com o intuito de se chegar à inclinação ideal do protótipo FV para a geração de energia, com a qual se alcançaria maior rendimento do equipamento ou o aproveitamento máximo da radiação solar, diversas angulações foram propostas neste trabalho (10°, 20°, 30°, 45°, a nível plano e direcionado ao sol).

Segundo Ferreira Junior (2006), as placas solares devem ser instaladas e inclinadas, preferencialmente, de acordo com a latitude do local mais 10°, o que resultaria, no caso de Passos, em inclinação bem próxima aos 30°. Não obstante, os resultados alcançados neste trabalho mostraram que apenas na angulação de 45° a média de rendimento do protótipo foi inferior à de 30°. Nos outros casos, esta se mostrou desvantajosa ao rendimento das células. Quando as células do protótipo estiveram inclinadas no nível plano, por exemplo, o rendimento foi 5% superior do que quando estiveram inclinadas 30°.

A média de rendimento na angulação “*direcionado ao Sol*” verificada foi superior à conseguida com outras angulações: 22% superior à verificada ao nível plano e com 10°; 24% superior àquela registrada com 20°; 26% maior que a observada com 30°, e 36% àquela encontrada com 45° de angulação.

As médias alcançadas de rendimento do protótipo, somando-se todas as suas angulações, por faixas de horários, podem ser verificadas na Figura 2. O rendimento máximo médio observado aconteceu na medição realizada na faixa de horário de 13h10, no segundo dia de análises, com 19,03% de rendimento do protótipo, enquanto a menor foi a obtida na faixa de 08h20, no mesmo dia de experimentos, com 4,84% de geração.

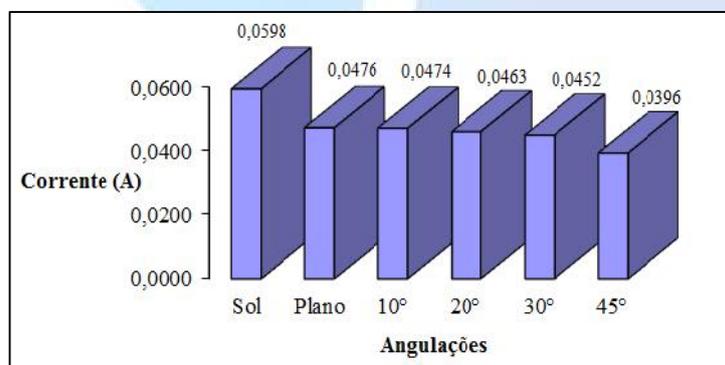
Dentre as angulações, a que apresentou maior rendimento foi a “*direcionado ao Sol*”, que teve como média 17,83% de rendimento. Nas angulações “plano”, 10°, 20° e 30°, as variações na média de rendimento estiveram próximas: 13,8%, 13,7%, 13,4% e 13,1%, respectivamente. Com 45° de inclinação, o equipamento apresentou a média menos significativa, com 11,4% de rendimento. A média final, considerando-se todas as angulações e as análises realizadas em todos os horários, foi de 13,9%.



**Figura 2.** Média de rendimento do protótipo por faixas de horários, nos dois dias de avaliações

Verificou-se que as correntes geradas sofreram declínio após às 16h00, e rápido crescimento nos horários da manhã. As médias mantiveram-se praticamente estáveis, com maior geração de corrente observada no período compreendido entre a faixa das 10h45 e 15h10. As angulações “nível plano”, 20°, 30° e 45° foram as mais afetadas pelo deslocamento zenital do Sol. Com o protótipo voltado ao Sol, mesmo nos horários tidos como menos propensos à geração de energia, ela manteve-se com boa regularidade. Os decréscimos nas outras angulações aumentaram consideravelmente à medida que o Sol atingia os extremos zenitais (0° e 180°). A média de geração de corrente observada no nível “direcionado ao Sol” foi superior a 20%, em relação às alcançadas com as angulações 10°, 20°, 30° e ao nível plano, bem como 34% maior quando comparada com a inclinação de 45°.

