

## Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento utilizando energia fotovoltaica

Performance of a drip irrigation system using photovoltaic energy

Rendimiento de un sistema de riego por goteo con energía fotovoltaica

Recebido: 13/03/2022 | Revisado: 21/03/2022 | Aceito: 24/03/2022 | Publicado: 31/03/2022

### Emmanuelle Albara Zago

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1957-4314>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: manuzago91@gmail.com

### Jair Antonio Cruz Siqueira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8140-444X>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: jair.siqueira@unioeste.br

### Marcio Antonio Vilas Boas

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3444-8164>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: marcio.vilasboas@unioeste.br

### Luciene Kazue Tokura

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9758-0141>  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Brasil  
E-mail: lucienetokura@gmail.com

### Resumo

O objetivo do trabalho foi a utilização de um sistema de bombeamento de água para irrigação por gotejamento. O sistema foi instalado no projeto CASA (Centro de Análises de Sistemas Alternativos). A energia usada para o bombeamento foi obtida por meio de um painel fotovoltaico de pequeno porte de eixo horizontal da Greatwatt instalado sobre uma torre autoportante e uma bomba d'água Shurflo modelo 8000. Os ensaios foram realizados em dias de céu aberto, nublado e com poucas nuvens, em diferentes horários e duplicados a cada horário. A energia produzida foi coletada diretamente no local e a capacidade de irrigação foi obtida pela coleta da água e sua uniformidade estimada por meio do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). O rendimento do sistema apresentou variações de acordo com as características dos ensaios. Os dias de céu aberto apresentaram os maiores valores em relação à energia produzida, com média de até 15,1 Wh. Já os valores de CUC e CUD enquadraram-se dentro da faixa considerada aceitável, sendo a maioria deles considerado excelente ou maiores que 90%. Desta maneira, pode-se verificar a viabilidade da utilização de um sistema solar fotovoltaico para obtenção de energia destinada a irrigação em pequenas propriedades em Cascavel-PR.

**Palavras-chave:** Sistemas fotovoltaicos; Sistemas de irrigação; Avaliação de desempenho.

### Abstract

The objective of the work was the use of a water pumping system for drip irrigation. The system was installed in the CASA (Alternative Systems Analysis Center) project. The energy used for the pumping was obtained by means of a Greatwatt horizontal axis photovoltaic panel installed on a self-supporting tower and a Shurflo 8000 model water pump. The trials were performed on days of open skies, cloudy and with few clouds, at different times and duplicated at each time. The energy produced was collected directly on site and the irrigation capacity was obtained by collecting the water and its uniformity estimated using the Christiansen Uniformity Coefficient (CUC) and the Distribution Uniformity Coefficient (CUD). The performance of the system varied according to the characteristics of the tests. The open-air days presented the highest values in relation to the energy produced, with an average of up to 15.1 Wh. On the other hand, the CUC and CUD values were within the acceptable range, most of them being considered excellent or higher than 90%. In this way, it can be verified the feasibility of using a solar photovoltaic system to obtain energy for irrigation in small properties in Cascavel-PR.

**Keywords:** Photovoltaic systems; Irrigation systems; Performance assessment.

### Resumen

El objetivo del trabajo fue la utilización de un sistema de bombeo de agua para riego por goteo. El sistema fue instalado en el proyecto CASA (Centro de Análisis de Sistemas Alternativos). La energía utilizada para el bombeo se obtuvo por medio de un panel fotovoltaico de pequeño tamaño de eje horizontal de Greatwatt instalado sobre una torre autoportante y una bomba de agua Shurflo modelo 8000. Los ensayos fueron realizados en días de cielo abierto,

nublado y con pocas nubes, en diferentes horarios y duplicados a cada horario. La energía producida fue recogida directamente en el sitio y la capacidad de riego fue obtenida por la recolección del agua y su uniformidad estimada por medio del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (CUC) y del Coeficiente de Uniformidad de Distribución (CUD). El rendimiento del sistema variaba en función de las características de los ensayos. Los días de cielo abierto presentaron los mayores valores en relación a la energía producida, con media de hasta 15,1 Wh. Ya los valores de CUC y CUD se encuadraron dentro del rango considerado aceptable, siendo la mayoría de ellos considerado excelente o superiores al 90%. De esta manera, se puede verificar la viabilidad de la utilización de un sistema solar fotovoltaico para obtener energía destinada a riego en pequeñas propiedades en Cascavel-PR.

**Palabras clave:** Sistemas fotovoltaicos; Sistemas de riego; Evaluación de desempeño.

## 1. Introdução

A energia é um produto indispensável para a vida humana. Devido ao aumento do consumo energético, além da constante preocupação com a preservação do meio ambiente e dos recursos, tornou-se importante a busca por novas fontes de energia que possam ser consideradas “limpas”. Nesse contexto insere-se o estudo das energias renováveis, oriundas de fontes energéticas naturais e que se regeneram (Parizotto, 2014; Pinho & Gadinho, 2014; Freitas & Dathein, 2015; Nascimento & Hausmann, 2015).

