
Ciências Biológicas

Fernando Cezar Marrara Bonfiglioli

**BIOMIMETISMO DO
PARAHELITROPISMO FOLIAR NO
ESTUDO DE PRODUÇÃO DE ENERGIA
ELÉTRICA EM PLACAS FOTOVOLTAICAS**



Rio Claro
2017

FERNANDO CEZAR MARRARA BONFIGLIOLI

BIOMIMETISMO DO PARAHÉLIOTROPISMO FOLIAR NO ESTUDO
DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PLACAS
FOTOVOLTAICAS

Orientador: Gustavo Habermann

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de bacharel e licenciado em Ciências Biológicas.

Rio Claro
2017

333.79 Bonfiglioli, Fernando Cezar Marrara
B713b Biomimetismo do paraheliotropismo foliar no estudo de
produção de energia elétrica em placas fotovoltaicas /
Fernando Cezar Marrara Bonfiglioli. - Rio Claro, 2017
39 f. : il., figs., gráfs., quadros

Trabalho de conclusão de curso (licenciatura e
bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Gustavo Habermann

1. Energia – Fontes alternativas. 2. Energia renovável. 3.
Placa fotovoltaica. 4. Energia luminosa. 5. Eficiência
energética. 6. Paraheliotropismo. I. Título.

FERNANDO CEZAR MARRARA BONFIGLIOLI

**BIOMIMETISMO DO PARAHÉLIOTROPISMO FOLIAR NO ESTUDO
DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA EM PLACAS
FOTOVOLTAICAS**

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Habermann

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Biociências da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau de bacharel e licenciado em Ciências Biológicas.

Rio Claro
2017

Dedico esse trabalho à minha família que sempre me proporcionou condições para que eu chegasse até aqui, também dedico aos meus amigos que me ajudaram quando eu mais precisei e à todos que fizeram parte de uma vida que eu construí dentro da UNESP.

AGRADECIMENTOS

“Madness is like gravity. All it takes is a little push”

- Joker

RESUMO

Em sistemas biológicos vegetais, como as plantas superiores, a luz solar fornece a energia necessária para a fotossíntese e crescimento das plantas, e estes processos variam em resposta à intensidade da luz incidente nas folhas (WALTERS, 2005), já que as mesmas são os órgãos especializados na captação e processamento da luz (LAWLOR, 2001). De toda a luz solar interceptada pelas folhas das plantas, apenas 20% é utilizada (MELIS, 2009). Estudos que levem ao maior aproveitamento da luz pelas plantas são perseguidos pela comunidade científica. Plantas de metabolismo fotossintético C3 (cujo primeiro composto formado na fotossíntese é uma molécula de 3 carbonos) apresentam máxima conversão de luz solar em biomassa da ordem de 4,6 %, enquanto em plantas C4 (cujo primeiro composto formado é de 4 carbonos) é de 6% (ZHU *et al.* 2008). Desta forma, esta disposição de placas solares aumentaria a eficiência de conversão de luz por imitar a distribuição das folhas em uma planta. Porém, está incutido nesta estratégia das plantas a maior probabilidade de captação da luz (pelos diferentes ângulos e posicionamentos foliares) ou reduzido superaquecimento das folhas. Qual dessas estratégias explicaria melhor a maior eficiência de conversão energética? Nosso estudo mostrou que as placas fotovoltaicas posicionadas de forma que mimetizam as folhas paraheliotrópicas, ou seja, acompanhando o movimento solar diário, diminuindo o ângulo de incidência de luz, apresentam um acréscimo na eficiência energética se compararmos com as estáticas a 45°, mas por algumas vezes este aumento foi insignificante, ou de significância moderada. Desta maneira, não podemos afirmar que a mobilidade das placas fotovoltaicas é essencial para sua maior eficiência, seria necessário um estudo mais abrangente, com um maior dado amostral para que possamos confirmar nossa hipótese.

Palavras-chave: *Energia renovável, placa fotovoltaica, energia luminosa, eficiência energética, paraheliotropismo.*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVOS.....	10
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
3.1. Placas fotovoltaicas.....	11
3.2. Multímetros digitais.....	12
3.3. Medidas de tensão.....	13
3.4. Medidas de temperatura.....	13
3.5. Armazenamento e transferência dos dados para o computador.....	13
3.6. Estratégia experimental.....	14
3.6.1 Placas estáticas a 45° e placas estáticas paralelas ao solo.....	14
3.6.2 Placas móveis.....	15
3.7. Análises estatísticas e de eficiência energética.....	16
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	18
4.1. Dia 1.....	18
4.2. Dia 2.....	20
4.3. Dia 3.....	22
4.4. Dia 4.....	24
4.5. Dia 5.....	26
4.6. Dia 6.....	28
4.7. Dia 7.....	30
4.8. Dia 8.....	32
4.9. Média geral comparativa de todos os dias de coleta de dados.....	34
5. CONCLUSÃO.....	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	37

1. INTRODUÇÃO

Em sistemas biológicos vegetais, como as plantas superiores, a luz solar fornece a energia necessária para a fotossíntese e crescimento das plantas, e estes processos variam em resposta à intensidade da luz incidente nas folhas (WALTERS, 2005), já que as mesmas são os órgãos especializados na captação e processamento da luz (LAWLOR, 2001).

De toda a luz solar interceptada pelas folhas das plantas, apenas 20% é utilizada (MELIS, 2009). Estudos que levem ao maior aproveitamento da luz pelas plantas são perseguidos pela comunidade científica. Plantas de metabolismo fotossintético C3 (cujo primeiro composto formado na fotossíntese é uma molécula de 3 carbonos) apresentam máxima conversão de luz solar em biomassa da ordem de 4,6 %, enquanto em plantas C4 (cujo primeiro composto formado é de 4 carbonos) é de 6% (ZHU *et al.* 2008).

A distribuição das folhas na copa das plantas pode causar mudanças na incidência de luz e conseqüente alteração nas respostas fotossintéticas (LONG *et al.* 2006; MARCHIORI *et al.*, 2010). Portanto, uma arquitetura de copa que proporcione melhor distribuição das folhas, em ângulos e posicionamentos distintos poderia melhorar a captação de luz (LONG *et al.* 2006; ZHU *et al.* 2008).

Folhas na posição vertical evitam a saturação das respostas fotossintéticas, podendo melhorar em até 45% a eficiência fotossintética em relação a folhas dispostas na horizontal (ZHU *et al.* 2008). A verticalidade foliar pode reduzir também o excesso de luz direta sobre a face adaxial (de cima) e permitir que luz incidente sobre a face abaxial (de baixo) seja aproveitada, no caso de cloroplastos localizarem-se nesta face (DELUCIA *et al.*, 1991).

Existe um fenômeno chamado heliotropismo foliar, em que as folhas de algumas plantas se movimentam de acordo com a posição dos raios solares (DARWIN, 1898). Quando o órgão foliar se movimenta de maneira a permanecer perpendicular aos raios solares, o movimento é chamado diaheliotropismo e quando segue orientação paralela aos raios solares, paraheliotropismo (DARWIN, 1898).

Diversos fatores têm sido identificados como causadores desses movimentos paraheliotrópicos. Dentre eles, podemos citar o déficit hídrico (PASTENES *et al.*,

2005), a fotoinibição – excesso de carga fotooxidativa sobre os cloroplastos (BAWHEY *et al.*, 2003), aquecimento foliar e excesso de irradiância (BIELENBERG *et al.* 2003). Desta forma, uma interpretação é de que a menor interceptação de luz e, reduzido aquecimento foliar, proporcionado pelo paraheliotropismo, faz com que o desempenho fotoquímico – processamento da luz pelos cloroplastos - seja maior em folhas paraheliotrópicas do que diaheliotrópicas (ARENA *et al.*, 2008).