No primeiro dia de medições, na faixa de horário das 14h20, e no segundo dia, às 13h10, registraram-se os maiores valores de corrente (A), sendo, nesta ordem: “direcionado ao Sol”, 0,068 em ambos os horários; “a nível plano”, 0,065 e 0,068; a 10° de inclinação, 0,068 em ambos; a 20°, 0,067 e 0,068; a 30°, 0,066 e 0,065; a 45°, 0,059 e 0,058. A menor corrente aferida ocorreu no segundo dia de medições, ao nível de 45°, às 08h20, com valor de 0,003 A. A Figura 3 apresenta as médias de cada faixa de angulação, com destaque para a “direcionada ao Sol”, com 0,0598 A.



**Figura 3.** Médias de corrente (A) por faixas de angulação

A Figura 4 ilustra as variações de corrente por faixas de horários. Os mesmos comportamentos seguiram as médias de geração de tensão (Figuras 5 e 6), obviamente, tendo apresentado declínios apenas no início da manhã e final da tarde. Quando voltadas ao Sol, as células tiveram rendimento 2% maior que as tensões médias obtidas a uma inclinação de 10°. Quando inclinadas a 45°, a variação foi 10% inferior àquela.

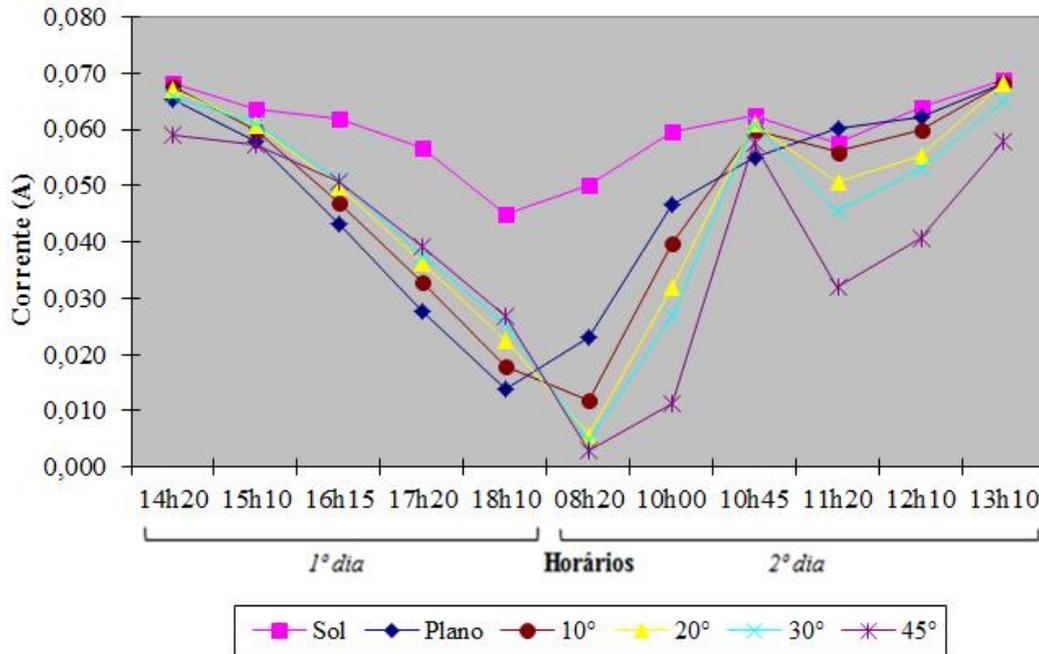


Figura 4. Médias de corrente (A) por faixas de horários

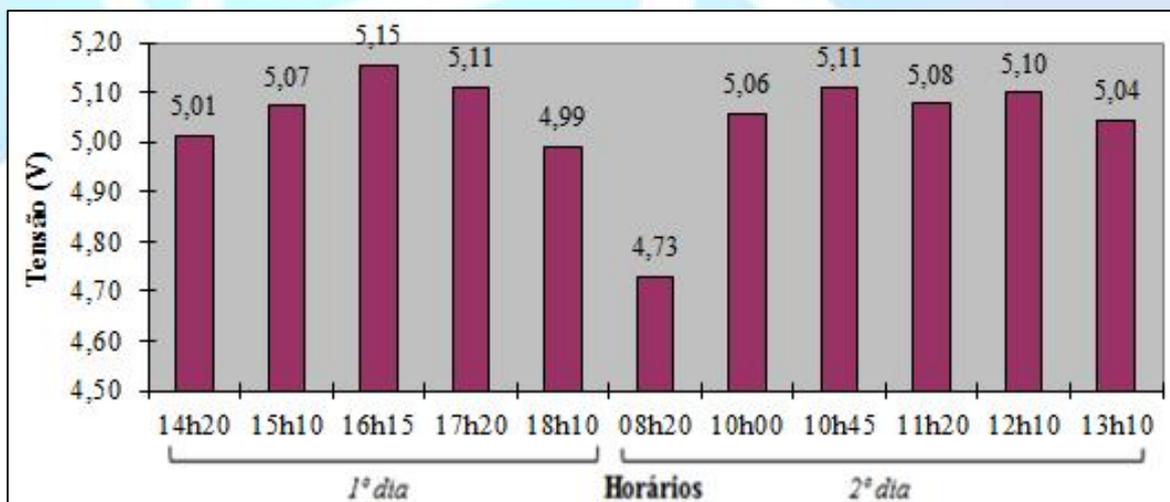
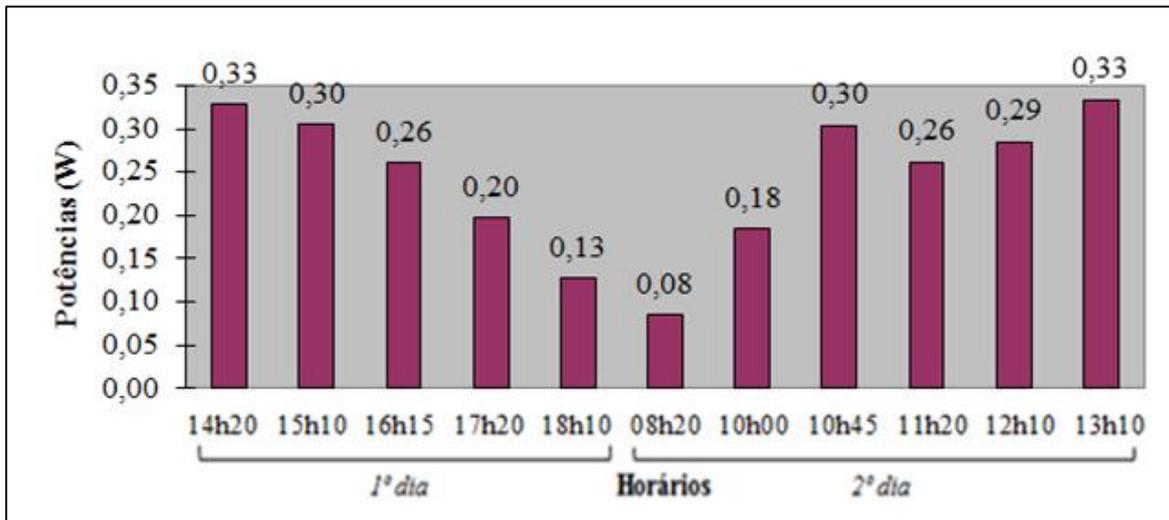


Figura 5. Tensões médias geradas x faixas de horários

Dentre os maiores valores registrados, estiveram: “direcionado ao Sol”, às 16h15, no primeiro dia, com 5,22 V, e às 10h00, no segundo dia, a nível “plano”, com 5,19 V. Já as maiores médias por faixas de horários, verificam-se, no primeiro dia, aquela das 16h15, com 5,15 V, e no segundo dia, das 10h45, com 5,11 V.