Como o Brasil possui a maior área agricultável do mundo é necessária uma diversidade no modo de produção. Assim, as formas de energias alternativas enquadram-se em um plano sustentável de desenvolvimento, tanto na área urbana quanto na rural (Siqueira, 2005; Pacheco, 2006; Melendez, 2009; Dal Ponte, 2017).

Em vista dessa necessidade de desenvolvimento, além da necessidade de diferentes modos para a produção agrícola, torna-se interessante um estudo para implementação de um método de irrigação que utilize energia renovável (Niedzialkoski, 2013). Como uma aplicação possível para a energia solar fotovoltaica é o bombeamento de água, aliado à necessidade do uso de água para a irrigação, insere-se um projeto de irrigação baseado no uso dessa fonte energética.

De acordo com Santos (2014), apesar dos custos atuais ainda serem, dentre outros fatores, um empecilho para a utilização de energias alternativas em maior escala, estas fontes denotam ser um forte argumento para o desenvolvimento do setor produtivo e uma opção de sustentação da rotina consumista do planeta em variados fragmentos da economia.

Com isso o presente estudo teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema de bombeamento de água utilizando energia fotovoltaica, com o uso de gotejadores para irrigação. Essa avaliação se dará por meio do coeficiente de uniformidade de distribuição de água (CUD) e pelo coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), com armazenamento de energia e utilização de um painel fotovoltaico implantado na área de estudo.

## 2. Metodologia

### 2.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no Centro de Análise de Sistemas Alternativos de Energia (CASA), localizado na Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus Cascavel/PR, tendo Latitude 24°59' Sul, Longitude 53°23' Oeste e Altitude de 758 metros com relação ao nível do mar. Foi instalado um sistema de irrigação por gotejamento com conjunto motobomba alimentada por um sistema de geração fotovoltaico. O sistema de irrigação, composto pela bomba e os tubos gotejadores, foi instalado dentro do laboratório (CASA) enquanto o sistema de geração, composto pelos módulos fotovoltaicos, foi instalado eternamente próximo ao laboratório.

## 2.2 Material

### 2.2.1 Módulos fotovoltaicos utilizados

O sistema fotovoltaico foi composto por 3 módulos fotovoltaicos da Solartec, modelo KS50, com células de silício policristalino. Cada módulo possuía potência nominal de 50 Wp e tensão nominal de 12 V. As demais características técnicas dos módulos são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1.** Especificações do painel fotovoltaico, modelo KS50 da Solartec.

Massa	5,90 kg
Potência máxima	50 W
Tensão de potência máxima	16,7 V
Corrente de potência máxima	3,00 A
Tensão de circuito aberto	21,5 V
Corrente de curto-circuito	3,10 A
Dimensões	1280 x 344 x 36 mm

Fonte: Autores.

Os módulos fotovoltaicos foram associados em paralelo, formando um painel fotovoltaico de 150 Wp (Figura 1).

**Figura 1.** Painel fotovoltaico instalado.



Fonte: Autores.

### 2.2.2 Piranômetro

As medidas de irradiação solar global foram feitas em um piranômetro da marca Kipp & Zonen, modelo CMP3, com uma sensibilidade de  $15,30 \mu\text{V W}^{-1}\text{m}^2$  (Figura 2). O piranômetro foi instalado junto ao painel fotovoltaico, de maneira a permanecer na mesma inclinação do painel.

**Figura 2.** Piranômetro.



Fonte: Kipp e Zonen (2016).

### 2.2.3 Datalogger

A coleta e armazenamento de dados foi realizada com o auxílio de um datalogger CR1000, Campbell Scientific, LoggerNet (Figura ). Na Tabela 2, pode ser observadas as especificações técnicas do equipamento.

**Figura 3.** Datalogger CR1000, Campbell Scientific.



Fonte: Scaled instruments (2021).

**Tabela 2.** Especificações do datalogger.

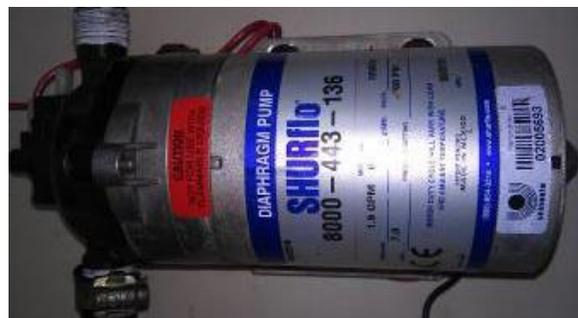
Modelo	CR1000
Dimensões	23,9 x 10,2 x 0,85 cm
Peso	1000 g
Alimentação	9,6 a 16 Vcc
Temperatura de operação	-25 °C a 50 °C

Fonte: Autores.