Existem ainda espécies que apresentam folhas verticais estáticas (FALSTER & WESTOBY, 2003; FEISTLER & HABERMANN, 2012), que além de evitarem o excesso de luz, podem manter altas taxas fotossintéticas durante períodos com maior irradiância (meio-dia e verão), bem como proporcionar boa interceptação diária de luz solar quando o sol está em ângulos menores (manhã, tarde e inverno) (FALSTER & WESTOBY, 2003). Além disso, folhas verticais reduzem o auto sombreamento causado em folha horizontais, permitindo dessa forma que mais luz alcance posições mais baixas do dossel, melhorando a distribuição da irradiância na planta (MARCHIORI *et al.*, 2010).

Estudo com *Styrax camporum*, uma planta do Cerrado, sugere que a posição vertical estática da folha não está relacionada com fotoproteção (aos cloroplastos) nesta espécie, mesmo quando sujeita à condições de seca, que exigiria mais dessas organelas (FEISTLER & HABERMANN, 2012). A exclusão do papel fotoprotetor nesta espécie pode levantar hipóteses alternativas: (i) folhas verticais promovem maior eficiência de uso da luz (FALSTER & WESTOBY, 2003) e (ii) folhas verticais podem promover maior penetração de luz na copa (FEISTLER & HABERMANN, 2012).

Desta maneira, uma segunda interpretação é de que folhas paraheliotrópicas ou verticais estáticas se beneficiem de maiores probabilidades de interceptação de luz ao longo do dia (norte, sul, leste e oeste), maximizando a eficiência fotossintética e não porque a verticalidade foliar reduz o superaquecimento e melhora a eficiência fotoquímica por evitar danos fotooxidativos. Essas duas visões podem depender de respostas biológicas específicas de cada espécie e das condições de estudo.

A natureza já inspirou muitos projetos de inovação na área de engenharia de materiais e até engenharia aeronáutica. Por exemplo, o *winglet* da asa de um avião é uma pequena aba instalada na ponta da asa que reduz a resistência do ar e

aumenta a velocidade do voo, economizando combustível. Esta peça, muito comum em aeronaves comerciais, ao que tudo indica, foi inspirada no formato da asa da águia (BAINBRIDGE & ROCO, 2003).

No caso de folhas de plantas, um garoto de 13 anos, usou a sequência de números Fibonacci para distribuir pequenas placas solares dispostas como folhas em uma árvore artificial montada em PVC. Observou que a eficiência de captação de energia é 20% maior em relação às placas solares dispostas na horizontal de forma convencional (DWYER, 2011). Desta forma, esta disposição de placas solares aumentaria a eficiência de conversão de luz por imitar a distribuição das folhas em uma planta. Porém, está incutido nesta estratégia das plantas a maior probabilidade de captação da luz (pelos diferentes ângulos e posicionamentos foliares) ou reduzido superaquecimento das folhas. Qual dessas estratégias explicaria melhor a maior eficiência de conversão energética?

Parece contra intuitivo pensar que placas solares artificiais sejam mais eficientes se dispostas em ângulos que minimizam a incidência de luz. Afinal, a incidência perpendicular da irradiância parece converter mais luz em energia elétrica (ALVES & CAGNON, 2010).

2. OBJETIVOS

Testar a hipótese de que a produção de energia elétrica em painéis fotovoltaicos dispostos verticalmente acompanhando o movimento solar diário é maior do que daquelas placas fotovoltaicas convencionais, fixas, dispostas em ângulo de 45°. Deste modo, as primeiras (placas verticais, acompanhado o movimento solar) estariam representadas na forma de biomimetismo do paraheliotropismo, enquanto as placas solares fixas representariam folhas estáticas captando luz na posição diaheliotrópicas.

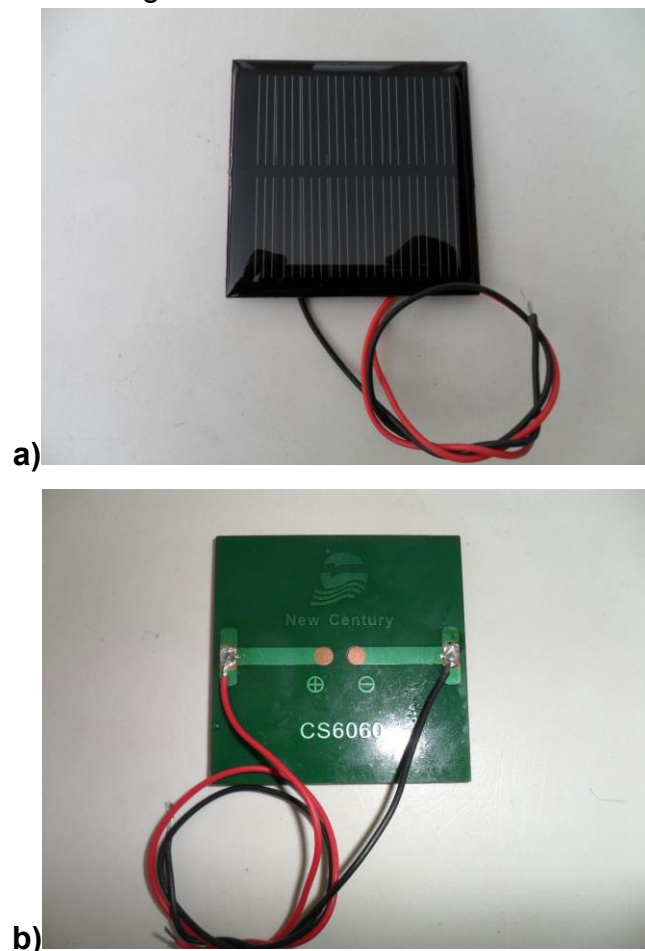
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Placas fotovoltaicas

As placas fotovoltaicas, ou comumente chamadas de placa solares, foram compradas no mercado nacional via internet.

As placas têm uma medida de 6 cm por 6 cm, caracterizando uma área total de contato com a luz solar de 36 cm², também apresentam uma voltagem máxima de 6 volts, e uma corrente elétrica máxima de 480 mAh (miliampére/hora), gerando 3,5 watts (ou 3,5 Joules/s). Todos os dados foram concedidos pelo fornecedor do material.

Figura 1: Placa fotovoltaica usada no presente trabalho. Em a) sua parte frontal, capaz de absorver a luz e em b) sua parte dorsal, responsável pela transformação da energia luminosa em energia elétrica.



3.2. Multímetros digitais

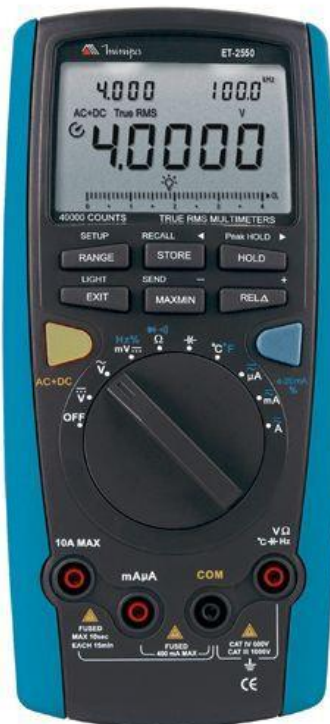
Os Multímetros digitais também foram comprados no mercado nacional via internet.

O modelo ET-2550 da empresa Minipa (Figura 2) é um multímetro digital com display de 4 dígitos e 40000 contagens, possui funções de corrente, tensão, resistência, capacitância, temperatura, frequência, teste de diodo, continuidade, 4~20mA Loop, máximo, mínimo e modo relativo, mas no presente trabalho só utilizamos a função de tensão e temperatura, tendo em vista seu objetivo, todos os dados que caracterizam o modelo foram cedidos pelo manual do usuário.

Optamos por este modelo devido ao seu diferencial nas funções *Data Store*, *Data Recall*, *Data Hold* e *Send*, responsáveis pelo armazenamento dos resultados e transferência destes para o computador de forma fácil e segura.

O multímetro acompanha os cabos específicos para cada medição, um manual de instruções do usuário, uma bateria e um CD-ROM de instalação do *software* para leitura e interpretação dos dados armazenados no multímetro.

Figura 2: Multímetro digital modelo ET-2550 da empresa Minipa.