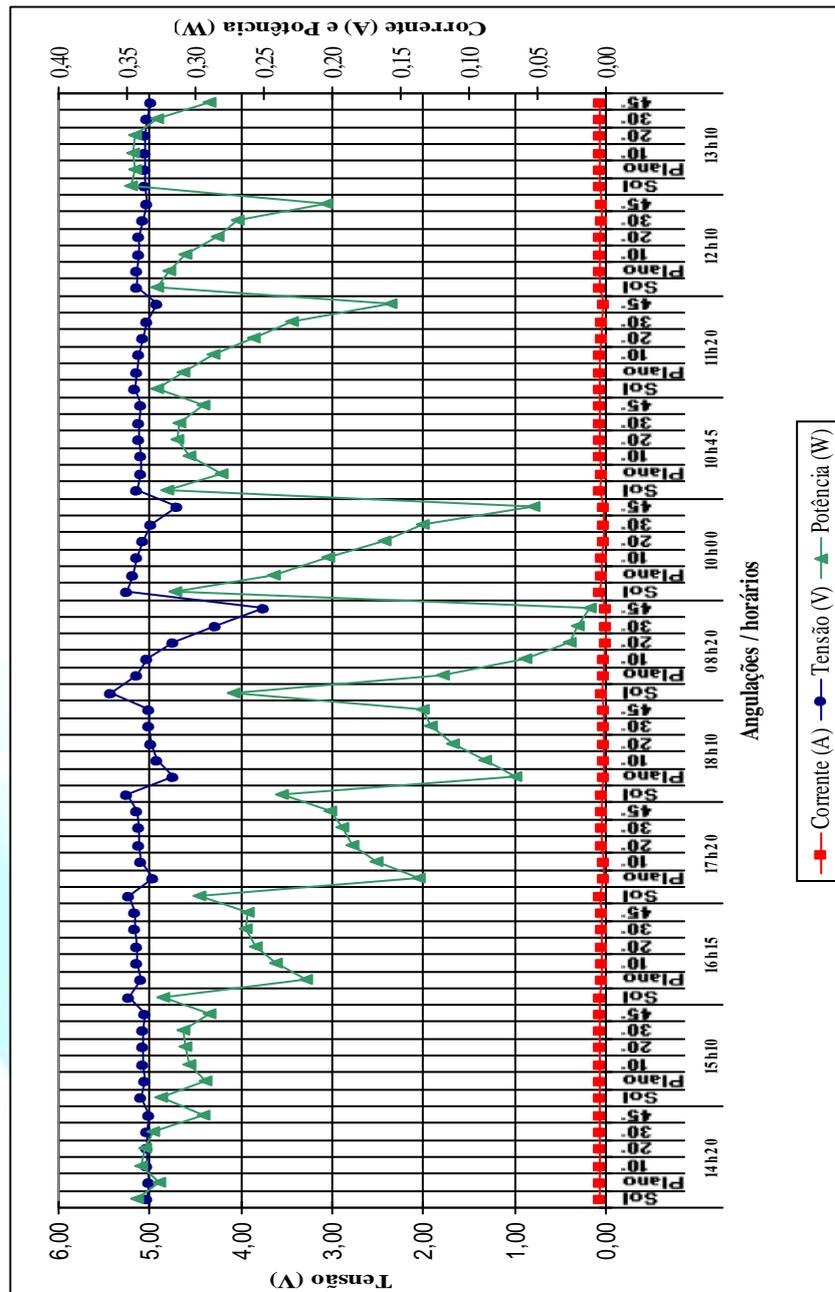


**Figura 6.** Potências médias geradas x faixas de horários

A geração de potência refletiu os valores alcançados com as grandezas elétrica anteriores (corrente e tensão). Apresentou as seguintes diferenças quando comparada com os valores conseguidos com a inclinação voltada diretamente ao Sol: 22% menores foram as gerações a nível plano, a 10° e 20°; 25% inferiores quando as células estiveram 30° inclinadas, e 35% menores com 45° de inclinação.

Para as maiores potências, unitariamente observadas, destacaram-se: no segundo dia, às 13h10, ao nível do Sol, com 0,35 W, valor este repetido no mesmo horário, com 10°. A faixa de 0,33 e 0,34 W foi comum no horário de 14h20, no primeiro dia, em diferentes angulações. No decorrer das medições, com condições incidentes mais favorecidas, a angulação “direcionada ao Sol” manteve uma média de potência próxima a 0,31 W. Já a menor média (Figura 6), foi aquela da faixa de horário de 08h20, no segundo dia, com 0,08 W, com a faixa mais baixa aos 45°, no mesmo dia e horário, com 0,01 W.