### 2.2.4 Conjunto motobomba

Para o bombeamento d'água foi utilizada uma bomba hidráulica de superfície com bombeamento por diafragma da marca Shurflo, modelo 8000 (Figura 4), utilizada para aplicações residenciais ou rurais que necessitam de alta pressão. A bomba hidráulica possui altura manométrica de 42,25 m e vazão de até 6,5 l/min, além de operar com tensão de 12 V. As características técnicas da bomba são apresentadas na Tabela 3.

**Figura 4.** Bomba Shurflo, modelo 8000.



Fonte: Autores.

**Tabela 3.** Especificações da bomba Shurflo.

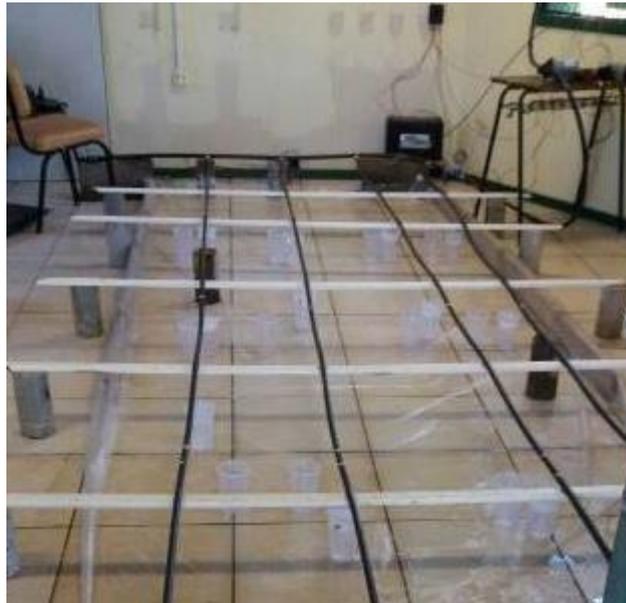
Altura de recalque máxima	42,25 m
Peso	2 Kg
Alimentação	12 V
Conexão	1/2"
Diâmetro de tubulação	1/2" a 1"
Dimensões	215 x 114 x 104 mm
Vazão	490 L/h (sem recalque)
Consumo	5,0 A até 7,3 A

Fonte: Autores.

### 2.2.5 Sistema de irrigação por gotejamento

O sistema de irrigação por gotejamento foi ensaiado no laboratório do projeto CASA. Foram utilizadas quatro fitas de gotejamento, com gotejadores distanciados a cada 20 cm. As fitas tinham 4 m de comprimento e estavam distanciadas em 40 cm entre si, conforme Figura 5. A Figura 6 apresenta um detalhe do gotejador inserido no tubo.

**Figura 5.** Disposição dos tubos gotejadores.



Fonte: Autores.

**Figura 6.** Detalhe do gotejador.



Fonte: Netafim (2016).

### 2.2.6 Sistema de medição da variação de pressão

A pressão da água que saía da bomba foi aferida por meio de um manômetro de glicerina que media de 0 a 6 bar de pressão, conforme Figura 7. O manômetro foi instalado na saída da água, a fim de registrar a pressão inicial do sistema. Além disso, havia outro manômetro similar instalado no final da linha de gotejamento, de maneira a verificar a pressão no final do sistema, a fim de obter a variação de pressão d'água ao longo dos tubos gotejadores.

**Figura 7.** Manômetro.



Fonte: Autores.

### 2.2.7 Sistema de captação de água

O sistema de captação de água foi constituído por uma caixa de água de 1000 L, instalada do lado de fora do laboratório (Figura 8). A água foi bombeada da caixa de água até o sistema de irrigação por meio de uma mangueira em polietileno de 1/2" de diâmetro.