3.3. Medidas de tensão

Para as medidas de tensão, em cada tratamento, seguimos as instruções do manual do usuário, configurando o multímetro para uma medição de tensão com corrente elétrica alternada (AC), cuja a variação dependia da intensidade luminosa que incidia na placa.

As medidas eram tiradas a cada 7 (sete) minutos e 12 (doze) segundos, totalizando 100 (cem) medidas durante todo o período de luz (aproximadamente 12 horas) para cada réplica por tratamento.

3.4. Medidas de temperatura

Para as medidas de temperatura, em cada dia de coleta de dado, seguimos as instruções do manual do usuário, configurando o multímetro para uma medição de temperatura em graus Celsius e Fahrenheit, acoplado o sensor de temperatura no multímetro.

No presente trabalho só foi relatado o dado em Celsius devido ao Sistema Internacional de Unidade (SI)

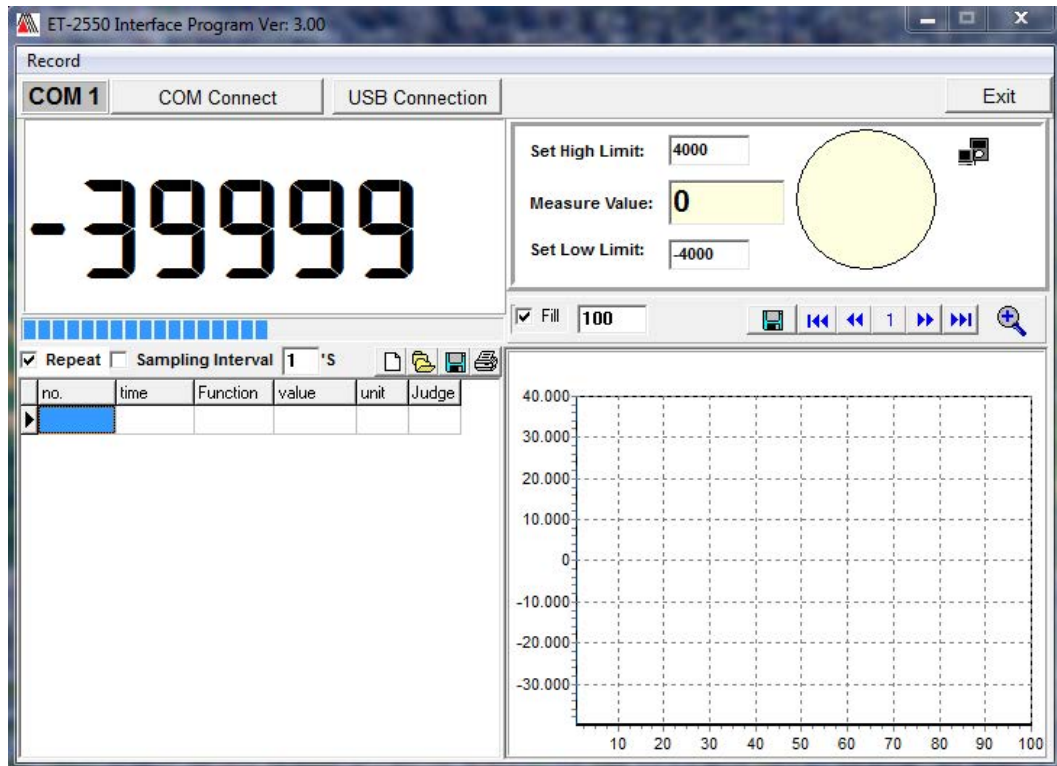
3.5 Armazenamento e transferência dos dados para o computador

Para salvar, registrar, limpar e transferir as leituras diárias no multímetro, mais uma vez seguimos o manual de instruções do usuário, utilizando as funções *Store*, *Recall*, *Hold* e *Send*.

A compra do multímetro era acompanhada com o CD-ROM de instalação do *software DMM ET-2550* (figura 3), responsável pela transferência e leitura dos dados coletados.

Para que ocorresse essa transferência, o multímetro vem acompanhado de cabos específicos de conexão USB com o computador do usuário, utilizando-se do processo de *Data Logger* e *Send*, o restante era automatizado pelo *software* do produto, gerando tabelas e gráficos de acordo com os dados recebidos.

Figura 3: Software DMM ET-2550 da empresa Minipa, responsável pela transferência e leitura dos dados coletados.



3.6. Estratégia experimental

Foram montadas duas réplicas para cada tratamento, as placas estáticas a 45° e as placas móveis acompanhando o movimento solar diário.

Foram feitos 08 (oito) dias de coleta de dados, englobando todas as estações do ano, tanto em dias claros sem nuvens e dias nublados, para a posterior comparação de eficiência energética das placas e seus tratamentos nos diferentes dias.

3.6.1. Placas estáticas a 45°

Neste tratamento as placas ficaram fixas, como uma placa solar convencional a 45° (figura 4 a), representando folhas estáticas, captando a luz solar na posição diaheliotrópica.

As placas eram ligas ao multímetro de acordo com o protocolo do manual de instruções, ou seja, pela conexão de seus cabos vermelho e preto ligados às pontas

de prova vermelha e preta do multímetro (no terminal **V** e no terminal **COM** respectivamente).

Assim que as medidas eram completadas durante o dia, desfazíamos as conexões entre as pontas de prova primeiro, depois do circuito sob teste (as placas fotovoltaicas) e removemos posteriormente dos terminais de entrada do multímetro, diminuindo a chance de danificar o aparelho e as placas.

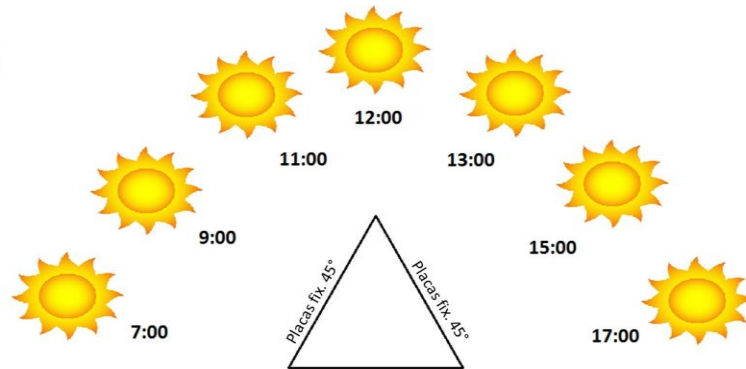
3.6.2. Placas móveis

Neste tratamento as placas ficaram móveis, acompanhando o movimento solar diário, biomimetizando o paraheliotropismo foliar (figura 4 c). Seu movimento foi feito manualmente, sendo alterado dependendo da posição que o sol se encontrava naquele instante da medição, aproximadamente de 15 em 15 minutos.

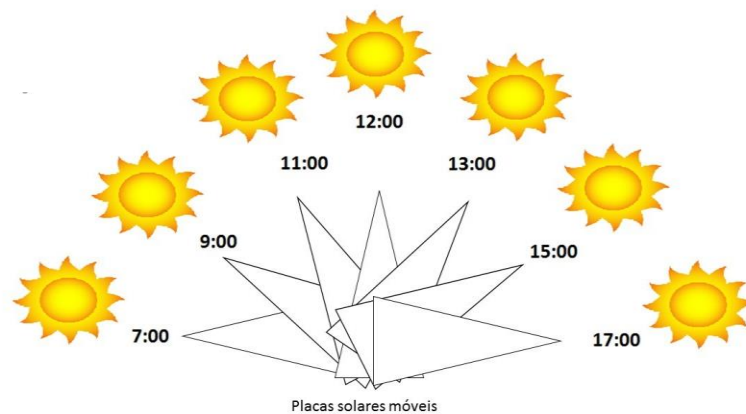
As medidas de tensão foram feitas exatamente da mesma forma tanto se comparadas com os outros tratamentos (placas estáticas) quanto se comparadas às suas réplicas, evitando assim pseudo-replicação.