A figura 7 demonstra globalmente as variações de tensão (V), corrente (A) e potência (W), em função dos horários e angulações do protótipo, nos dois dias de avaliações.



**Figura 7.** Variações de tensão (V), corrente (A) e potência (W), em função dos horários e angulações do protótipo, nos dois dias de avaliações

Com o protótipo “direcionado ao Sol”, ainda sobre a variável “potência”, comparando-se com as outras angulações, a eficiência foi superior a 2% às obtidas com 10°, 20° e no “nível plano” de inclinação do protótipo, 3,7% superior a 30° e 5,6% maior que ao nível de 45°.

Foi possível observar ainda a relação entre a geração de potência e as condições de iluminação. Percebeu-se que a variação da grandeza energética produzida, nos diferentes horários, é relacionada e acompanha as condições verificadas de luz naqueles momentos.

Dentre as angulações, a que apresentou maior rendimento médio foi a “direcionado ao Sol”, com 17,83%. Ao contrário do mencionado na literatura consultada, a inclinação de 30° não se mostrou vantajosa.

O rendimento máximo observado foi no horário de “13h10”, com 19,03%. Considerando-se todas as angulações e as análises realizadas em todos os horários, o rendimento médio final do protótipo foi de 13,88%.

As condições climáticas a que foram expostas as células solares revelaram-se favoráveis ao emprego da energia solar no município.

Não foi o enfoque deste trabalho avaliar custos da implantação do sistema FV. Se a média de consumo aferida alcança 495 kWh e R\$ 140,00, ainda que as famílias recebam incentivos de tarifas diferenciadas da concessionária, o uso de fonte alternativa renovável, a longo prazo, poderia ser interessante. Altos consumos, logicamente, importariam maior capacidade instalada FV, encarecendo a implantação. O custo benefício da aplicação estará atrelado ao vulto de recursos investidos pela dissipação do gasto compensado (ou evitado), no decorrer do tempo. Assim, o limite a partir do qual é inviabilizada a utilização é variável e intrinsecamente relacionado ao grau possível de investimento das famílias.

#### **4. CONCLUSÕES**

As médias do consumo energético na zona rural de Passos, de 495 kWh e R\$ 140,00 a partir do levantamento da demanda de 299 domicílios, evidenciaram o potencial para aplicação da opção fotovoltaica às suas rotinas, considerando, por um lado, os elevados gastos com energia elétrica das famílias, cuja redução poderia permitir o direcionamento de seus recursos a outras finalidades.

O desconhecimento sobre outras fontes de energia, em especial as renováveis, ainda é uma realidade a ser vencida no meio rural para que a propagação da energia FV aconteça.

Evidentemente, farão expandir a tecnologia FV a adequada regulamentação do setor energético voltado à aplicação de fontes alternativas, maiores subsídios governamentais (tais como do programa habitacional “Minha Casa, Minha Vida”), iniciativas privadas ou de associações organizadas junto às comunidades, além de projetos acadêmicos com atuação no meio rural, com ampla promoção da educação ambiental e da sustentabilidade energética, inclusive com projetos-piloto nas sedes familiares.

Apresentados os benefícios que o processo de descentralização energética pode originar, em especial com o emprego de tecnologias FV ao abastecimento de energia elétrica às populações isoladas - estas, muitas vezes, desassistidas da oferta tradicional fornecida pelas concessionárias -, como resultado secundário deste trabalho, espera-se a estruturação de um banco de dados com informações sobre o padrão de consumo energético das famílias da zona rural de Passos, e da eficiência conhecida de um protótipo fotovoltaico exposto às condições climáticas locais, acreditando-se poder se tornar um instrumento importante, capaz de subsidiar futuros trabalhos sobre energia solar e amplificar o seu potencial como fonte energética alternativa, complementar, ambientalmente limpa e abundante.