**Figura 8.** Caixa d'água do sistema de irrigação.

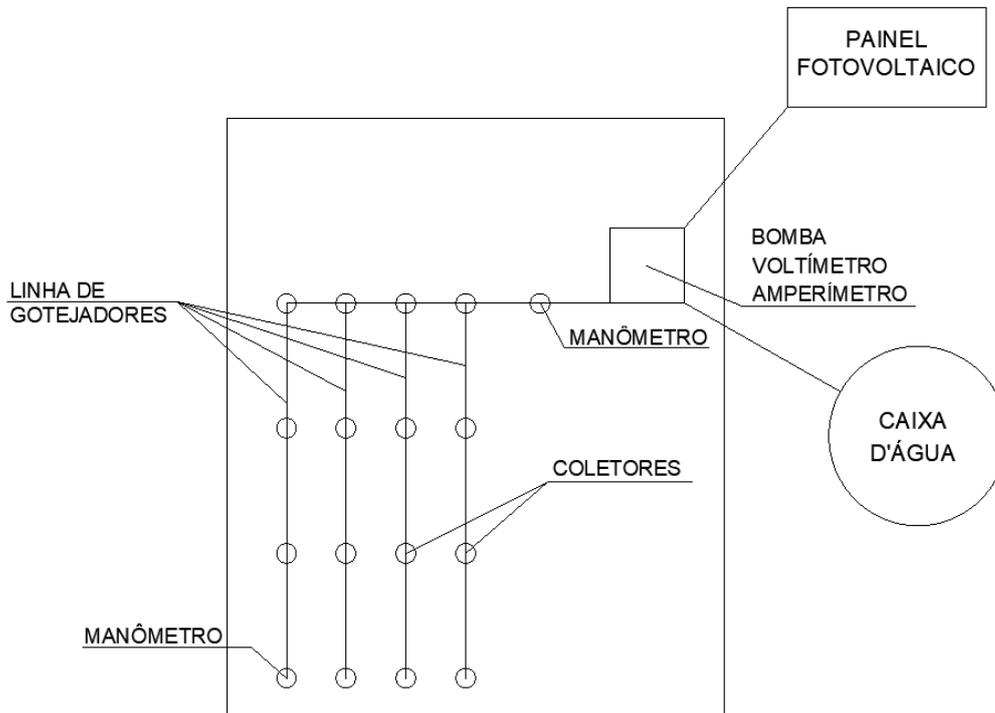


Fonte: Autores.

## 2.3 Croqui do experimento

Na Figura 9 observa-se o croqui do sistema, com a localização de cada item utilizado nos ensaios.

**Figura 9.** Croqui do sistema.



Fonte: Autores.

## 2.4 Métodos

### 2.4.1 Delineamento experimental

Os ensaios foram realizados em dias de céu aberto, céu nublado e com poucas nuvens, sendo cinco dias para cada classificação de insolação, totalizando quinze dias de coleta. Em todos os dias, os ensaios foram realizados em três horários diferentes, ou seja, às 10:30, 12:30 e 14:30 h, com duração de 10 minutos cada ensaio. Além disso, todos os ensaios foram duplicados, ou seja, realizados duas vezes a cada horário. Utilizou-se o Software Minitab 17 para analisar estatisticamente os dados obtidos no experimento.

### 2.4.2 Medição da irradiação solar

A irradiação solar foi medida através do piranômetro Kipp & Zonen, modelo CMP3, que coletava os dados da irradiação solar que chegava ao sistema. As coletas foram programadas para ocorrer a cada 20 segundos, que ficaram armazenados no datalogger e coletados com o notebook.

### 2.4.3 Medição da tensão do sistema fotovoltaico de bombeamento de água

A tensão do sistema de bombeamento foi obtida a partir da ligação de um multímetro em paralelo com a ligação elétrica da bomba. Durante o funcionamento do sistema foram aferidos os valores de tensão a cada cinco minutos, utilizando a tensão média de cada ensaio nas tabelas anexas e para os cálculos da eficiência do sistema.

### 2.4.4 Medição da corrente elétrica do sistema fotovoltaico de bombeamento de água

A corrente do sistema de bombeamento foi obtida de maneira similar ao aferimento da tensão, porém dessa vez a partir da ligação de um multímetro em série com a ligação elétrica da bomba. Portanto, foram aferidos os valores de tensão a cada cinco minutos, utilizando a tensão média de cada ensaio e para os cálculos da eficiência do sistema.

#### 2.4.5 Medição da pressão do sistema de bombeamento de água

A pressão do sistema foi aferida com o uso de dois manômetros analógicos. O primeiro instalado acoplado na saída da água a partir da bomba, o segundo acoplado no ponto final do tubo gotejador, teoricamente no ponto onde há maior perda de carga sofrida ao longo da tubulação. Assim, foram obtidos dados sobre diferença de pressão ao longo do sistema para determinar a eficiência do sistema de irrigação.

#### 2.4.6 Coleta de água do sistema de irrigação por gotejamento

A coleta da água foi realizada com o uso dos copos coletores, dispostos abaixo do sistema de gotejamento, coletando a água emitida por cada gotejador. Os ensaios tiveram duração de 10 minutos e ocorreram em períodos de uma hora. Para avaliação da uniformidade de distribuição, cada ensaio contou com 16 coletores, dispostos em quatro linhas laterais ao longo dos tubos gotejadores. Assim, cada tubo gotejador contou com quatro coletores, no início, pontos intermediários e no final de cada linha de gotejamento. Esses valores foram armazenados e utilizados para estimativa do CUC (Christiansen, 1942), e CUD (Normativa 12 da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, 1985) de cada ensaio.