Figura 4: Representação dos diferentes tratamentos das placas fotovoltaicas, sendo **a)** as placas estáticas a 45° e **b)** as placas móveis de acordo com o movimento do sol diário.

a)



b)



3.7. Análises estatísticas e de eficiência energética

Para testar a diferença das tensões de cada placa entre cada tratamento, foram feitas análises simples de comparação.

Primeiramente, os 100 dados obtidos por dia são médias aritméticas das réplicas de cada tratamento, após isso foram feitas médias aritméticas gerais dos resultados diários de tensão.

Posteriormente comparamos eficiência para cada tratamento de cada dia, ou seja, equação divisional simples de um tratamento sobre o outro para análise de eficiência comparativa:

$$\frac{\text{média aritmética das tensões do tratamento 1}}{\text{média aritmética das tensões do tratamento 2}}$$

Resultando em 1,3, por exemplo, teríamos que o tratamento 1 apresentaria um valor 30%, em média, maior de eficiência que o tratamento 2. Já se resultasse em 0,9, teríamos que o tratamento 2 apresentaria um valor de 10%, em média, maior de eficiência que o tratamento 1.

Após a obtenção do valor da comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos, houve uma classificação para saber se o valor obtido é de significância alta (maior que 8% de efetividade relativa), média (maior que 5% e menor que 8% de efetividade relativa) ou baixa (menor que 5% de efetividade relativa), e assim podendo ser levado em consideração para a conclusão do trabalho.

Já a precisão das especificações elétricas do multímetro para correntes elétricas alternadas, de acordo com o manual do usuário, para valores de 4 a 400 Volts é de $\pm (0,05\% + b)$, sendo 'b' o número de dígitos registrados, garantindo-se por 1 ano.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Daqui por diante trataremos as placas estáticas a 45° de tratamento 1 e as placas móveis acompanhando o movimento solar diário de tratamento 2.

4.1. Dia 1

Dia claro com poucas nuvens, temperatura em média de 33,1 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 1 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1: Valores das 100 medidas (em Volt) no dia 1 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,48	21	4,489	41	4,51	61	4,475	81	4,466
2	4,461	22	4,497	42	4,522	62	4,46	82	4,424
3	4,457	23	4,476	43	4,5	63	4,435	83	4,472
4	4,467	24	4,476	44	4,455	64	4,424	84	4,5
5	4,476	25	4,466	45	4,454	65	4,468	85	4,515
6	4,486	26	4,477	46	4,42	66	4,461	86	4,513
7	4,483	27	4,455	47	4,421	67	4,467	87	4,455
8	4,491	28	4,45	48	4,436	68	4,487	88	4,427
9	4,529	29	4,426	49	4,457	69	4,424	89	4,455
10	4,531	30	4,432	50	4,502	70	4,436	90	4,5
11	4,524	31	4,466	51	4,516	71	4,421	91	4,474
12	4,544	32	4,495	52	4,515	72	4,446	92	4,476
13	4,542	33	4,524	53	4,532	73	4,443	93	4,478
14	4,549	34	4,544	54	4,504	74	4,429	94	4,495
15	4,571	35	4,543	55	4,495	75	4,389	95	4,487
16	4,563	36	4,546	56	4,489	76	4,387	96	4,488
17	4,558	37	4,519	57	4,499	77	4,378	97	4,482
18	4,55	38	4,512	58	4,49	78	4,388	98	4,472
19	4,51	39	4,522	59	4,494	79	4,419	99	4,482
20	4,49	40	4,521	60	4,48	80	4,431	100	4,503

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 1 é de **4,481 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo no dia 1 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Valores das 100 medidas (em Volt) no dia 1 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	5,017	21	5,053	41	5,126	61	5,09	81	5,082
2	5,002	22	5,021	42	5,103	62	5,073	82	5,085
3	5,022	23	5,029	43	5,128	63	5,064	83	5,091
4	5,002	24	5,074	44	5,098	64	5,064	84	5,093
5	5,015	25	5,092	45	0	65	5,059	85	5,107
6	5,078	26	5,035	46	5,088	66	5,055	86	5,121
7	5,032	27	5,037	47	5,092	67	5,069	87	5,102
8	5,045	28	5,023	48	5,058	68	5,024	88	5,087
9	5,098	29	5,024	49	5,021	69	5,036	89	5,03
10	5,112	30	5,073	50	5,178	70	5,046	90	5,015
11	5,121	31	5,052	51	5,145	71	5,049	91	5,033
12	5,182	32	5,026	52	1,166	72	5,084	92	5,028
13	5,185	33	5,056	53	5,177	73	5,032	93	5,012
14	5,153	34	5,061	54	5,162	74	5,023	94	5,028
15	5,114	35	5,036	55	5,087	75	5,078	95	5,014
16	5,109	36	5,073	56	5,072	76	5,038	96	5,02
17	5,164	37	5,026	57	5,063	77	5,022	97	5,015
18	5,174	38	5,128	58	5,085	78	5,021	98	5,019
19	5,103	39	5,157	59	5,094	79	5,052	99	5,03
20	5,099	40	5,133	60	5,076	80	5,067	100	5,011

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 1 é de **5,064 Volts**.

Pode-se observar erros experimentais nas medidas de tensão do tratamento 2 nos dados 45 e 52, os quais devem ser justificados pelo manuseio do aparelho, já que as mudanças de posicionamento eram feitas manualmente.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no primeiro dia (em volts) resulta em 0,884 V (4,481/5,064), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 11,6%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,116 vezes maior, sendo classificado de significância alta.

Contudo, podemos perceber que, mesmo em horários que os dois tratamentos estão em posições semelhantes, entre 11:00 e 13:00 horas, os valores apresentam discrepância entre si, podendo ser explicado, mais uma vez, por erro experimental, no qual os tratamentos não apresentavam exatamente a mesma posição, se diferenciando em um espaçamento de aproximadamente 1,5 metro, sendo possível o acontecimento de sombreamento em um dos tratamentos, diminuindo a incidência de luz e, conseqüentemente, diminuindo o valor da voltagem final da placa solar.

4.2. Dia 2

Dia claro com poucas nuvens, temperatura em média de 30,3 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 2 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 2 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,494	21	4,428	41	4,373	61	4,471	81	4,478
2	4,443	22	4,454	42	4,372	62	4,388	82	4,358
3	4,414	23	4,493	43	4,367	63	4,289	83	4,359
4	4,421	24	4,466	44	4,384	64	4,281	84	4,33
5	4,423	25	4,445	45	4,389	65	4,304	85	4,411
6	4,407	26	4,459	46	4,406	66	4,323	86	4,362
7	4,391	27	4,472	47	4,455	67	4,362	87	4,375
8	4,396	28	4,488	48	4,468	68	4,53	88	4,484
9	4,401	29	4,495	49	4,515	69	4,527	89	4,449
10	4,393	30	4,472	50	4,452	70	4,622	90	4,558
11	4,389	31	4,447	51	4,434	71	4,574	91	4,494
12	4,395	32	4,436	52	4,538	72	4,517	92	4,588
13	4,41	33	4,411	53	4,535	73	4,456	93	4,533
14	4,42	34	4,435	54	4,526	74	4,457	94	4,428
15	4,414	35	4,447	55	4,506	75	4,469	95	4,469
16	4,425	36	4,437	56	4,461	76	4,519	96	4,46
17	4,432	37	4,406	57	4,523	77	4,524	97	4,457
18	4,425	38	4,4	58	4,584	78	4,519	98	4,427
19	4,431	39	4,404	59	4,499	79	4,511	99	4,377
20	4,42	40	4,386	60	4,491	80	4,516	100	4,369

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 2 é de **4,443 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 2 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 2 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,583	21	4,524	41	4,499	61	4,489	81	4,521
2	4,593	22	4,51	42	4,484	62	4,419	82	4,519
3	4,577	23	4,503	43	4,439	63	4,356	83	4,419
4	4,508	24	4,513	44	4,422	64	4,312	84	4,437
5	4,52	25	4,522	45	4,431	65	4,306	85	4,431
6	4,562	26	4,532	46	4,472	66	4,39	86	4,494
7	4,589	27	4,537	47	4,454	67	4,465	87	4,433
8	4,562	28	4,572	48	4,448	68	4,53	88	4,484
9	4,531	29	4,592	49	4,531	69	4,538	89	4,488
10	4,515	30	4,581	50	4,513	70	4,64	90	4,513
11	4,499	31	4,577	51	4,501	71	4,518	91	4,509
12	4,512	32	4,566	52	4,431	72	4,534	92	4,573
13	4,514	33	4,572	53	4,498	73	4,499	93	4,539
14	4,509	34	4,59	54	4,48	74	4,475	94	4,511
15	4,526	35	4,583	55	4,51	75	4,472	95	4,504
16	4,524	36	4,567	56	4,521	76	4,498	96	4,517
17	4,584	37	4,58	57	4,493	77	4,536	97	4,497
18	4,503	38	4,559	58	4,536	78	4,534	98	4,481
19	4,546	39	4,547	59	4,511	79	4,531	99	4,462
20	4,532	40	4,539	60	4,49	80	4,528	100	4,429

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 2 é de **4,513 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no segundo dia (em volts) resulta em 0,984 V (4,443/5,513), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 1,6%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,016 vezes maior, sendo classificado de significância baixa.