#### **5. REFERÊNCIAS**

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10899: energia solar fotovoltaica – terminologia.** Rio de Janeiro, 2006.

AHM, P. Energia solar para geração elétrica e aquecimento: situação atual e perspectivas. **Revista Eletricidade Moderna**, São Paulo: Aranda Editora, n. -, p. 256-265, 2009.

CASTRO, V.D. **Energia e Meio Ambiente: Uma Visão do Estado da Arte no Brasil**. Belo Horizonte: Universidade do Estado de Minas Gerais, 2008, 80 p. Tese (Mestrado) - Universidade do Estado de Minas Gerais, 2008.

CPTEC/INPE. Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos / Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/>>. Acessos em: 02 e 03 Nov. 2011.

CRUZ, G.F.H. dos. **Estudo da utilização da energia solar no RS**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009, 106 p. Projeto exigido para aprovação em disciplina do Departamento de Engenharia Elétrica – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/24307>>. Acesso em: 15 ago. 2011.

FERREIRA JUNIOR, A.A. **Eficiência do uso de aquecedores solares residenciais em Passos – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade do Estado de Minas Gerais – Faculdade de Engenharia de Passos – MG, 2006. 56 p.

GOLDEMBERG, J; LUCON, O. Energia e Meio Ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007. Disponível em: <[www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf](http://www.scielo.br/pdf/ea/v21n59/a02v2159.pdf)>. Acesso em: 1º jul. 2011.

LIMA, H.R. ; PINHEIRO, T.A. **Sistema Híbrido de Energia – Célula Solar e Pilha Elétrica**. São Paulo: Centro Universitário Sant’Anna, 2007. 67 p. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia da Computação) – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia de Informação / Programa de Graduação em Engenharia da Computação, Centro Universitário Sant’Anna, São Paulo, 2007.

MEIRELLES, B.R. **Fabricação de células solares**. Campinas: Instituto de Física Gleb Wataghin, 2002. 18 p.

MORAES, A.M. de. **Aplicações da tecnologia solar fotovoltaica no Estado do Piauí: barreiras e potencialidades**. Santo André - SP: Universidade Federal do ABC, 2009. 145 p. Tese (Mestrado) – Centro de Engenharias, Modelagem e Ciências Sociais Aplicadas. Curso de pós-graduação em Energia, Universidade Federal do ABC, Santo André, 2009.

RAMOS, J. **Descentralização das fontes de produção de energia**. INFORMATIVO IEA, Rio de Janeiro, n. 83, janeiro/fevereiro, 2009. 15 p.

REIS, L. B.; CUNHA, E. C. N. **Energia Elétrica e Sustentabilidade: Aspectos Tecnológicos, Socioambientais e Legais**. 1ª ed. Barueri: Editora Manole, 2006. 243p.

RIBEIRO, T. B. S. **A eletrificação rural com sistemas individuais de geração com fontes intermitentes em comunidades tradicionais: caracterização dos entraves para o desenvolvimento local**. São Paulo: USP, 2010. 187 p. Tese (Mestrado) – Programa de pós-graduação em energia EP-FEA-IEE-IF, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

SANTOS, R.R. dos. **Procedimentos para a Eletrificação Rural Fotovoltaica Domiciliar no Brasil: uma contribuição a partir de observações de campo**. 2002. 221p. Tese (Doutorado) – Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Universidade de São Paulo, 2002.

SERPA, P. M. N. **Eletrificação Fotovoltaica em Comunidades Caiçaras e seus Impactos Socioculturais**. São Paulo: USP, 2001. 252 p. Tese (Doutorado) – Programa Intereunidades de Pós-Graduação em Energia, Escola Politécnica / Faculdade de Economia e Administração / Instituto de Eletrotécnica e Energia / Instituto de Física, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

SHAYANI, R.A. **Medição do rendimento global de um sistema fotovoltaico isolado utilizando módulos de 32 células**. 2006. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

*Manuscrito recebido em: 16/05/2012*  
*Revisado e Aceito em: 29/04/2013*