#### 2.4.7 Avaliação da energia elétrica gerada pelo sistema fotovoltaico

A energia gerada pelo sistema fotovoltaico foi calculada pela Equação 1.

$$E_d = R_t \times t \quad (1)$$

Onde:  $E_d$  = Energia produzida pelo sistema ( $Wh/m^2$ );  $R_t$  = Irradiância Solar ( $W/m^2$ ) e  $t$  = Tempo (h).

#### 2.4.8 Determinação da eficiência do painel fotovoltaico

A eficiência dos painéis foi calculada pela Equação 2.

$$\eta_p = \frac{E_c}{E_d} \times 100 \quad (2)$$

Onde:  $\eta_p$  = Eficiência do painel (%) e  $E_c$  = Energia consumida (kWh).

Em que, a energia consumida pelo sistema foi realizada pela Equação 3.

$$E_c = P \times t \quad (3)$$

Onde:  $P$  = Potência.

#### 2.4.9 Avaliação do desempenho do sistema de irrigação por gotejamento

O desempenho do sistema de irrigação por gotejamento foi verificado com o uso do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição e do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, adaptado ao sistema de gotejamento. As coletas foram realizadas nos pontos determinados e os dados coletados serviram para determinar a uniformidade da distribuição da água.

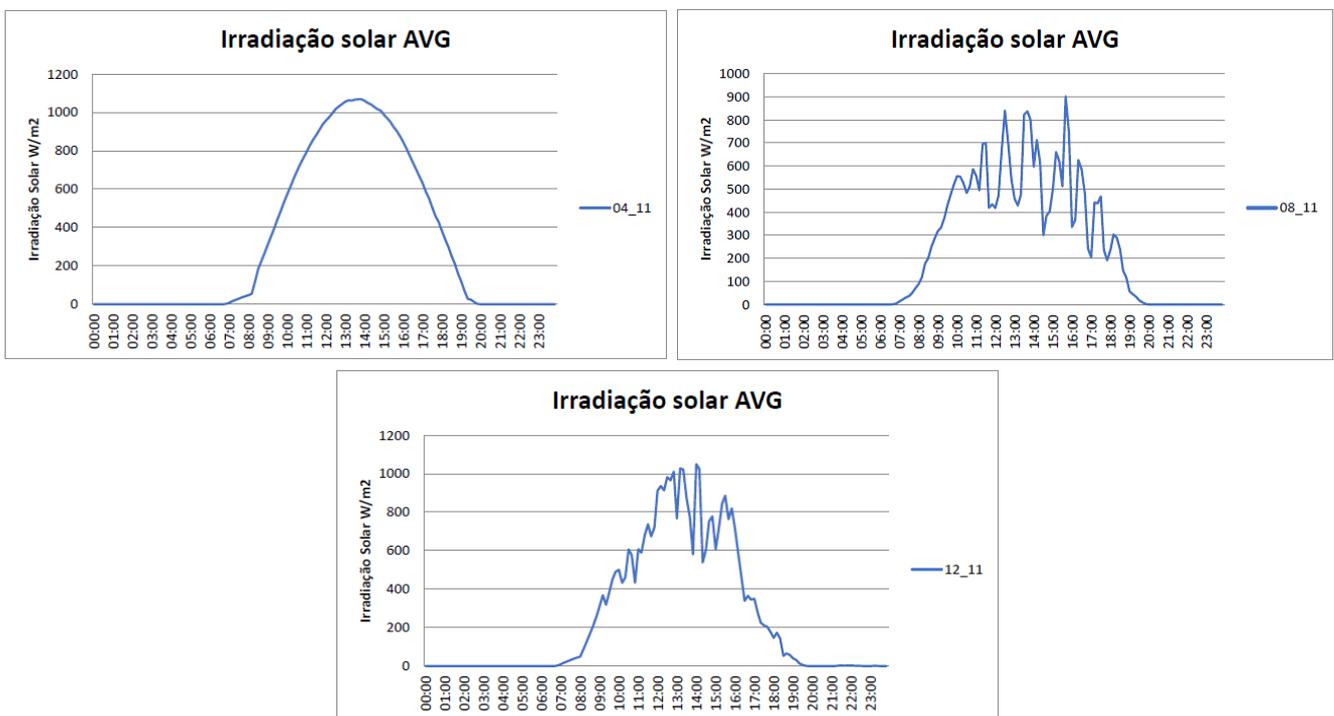
### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1 Irradiação solar nos ensaios

A irradiação solar nos dias de coleta dos dados foi medida a cada 20 segundos, e esses dados foram armazenados no datalogger, em intervalos de 10 minutos. Assim, foi possível utilizar a irradiação nos momentos exatos dos ensaios, a fim de se calcular a energia disponível e consumida pelo sistema, além da eficiência do painel.

Com os dados obtidos nos dias de coleta foi possível gerar gráficos que demonstraram os picos de radiação. A Figura 10 demonstra a variação da radiação típica por horário em um dia de céu aberto (04 de novembro) (A); em um dia nublado (08 de novembro) (B); em um dia considerado com poucas nuvens (12 de novembro) (C).