4.3. Dia 3

Dia nublado com a temperatura em média de 28,4 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 3 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 3 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	3,845	21	3,899	41	3,797	61	3,792	81	3,78
2	3,837	22	3,992	42	3,814	62	3,79	82	3,784
3	3,832	23	3,977	43	3,827	63	3,781	83	3,785
4	3,828	24	3,887	44	3,898	64	3,775	84	3,795
5	3,827	25	3,844	45	3,934	65	3,771	85	3,804
6	3,827	26	3,829	46	3,914	66	3,768	86	3,802
7	3,824	27	3,819	47	3,88	67	3,767	87	3,8
8	3,826	28	3,873	48	3,85	68	3,77	88	3,802
9	3,823	29	3,956	49	3,827	69	3,771	89	3,802
10	3,826	30	3,911	50	3,816	70	3,767	90	3,798
11	3,828	31	3,886	51	3,797	71	3,766	91	3,798
12	3,836	32	3,986	52	3,786	72	3,772	92	3,8
13	3,863	33	3,964	53	3,785	73	3,773	93	3,802
14	3,863	34	3,956	54	3,781	74	3,775	94	3,808
15	3,838	35	3,932	55	3,781	75	3,773	95	3,809
16	3,838	36	3,883	56	3,782	76	3,777	96	3,814
17	3,845	37	3,819	57	3,787	77	3,781	97	3,813
18	3,866	38	3,817	58	3,794	78	3,778	98	3,814
19	3,853	39	3,764	59	3,795	79	3,775	99	3,81
20	3,859	40	3,775	60	3,794	80	3,775	100	3,814

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 3 é de **3,813 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 3 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 3 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,044	21	4,211	41	4,091	61	3,934	81	3,891
2	4,041	22	4,231	42	4,123	62	3,972	82	3,81
3	4,103	23	4,189	43	4,178	63	3,921	83	3,802
4	4,031	24	4,17	44	4,093	64	3,931	84	3,845
5	4,102	25	4,162	45	4,107	65	3,991	85	3,869
6	4,11	26	4,183	46	4,131	66	3,924	86	3,967
7	4,142	27	4,194	47	4,092	67	3,967	87	3,951
8	4,125	28	4,173	48	4,051	68	3,963	88	3,955
9	4,131	29	4,19	49	3,92	69	3,958	89	3,991
10	4,123	30	4,24	50	3,953	70	3,974	90	3,914
11	4,138	31	4,214	51	3,991	71	3,956	91	3,935
12	4,137	32	4,228	52	3,972	72	3,862	92	3,953
13	4,152	33	4,215	53	3,964	73	3,804	93	3,978
14	4,135	34	4,199	54	3,955	74	3,962	94	3,991
15	4,163	35	4,234	55	3,914	75	3,967	95	4,103
16	4,145	36	4,267	56	3,899	76	3,925	96	3,985
17	4,167	37	4,164	57	3,931	77	3,934	97	3,962
18	4,135	38	4,188	58	3,946	78	3,992	98	4,089
19	4,151	39	4,193	59	3,92	79	3,912	99	4,003
20	4,166	40	4,077	60	3,981	80	3,931	100	3,935

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 3 é de **4,003 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no terceiro dia (em volts) resulta em 0,952 V ($3,813/4,003$), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 4,8%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,048 vezes maior, sendo classificado de significância baixa.

Neste dia podemos observar o comportamento esperado se basearmos em nossa hipótese de que a placa solar móvel apresentará uma eficiência maior se diminuirmos o ângulo de incidência da luz solar, podendo ser observada nas primeiras e nas últimas horas dos dias, os quais os valores são sempre maiores se compararmos com os valores do tratamento 1. E quando as placas apresentam

posicionamentos semelhantes (nas horas onde o sol está em sua posição mais elevada no plano do céu) os valores apresentados são semelhantes.

4.4. Dia 4

Dia claro com poucas nuvens e a temperatura em média de 29,1 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 4 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 7.

Tabela 7: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 4 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,318	21	4,359	41	4,39	61	4,24	81	4,538
2	4,328	22	4,345	42	4,407	62	4,255	82	4,535
3	4,356	23	4,388	43	4,284	63	4,378	83	4,526
4	4,39	24	4,376	44	4,28	64	4,435	84	4,506
5	4,372	25	4,379	45	4,224	65	4,461	85	4,461
6	4,424	26	4,31	46	4,171	66	4,449	86	4,523
7	4,452	27	4,281	47	4,15	67	4,471	87	4,584
8	4,457	28	4,286	48	4,151	68	4,445	88	4,499
9	4,367	29	4,306	49	4,174	69	4,469	89	4,491
10	4,421	30	4,308	50	4,223	70	4,487	90	4,471
11	4,423	31	4,304	51	4,293	71	4,458	91	4,388
12	4,523	32	4,296	52	4,254	72	4,405	92	4,289
13	4,404	33	4,3	53	4,214	73	4,422	93	4,281
14	4,436	34	4,318	54	4,194	74	4,426	94	4,304
15	4,366	35	4,349	55	4,191	75	4,429	95	4,323
16	4,338	36	4,345	56	4,192	76	4,438	96	4,362
17	4,334	37	4,443	57	4,198	77	4,421	97	4,53
18	4,333	38	4,53	58	4,206	78	4,409	98	4,407
19	4,341	39	4,436	59	4,215	79	4,435	99	4,391
20	4,532	40	4,389	60	4,233	80	4,434	100	4,396

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 4 é de **4,378 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 4 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 4 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,836	21	4,743	41	4,652	61	4,267	81	4,562
2	4,886	22	4,768	42	4,654	62	4,361	82	4,599
3	4,862	23	4,734	43	4,658	63	4,381	83	4,614
4	4,823	24	4,756	44	4,591	64	4,472	84	4,645
5	4,778	25	4,77	45	4,572	65	4,513	85	4,631
6	4,78	26	4,791	46	4,411	66	4,589	86	4,637
7	4,813	27	4,756	47	4,31	67	4,627	87	4,639
8	4,812	28	4,677	48	4,11	68	4,613	88	4,651
9	4,809	29	4,678	49	4,102	69	4,535	89	4,614
10	4,82	30	4,669	50	4,129	70	4,513	90	4,629
11	4,881	31	4,652	51	4,122	71	4,595	91	4,588
12	4,769	32	4,679	52	4,127	72	4,513	92	4,512
13	4,781	33	4,642	53	4,124	73	4,567	93	4,551
14	4,788	34	4,701	54	4,133	74	4,593	94	4,521
15	4,801	35	4,645	55	4,112	75	4,531	95	4,545
16	4,766	36	4,649	56	4,172	76	4,537	96	4,522
17	4,759	37	4,647	57	4,147	77	4,538	97	4,589
18	4,768	38	4,712	58	4,133	78	4,512	98	4,599
19	4,752	39	4,69	59	4,199	79	4,53	99	4,582
20	4,834	40	4,689	60	4,269	80	4,514	100	4,591

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 4 é de **4,620 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no quarto dia (em volts) resulta em 0,947 V ($4,378/4,620$), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 5,3%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,053 vezes maior, sendo classificado de significância média.

4.5. Dia 5

Dia claro com poucas nuvens, temperatura em média de 28,3 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 5 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 5 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	3,826	21	3,778	41	3,679	61	3,823	81	0
2	3,821	22	3,786	42	3,677	62	3,833	82	0
3	3,818	23	3,797	43	3,696	63	3,841	83	0
4	3,824	24	3,797	44	3,719	64	3,824	84	0
5	3,83	25	3,791	45	3,696	65	3,784	85	0
6	3,853	26	3,784	46	3,704	66	3,785	86	0
7	3,864	27	3,787	47	3,695	67	3,782	87	0
8	3,884	28	3,804	48	3,695	68	3,783	88	0
9	3,83	29	3,884	49	3,695	69	3,783	89	0
10	3,826	30	3,803	50	3,699	70	3,774	90	0
11	3,818	31	3,875	51	3,705	71	3,755	91	0
12	3,817	32	3,901	52	3,71	72	3,77	92	0
13	3,817	33	3,835	53	3,719	73	0,166	93	0
14	3,931	34	3,819	54	3,719	74	3,77	94	0
15	3,8	35	3,841	55	3,73	75	3,78	95	0
16	3,811	36	3,822	56	3,761	76	3,772	96	0
17	3,825	37	3,796	57	3,805	77	3,773	97	0
18	3,874	38	3,729	58	3,825	78	3,788	98	0
19	3,941	39	3,71	59	3,825	79	3,784	99	0
20	3,79	40	3,688	60	3,83	80	3,782	100	0

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 5 é de **3,782 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 5 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 5 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,182	21	4,153	41	4,12	61	4,212	81	4,201
2	4,193	22	4,142	42	4,082	62	4,188	82	4,179
3	4,197	23	4,163	43	4,105	63	4,147	83	4,172
4	4,19	24	4,182	44	4,111	64	4,138	84	4,146
5	4,183	25	4,173	45	4,023	65	4,145	85	4,163
6	4,186	26	4,183	46	4,134	66	4,17	86	4,162
7	4,196	27	4,189	47	4,003	67	4,132	87	4,173
8	4,182	28	4,205	48	3,934	68	4,135	88	4,196
9	4,169	29	4,2	49	3,945	69	4,139	89	4,164
10	4,191	30	4,211	50	3,932	70	4,159	90	4,143
11	4,234	31	4,193	51	3,964	71	4,144	91	4,101
12	4,212	32	4,174	52	3,956	72	4,162	92	4,106
13	4,192	33	4,192	53	4,156	73	4,132	93	3,923
14	4,173	34	4,203	54	4,145	74	4,177	94	3,91
15	4,194	35	4,234	55	3,973	75	4,192	95	3,906
16	4,212	36	4,179	56	3,945	76	4,18	96	3,923
17	4,214	37	4,188	57	4,199	77	4,189	97	3,871
18	4,273	38	4,19	58	4,252	78	4,192	98	3,876
19	4,253	39	4,179	59	4,241	79	4,222	99	3,892
20	4,278	40	4,182	60	4,23	80	4,221	100	3,881

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 5 é de **4,173 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no quinto dia (em volts) resulta em 0,906 V (3,782/4,173), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 9,4%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,094 vezes maior, mas não houve classificação devido ao erro na medida dos valores 81 a 100 do tratamento 1, onde houve descarga total da bateria do multímetro, não podendo mais armazenar os dados.

Entretanto se formos comparar os 80 primeiros dados dos dois tratamentos em questão neste dia, temos uma efetividade também de 9,4% maior do tratamento 2, sendo 3,79 V a média aritmética do tratamento 1 para as primeiras 80 medidas e 4,182 V para o tratamento 2 nas primeiras 80 medidas, não diferenciando o

resultado final. E, tendo em vista o desvio padrão das primeiras 80 medidas de ambos os tratamentos, podemos classificar o resultado de significância alta.

4.6. Dia 6

Dia claro com poucas nuvens, temperatura em média de 28,6 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 6 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 6 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	3,88	21	3,902	41	3,874	61	3,823	81	3,84
2	3,879	22	3,914	42	3,89	62	3,84	82	3,821
3	3,864	23	3,923	43	3,927	63	3,899	83	3,91
4	3,863	24	3,937	44	3,929	64	3,971	84	3,942
5	3,877	25	3,935	45	3,945	65	4,009	85	3,967
6	3,875	26	3,92	46	3,911	66	3,962	86	3,916
7	3,869	27	3,9	47	3,91	67	3,967	87	3,993
8	3,868	28	3,896	48	3,991	68	3,927	88	3,952
9	3,873	29	3,881	49	3,93	69	3,855	89	3,897
10	3,894	30	3,894	50	3,908	70	3,895	90	3,914
11	3,886	31	3,902	51	3,901	71	3,955	91	3,91
12	3,889	32	3,897	52	3,945	72	3,968	92	3,908
13	3,899	33	3,875	53	3,936	73	3,934	93	3,891
14	3,893	34	3,875	54	3,894	74	3,928	94	3,854
15	3,895	35	3,876	55	3,888	75	3,938	95	3,852
16	3,888	36	3,866	56	3,889	76	3,945	96	3,832
17	3,891	37	3,865	57	3,865	77	3,86	97	3,825
18	3,901	38	3,857	58	3,819	78	3,811	98	3,831
19	3,928	39	3,853	59	3,79	79	3,847	99	3,829
20	3,919	40	3,869	60	3,809	80	3,84	100	3,834

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 6 é de **3,894 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 6 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 6 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,128	21	4,223	41	4,007	61	3,915	81	4,124
2	4,129	22	4,237	42	3,992	62	3,924	82	4,101
3	4,126	23	4,283	43	4,023	63	3,951	83	4,112
4	4,119	24	4,262	44	4,037	64	4,099	84	4,132
5	4,125	25	4,261	45	4,099	65	4,113	85	4,156
6	4,131	26	4,282	46	3,913	66	4,078	86	4,16
7	4,149	27	4,251	47	3,925	67	4,123	87	4,18
8	4,156	28	4,188	48	3,952	68	4,135	88	4,173
9	4,163	29	4,179	49	3,965	69	4,088	89	4,188
10	4,173	30	4,193	50	3,946	70	4,079	90	4,172
11	4,198	31	4,157	51	3,962	71	4,138	91	4,158
12	4,182	32	4,15	52	3,952	72	4,128	92	4,143
13	4,213	33	4,178	53	3,988	73	4,162	93	4,149
14	4,221	34	4,19	54	3,975	74	4,135	94	4,13
15	4,214	35	4,176	55	3,952	75	4,189	95	4,152
16	4,189	36	4,142	56	3,955	76	4,132	96	4,163
17	4,193	37	4,089	57	3,925	77	4,089	97	4,135
18	4,231	38	4,036	58	3,976	78	4,132	98	4,154
19	4,266	39	4,105	59	3,921	79	4,156	99	4,098
20	4,289	40	4,067	60	3,907	80	4,172	100	4,139

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 6 é de **4,135 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no sexto dia (em volts) resulta em 0,941 V (3,894/4,135), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 5,9%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,059 vezes maior, sendo considerada de relevância moderada.

Neste dia podemos observar o padrão que esperávamos no presente trabalho, no qual o tratamento 2, com as placas móveis, apresentasse um aumento na eficiência energética, principalmente nas horas iniciais e finais do dia, pois são nesses horários onde as placas estáticas tem menos incidência de luz se comparadas com as móveis.