Figura 10. Irradiação solar diária (04, 08 e 12//11).



Fonte: Autores.

#### 3.2 Avaliação da energia disponível e gerada pelo sistema de irrigação fotovoltaico

A Tabela 4 apresenta os valores da energia consumida pelo sistema separados pelos horários da coleta de dados e a insolação a cada dia de coleta. Ressalta-se que os valores são para o tempo de duração de cada ensaio, ou seja, a energia gerada em 10 minutos.

**Tabela 4.** Energia gerada pelo sistema (Wh).

Horários	Insolação					
	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens
10:30	13,20	12,80	10,90	12,20	13,60	11,60
10:30	20,90	12,70	17,10	25,80	13,10	13,80
10:30	10,20	9,40	16,20	10,50	9,70	13,10
10:30	11,80	12,10	10,10	13,50	13,80	9,90
10:30	12,20	9,50	12,00	12,10	9,30	13,40
	<b>13,66</b>	<b>11,30</b>	<b>13,26</b>	<b>14,82</b>	<b>11,90</b>	<b>12,36</b>
12:30	15,70	15,10	12,70	17,50	16,10	12,70
12:30	20,90	13,70	14,20	24,90	13,30	12,60
12:30	12,10	9,60	12,10	12,10	8,30	12,40
12:30	11,70	12,30	8,50	11,40	8,30	8,50
12:30	8,40	9,30	8,50	8,90	8,30	8,60
	<b>13,76</b>	<b>12,00</b>	<b>11,20</b>	<b>14,96</b>	<b>10,86</b>	<b>10,96</b>
14:30	14,40	14,70	8,00	16,90	14,40	8,40
14:30	15,60	14,80	10,90	15,90	13,40	10,90
14:30	20,50	7,70	11,00	24,90	8,30	10,90
14:30	10,40	11,30	8,60	11,30	12,20	7,60
14:30	8,60	11,00	7,30	8,30	11,90	7,00
	<b>13,90</b>	<b>11,90</b>	<b>9,16</b>	<b>15,46</b>	<b>12,04</b>	<b>8,96</b>
<b>Média geral</b>	<b>13,80</b>	<b>11,70</b>	<b>11,20</b>	<b>15,10</b>	<b>11,60</b>	<b>10,80</b>

Fonte: Autores.

De modo similar a Tabela 4, a Tabela 5 apresenta os valores da energia solar do sistema, que são utilizados para cálculo da eficiência, conforme apresentado na metodologia.

**Tabela 5.** Energia solar do sistema (Wh).

Horários	Insolação					
	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens
10:30	155,80	133,10	112,10	161,20	117,60	112,70
10:30	158,50	132,20	136,30	149,90	126,40	132,20
10:30	160,30	106,50	172,80	168,30	112,50	154,40
10:30	156,80	92,60	138,30	148,70	57,20	146,40
10:30	153,90	155,10	141,10	172,70	146,90	110,80
	<b>157,06</b>	<b>123,90</b>	<b>140,12</b>	<b>160,16</b>	<b>112,12</b>	<b>131,30</b>
12:30	224,60	219,70	158,60	214,80	221,90	152,90
12:30	221,00	180,60	177,70	245,00	186,20	155,30
12:30	210,80	184,90	164,90	218,10	154,30	154,80
12:30	238,90	41,90	148,60	237,10	71,10	151,20
12:30	225,70	220,60	194,40	222,10	223,50	196,40
	<b>224,20</b>	<b>169,54</b>	<b>168,84</b>	<b>227,42</b>	<b>171,40</b>	<b>162,12</b>
14:30	243,70	226,30	234,90	222,10	221,00	221,90
14:30	232,90	112,30	193,10	216,90	119,00	207,00
14:30	222,40	66,10	238,90	245,00	84,50	237,10
14:30	219,70	121,20	241,50	230,70	76,90	141,50
14:30	233,60	224,80	145,30	241,50	226,80	125,30
	<b>230,46</b>	<b>150,14</b>	<b>210,74</b>	<b>231,24</b>	<b>145,64</b>	<b>186,56</b>
<b>Média geral</b>	<b>203,90</b>	<b>147,90</b>	<b>173,20</b>	<b>206,30</b>	<b>143,00</b>	<b>160,00</b>

Fonte: Autores.

### 3.3 Avaliação da eficiência energética do sistema fotovoltaico

A Tabela 6 apresenta os valores estimados da eficiência energética do painel fotovoltaico utilizado, separados pelos horários da coleta de dados e a insolação para cada dia.