4.7. Dia 7

Dia claro com nuvens aparentes e temperatura em média de 29,5 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 7 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 7 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,318	21	4,344	41	4,472	61	4,244	81	4,228
2	4,322	22	4,356	42	4,513	62	4,242	82	4,235
3	4,315	23	4,357	43	4,372	63	4,252	83	4,243
4	4,319	24	4,366	44	4,291	64	4,252	84	4,247
5	4,322	25	4,376	45	4,234	65	4,252	85	4,244
6	4,323	26	4,417	46	4,277	66	4,249	86	4,25
7	4,313	27	4,584	47	4,298	67	4,246	87	4,261
8	4,305	28	4,588	48	4,321	68	4,237	88	4,264
9	4,295	29	4,535	49	4,342	69	4,226	89	4,259
10	4,295	30	4,428	50	4,534	70	4,216	90	4,266
11	4,297	31	4,354	51	4,517	71	4,207	91	4,293
12	4,303	32	4,324	52	4,448	72	4,206	92	4,283
13	4,306	33	4,331	53	4,398	73	4,207	93	4,276
14	4,31	34	4,534	54	4,32	74	4,218	94	4,281
15	4,323	35	4,487	55	4,293	75	4,22	95	4,295
16	4,331	36	4,407	56	4,279	76	4,219	96	4,287
17	4,342	37	4,519	57	4,258	77	4,218	97	4,284
18	4,393	38	4,585	58	4,247	78	4,225	98	4,286
19	4,402	39	4,583	59	4,241	79	4,227	99	4,292
20	4,364	40	4,472	60	4,243	80	4,229	100	4,302

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 7 é de **4,296 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 7 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 7 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,615	21	4,638	41	4,642	61	4,517	81	4,377
2	4,673	22	4,615	42	4,638	62	4,498	82	4,361
3	4,623	23	4,654	43	4,612	63	4,371	83	4,373
4	4,632	24	4,661	44	4,577	64	4,392	84	4,372
5	4,637	25	4,679	45	4,588	65	4,399	85	4,324
6	4,612	26	4,698	46	4,512	66	4,421	86	4,346
7	4,634	27	4,69	47	4,499	67	4,431	87	4,312
8	4,686	28	4,713	48	4,479	68	4,466	88	4,368
9	4,618	29	4,668	49	4,51	69	4,41	89	4,361
10	4,647	30	4,645	50	4,688	70	4,382	90	4,331
11	4,612	31	4,683	51	4,633	71	4,428	91	4,377
12	4,624	32	4,649	52	4,592	72	4,452	92	4,386
13	4,599	33	4,682	53	4,57	73	4,406	93	4,416
14	4,633	34	4,646	54	4,612	74	4,392	94	4,435
15	4,614	35	4,691	55	4,633	75	4,366	95	4,417
16	4,628	36	4,682	56	4,572	76	4,36	96	4,377
17	4,625	37	4,699	57	4,589	77	4,385	97	4,434
18	4,612	38	4,662	58	4,632	78	4,399	98	4,421
19	4,588	39	4,614	59	4,56	79	4,415	99	4,429
20	4,641	40	4,623	60	4,512	80	4,425	100	4,437

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 7 é de **4,588 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no sexto dia (em volts) resulta em 0,936 V ($4,296/4,588$), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 6,4%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,064 vezes maior, sendo considerada de relevância moderada.

Neste dia podemos observar que todos os valores do tratamento 2 são maiores que os valores do tratamento 1, observando assim um erro na coleta dos dados apresentados, no entanto podemos observar a variação dos valores de voltagem seguido o padrão que esperávamos, no qual os valores nas horas iniciais e finais do dia tenham uma eficiência maior do que nas horas intermediárias se comparadas com o tratamento 1.

4.8. Dia 8

Dia claro com poucas nuvens, temperatura em média de 27,7 °C.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 8 no tratamento 1 são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 8 do tratamento 1 (placas estáticas a 45°).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	3,910	21	3,925	41	3,918	61	3,889	81	3,933
2	3,905	22	3,928	42	3,91	62	3,916	82	3,94
3	3,926	23	3,919	43	3,89	63	3,91	83	3,922
4	3,924	24	3,915	44	3,884	64	3,913	84	3,903
5	3,920	25	3,914	45	3,905	65	3,921	85	3,903
6	3,949	26	3,894	46	3,907	66	3,882	86	3,904
7	3,955	27	3,891	47	3,933	67	3,894	87	3,932
8	3,943	28	3,917	48	3,946	68	3,879	88	3,916
9	3,95	29	3,928	49	3,951	69	3,899	89	3,92
10	3,971	30	3,939	50	3,959	70	3,896	90	3,923
11	3,957	31	3,96	51	3,943	71	3,887	91	3,928
12	3,973	32	3,969	52	3,942	72	3,862	92	3,928
13	3,983	33	3,976	53	3,933	73	3,858	93	3,933
14	3,974	34	3,973	54	3,935	74	3,861	94	3,93
15	3,975	35	3,953	55	3,937	75	3,868	95	3,928
16	3,968	36	3,954	56	3,935	76	3,882	96	3,93
17	3,93	37	3,952	57	3,919	77	3,908	97	3,924
18	3,929	38	3,948	58	3,924	78	3,911	98	3,931
19	3,937	39	3,949	59	3,914	79	3,889	99	3,889
20	3,934	40	3,948	60	3,893	80	3,929	100	3,877

A média aritmética de todos os valores para o tratamento 1 no dia 8 é de **3,925 Volts**.

Os valores referentes aos dados de tensão ao longo do dia 8 do tratamento 2 são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16: Valores das 100 medidas (em Volt) do dia 8 do tratamento 2 (placas móveis).

No	Value	No	Value	No	Value	No	Value	No	Value
1	4,132	21	4,168	41	4,108	61	4,091	81	4,163
2	4,152	22	4,187	42	4,112	62	4,123	82	4,128
3	4,162	23	4,179	43	4,131	63	4,151	83	4,178
4	4,177	24	4,182	44	4,127	64	4,107	84	4,109
5	4,14	25	4,128	45	4,108	65	3,985	85	4,142
6	4,147	26	4,131	46	4,079	66	3,979	86	4,123
7	4,155	27	4,166	47	3,946	67	4,092	87	4,1
8	4,182	28	4,152	48	3,937	68	4,125	88	4,093
9	4,147	29	4,192	49	3,942	69	4,131	89	4,089
10	4,153	30	4,155	50	3,992	70	4,155	90	4,099
11	4,168	31	4,129	51	3,982	71	4,083	91	4,124
12	4,188	32	4,123	52	4,088	72	4,131	92	4,138
13	4,145	33	4,133	53	4,062	73	4,122	93	4,158
14	4,143	34	4,109	54	4,03	74	4,11	94	4,121
15	4,156	35	4,121	55	3,991	75	4,127	95	4,145
16	4,184	36	4,12	56	3,935	76	4,134	96	4,109
17	4,173	37	4,155	57	3,984	77	4,167	97	4,113
18	4,201	38	4,149	58	4,016	78	4,163	98	4,099
19	4,189	39	4,161	59	4,067	79	4,138	99	3,997
20	4,165	40	4,13	60	4,023	80	4,152	100	3,989

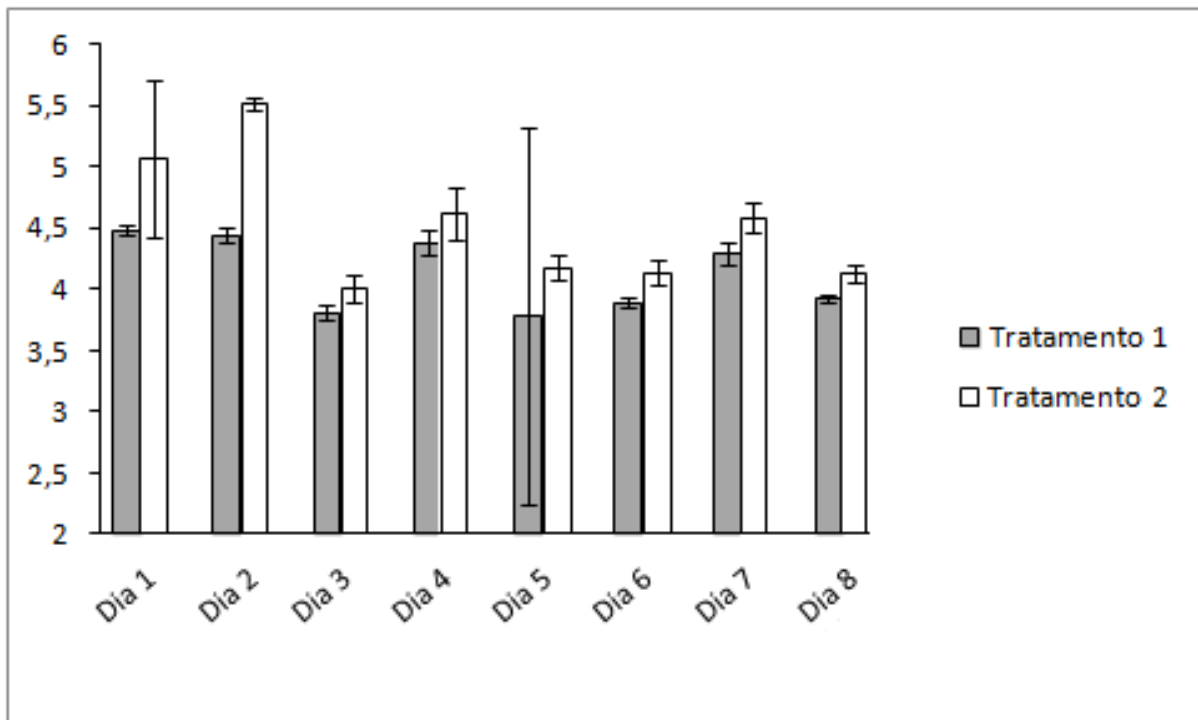
A média aritmética de todos os valores para o tratamento 2 no dia 8 é de **4,129 Volts**.

A comparação das médias aritméticas dos dois tratamentos no sexto dia (em volts) resulta em 0,95 V (3,925/4,129), assim sendo o tratamento 2 tem uma eficiência energética comparativa maior em 5,0%, ou seja, sua conversão de energia luminosa em energia elétrica (em volts) é 1,05 vezes maior, sendo considerada de relevância moderada.

4.9. Média geral comparativa de todos os dias de coleta de dados

Para comparar as médias aritméticas gerais e seus desvios padrões para cada tratamento em cada dia e, conseqüentemente, a eficiência energética, construímos um gráfico (gráfico 1).

Gráfico 1: Eficiência energética média para cada tratamento em cada dia;



Pelo gráfico 1, observa-se um aumento na eficiência energética do tratamento 2 (placas solares móveis) em todos os dias, com uma diferença significativa no dia 1 e no dia 2, também percebemos erros no desvio padrão do dia 1 e dia 5, tendo em vista os resultados das coletas de dados zerados nesses dois dias em alguns momentos da coleta.

Verifica-se que, apesar de haver um aumento na eficiência energética em todos os dias, este aumento por muitas vezes não é significativo (máximo de 11,6% no dia 1 e de mínima de 1,6% no dia 2), tendo uma média de aumento de 6,25%.

Tendo em vista o custo de produção de placas solares móveis, comparadas com as estáticas à 45°, talvez este aumento de produção não seja benéfico para o mercado produtor, mas pensando no biomimetismo deste tratamento para uma

produção em larga escala de uma monocultura, podemos pensar em um aumento significativo de produção de biomassa.

5. CONCLUSÃO

Nosso estudo mostrou que as placas fotovoltaicas posicionadas de forma que mimetizam as folhas paraheliotrópicas, ou seja, acompanhando o movimento solar diário, diminuindo o ângulo de incidência de luz, apresentam um acréscimo na eficiência energética se compararmos com as estáticas a 45°, mas por algumas vezes este aumento foi insignificante, ou de significância moderada.

Desta maneira, não podemos afirmar que a mobilidade das placas fotovoltaicas é essencial para sua maior eficiência, seria necessário um estudo mais abrangente, com um maior dado amostral para que possamos confirmar nossa hipótese.

Futuros trabalhos podem possibilitar o melhoramento genético de plantas para uma maior taxa fotossintética e, conseqüentemente, maior produção de biomassa, como em Cana-de-açúcar para uma maior produção de bioetanol ou o açúcar propriamente dito.

Também podemos pensar na confecção de produtos de melhor eficiência energética com um custo de produção inferior ao apresentado hoje no mercado nacional, possibilitando uma abrangência maior de público alvo, podendo alcançar comunidades ribeirinhas e famílias de baixa renda.

Sendo assim, estudos desse tipo são importantes em um ponto de vista geral, pois possibilitam um melhor entendimento das respostas dos posicionamentos das placas solares, ou o seu mimetismo com plantas, em relação ao sol e sua conseqüente eficiência energética.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, A. F.; A. Desenvolvimento e Avaliação de Desempenho de um sistema de Posicionamento Automático para Painéis Fotovoltaicos. **Energia na agricultura** (UNESP. Botucatu. CD-Rom), v. 25, p. 1-19, 2010.

ARENA, C.; VITALE, L.; DE SANTO, A.V. Paraheliotropism in *Robinia pseudocacia* L.: an efficient strategy to optimise photosynthetic performance under natural environmental conditions. **Plant Biology**, v.10, p.194-201, 2008.

BAINBRIDGE, W.; ROCO, M. Converging Technologies for Improving Human Performance.”. **Fiberoptic Product News**, v. 15, n. 10, p. 108, 2003.

BAWHEY, C.; GRANT, R.H.; GAO, W. Digital measurement of heliotropic leaf response in soybean cultivars and leaf exposure to solar UVB radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.120, p.161-175, 2003.

BIELENBERG, D. G.; MILLER, J. D.; BERG, V. S. Paraheliotropism in two *Phaseolus* species: combined effects of photon flux density and pulvinus temperature, and consequences for leaf gas exchange. **Environmental and Experimental Botany**, v.49, p.95-105, 2003.

DARWIN, C.; DARWIN, F. The power of movement in plants. New York: **D. Appleton and company**; Chap. 8, p. 418-448, 1898.

Delucia, E. H.; Shenoj, H.D.; Naidu, S.L.; Day, T.A. Photosynthetic symmetry of sun and shade leaves of different orientations. **Oecologia**, v. 87, p. 51-57, 1991.

DWYER, A. **AIDAN DWYER Solar News Gets Reality Check**. Disponível em: <<http://earthtechling.com/2011/08/aidan-dwyer-solar-news-gets-reality-check/>>. Acesso em: 01 abr. 2014.

FEISTLER, A. M.; Habermann, G. Assessing the role of vertical leaves within the photosynthetic function of *Styrax camporum* under drought conditions. **Photosynthetica**, *in press*, 2012.

LAWLOR, D. W. Light harvesting and energy capture in photosynthesis. In: (Ed.). **Photosynthesis**. New York: Springer, 2001a. Chap.3, p.31-52.

LONG S. P., ZHU X, NAIDU S. L., ORT D. R., Can improvement in photosynthesis increase crop yields? **Plant, Cell and Environment** 29: 315-330, 2006.

MARCHIORI, P. E. R.; RIBEIRO, R. V.; SILVA, L.; MACHADO, R. S.; MACHADO, E. C.; SCARPARI, M. S. Plant growth, canopy photosynthesis and light availability in three sugarcane varieties. **Sugar Tech** 12(2), p.160-166, 2010

MELIS, A. Solar energy conversion efficiencies in photosynthesis: Minimizing the chlorophyll antennae to maximize efficiency. **Plant Science**, v.177, p.272-280, 2009.

PASTENES, C.; Pimentel, P.; Lillo, J. Leaf movements and photoinhibition in relation to water stress in field-grown beans. **Journal of Experimental Botany**, v.56, p.425-433, 2005.

WALTERS, R. G. Towards an understanding of photosynthetic acclimation. **Journal of Experimental Botany** 56:435-47, 2005.

ZHU X. G., LONG S. P., ORT D. R. What is the maximum efficiency with which photosynthesis can convert solar energy into biomass? **Current Opinion in Biotechnology** 19: 153-159, 2008.