**Tabela 1.** Eficiência energética do sistema fotovoltaico.

Horários	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens
10:30	8,19%	9,60%	9,69%	7,80%	11,58%	10,28%
10:30	13,15%	9,64%	12,56%	17,23%	10,40%	10,44%
10:30	6,38%	8,85%	9,39%	6,25%	8,63%	8,46%
10:30	7,55%	13,11%	7,32%	9,10%	24,15%	6,78%
10:30	7,90%	6,13%	8,50%	6,99%	6,34%	12,08%
	<b>8,63%</b>	<b>9,47%</b>	<b>9,49%</b>	<b>9,47%</b>	<b>12,22%</b>	<b>9,61%</b>
12:30	6,99%	6,86%	8,03%	8,15%	7,26%	8,29%
12:30	9,46%	7,60%	7,97%	10,17%	7,14%	8,12%
12:30	5,73%	5,21%	7,35%	5,54%	5,35%	8,03%
12:30	4,89%	29,36%	5,73%	4,81%	11,71%	5,61%
12:30	3,74%	4,21%	4,36%	4,02%	3,73%	4,40%
	<b>6,16%</b>	<b>10,65%</b>	<b>6,69%</b>	<b>6,54%</b>	<b>7,04%</b>	<b>6,89%</b>
14:30	5,92%	6,49%	3,39%	7,61%	6,51%	3,77%
14:30	6,70%	13,14%	5,64%	7,31%	11,23%	5,28%
14:30	9,20%	11,65%	4,59%	10,17%	9,88%	4,60%
14:30	4,72%	9,29%	3,55%	4,89%	15,88%	5,40%
14:30	3,66%	4,89%	5,04%	3,45%	5,26%	5,61%
	<b>6,04%</b>	<b>9,09%</b>	<b>4,44%</b>	<b>6,69%</b>	<b>9,75%</b>	<b>4,93%</b>
<b>Média geral</b>	<b>6,95%</b>	<b>9,74%</b>	<b>6,87%</b>	<b>7,57%</b>	<b>9,67%</b>	<b>7,14%</b>

Fonte: Autores.

Os autores, Nogueira, Bedin, Niedzialkoski, Souza e Neves (2015) obtiveram eficiência média de 6,57% em painéis policristalinos, em ensaios para bombeamento de água.

Assim, o desempenho do sistema foi considerado aceitável. Porém, não houve correlação significativa entre o desempenho dos painéis e os horários dos ensaios.

### 3.4. Avaliação do desempenho do sistema de irrigação

Na Tabela 7 podem ser observados os valores de CUC do sistema de irrigação, separados pelos horários de coleta de dados e a insolação em cada dia de coleta.

**Tabela 2.** Eficiência do sistema de irrigação – Valores do CUC.

Horários	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens
10:30	92,86	95,06	86,33	94,95	95,24	88,51
10:30	94,33	95,53	93,76	86,98	93,87	92,99
10:30	87,33	87,31	84,25	92,78	90,17	88,09
10:30	93,25	90,79	84,28	95,71	92,99	95,13
10:30	96,56	93,46	93,98	95,53	86,55	87,87
	<b>92,87</b>	<b>92,43</b>	<b>88,52</b>	<b>93,19</b>	<b>91,76</b>	<b>90,52</b>
12:30	95,00	94,84	94,75	96,89	89,58	89,28
12:30	96,32	90,81	90,02	96,98	87,70	93,85
12:30	94,18	84,95	87,43	96,94	91,07	92,42
12:30	78,98	82,55	85,38	89,64	95,04	79,96
12:30	94,18	85,78	91,86	94,14	81,22	89,17
	<b>91,73</b>	<b>87,79</b>	<b>89,89</b>	<b>94,92</b>	<b>88,92</b>	<b>88,94</b>
14:30	92,80	88,41	79,06	92,39	91,23	85,50
14:30	88,30	90,99	92,91	93,16	88,85	91,76
14:30	96,97	84,14	94,66	96,07	89,85	91,95
14:30	88,75	90,93	70,83	87,46	89,03	71,59
14:30	90,65	90,85	85,62	94,79	89,03	68,39
	<b>91,49</b>	<b>89,06</b>	<b>84,62</b>	<b>92,77</b>	<b>89,60</b>	<b>81,84</b>
<b>Média geral</b>	<b>92,03</b>	<b>89,76</b>	<b>87,67</b>	<b>93,63</b>	<b>90,10</b>	<b>87,10</b>

Fonte: Autores.

Pode-se observar que todos os valores, encontram-se dentro da classificação “aceitável”, ou seja, acima de 60. Vale ressaltar que a maioria dos valores se encontra na faixa “excelente”, ou ao menos “regular”, caracterizando um sistema eficiente e de alto desempenho.

Observando os resultados obtidos, notou-se que houve grande dispersão dos dados, sendo o menor valor 70,83 e o maior 96,97. Frigo, Vilas Boas, Frigo e Frigo (2016) observaram uma variação semelhante, onde o mínimo foi de 74,60 e o máximo 93,73 em seu estudo com aspersores utilizando energia eólica. Essa variação se justifica pela variação na uniformidade do vento, e por consequência da geração energética.

Por sua vez, a Tabela 8 apresentou os valores de CUD obtidos nos ensaios.

**Tabela 8.** Eficiência do sistema de irrigação – Valores do CUD.

Horários	Insolação					
	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens	Céu aberto	Nublado	Poucas nuvens
10:30	89,38	93,21	86,41	91,31	91,32	81,08
10:30	91,57	89,39	88,02	75,64	90,50	87,33
10:30	86,76	80,96	70,37	90,72	81,72	85,63
10:30	86,87	85,27	75,71	91,94	87,33	91,38
10:30	96,07	88,22	90,37	94,04	80,76	81,43
	<b>90,13</b>	<b>87,41</b>	<b>82,18</b>	<b>88,73</b>	<b>86,33</b>	<b>85,37</b>
12:30	92,39	92,12	93,11	96,51	80,73	88,69
12:30	94,99	82,12	82,26	95,42	83,28	88,06
12:30	93,02	80,25	83,87	96,21	87,87	86,67
12:30	79,68	78,22	83,05	86,63	94,47	83,54
12:30	91,97	83,72	88,21	91,78	82,70	81,61
	<b>90,41</b>	<b>83,29</b>	<b>86,10</b>	<b>93,31</b>	<b>85,81</b>	<b>85,71</b>
14:30	85,55	82,85	83,63	88,04	85,06	75,62
14:30	82,35	87,77	86,59	90,37	83,69	86,63
14:30	95,30	77,85	91,86	94,94	84,64	84,97
14:30	82,76	83,52	73,81	80,00	80,52	65,45
14:30	85,85	85,80	82,40	92,70	80,52	73,54
	<b>86,36</b>	<b>83,56</b>	<b>83,66</b>	<b>89,21</b>	<b>82,89</b>	<b>77,24</b>
<b>Média geral</b>	<b>88,97</b>	<b>84,75</b>	<b>83,98</b>	<b>90,42</b>	<b>85,01</b>	<b>82,78</b>

Fonte: Autores.

De maneira análoga aos ensaios de CUC, todos os valores foram aceitáveis. E que, a maioria dos valores encontram-se na faixa “excelente”, ou ao menos “regular”, caracterizando também um sistema eficiente e de alto desempenho.

Araújo-Neto et al. (2016) obteve valores considerados excelentes em relação à uniformidade de distribuição, com CUC e CUD apresentando os valores 96,29% e 94,32%, em experimento utilizando fonte energética convencional. De maneira similar, Santos et al. (2012) também obteve resultados aceitáveis utilizando microaspersores na cultura da banana, com resultados do CUC variando de 77% até 93% e de CUD variando de 56% até 88%, variando de bom a excelente.

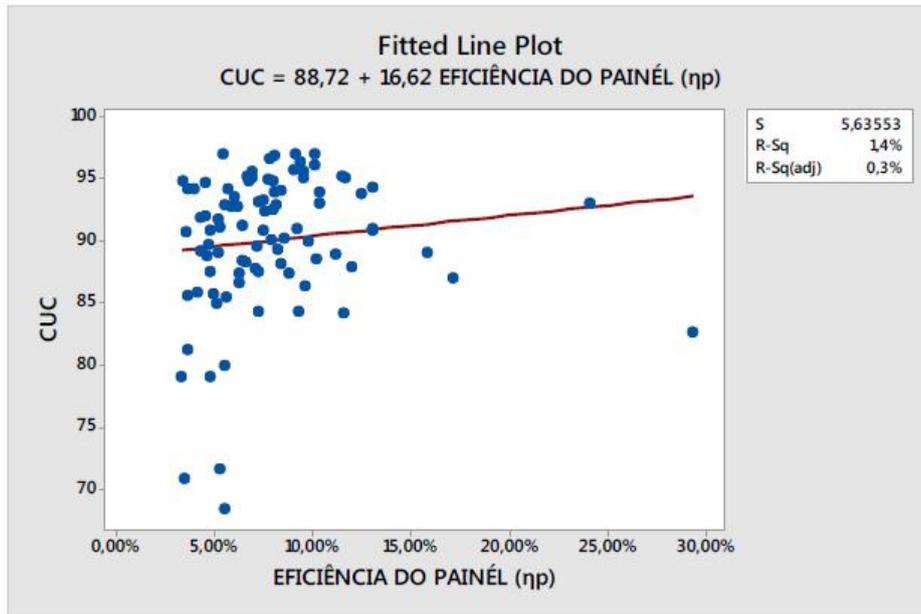
Andrade (2013) realizou um trabalho similar com microaspersores, utilizando energia fotovoltaica. Obteve valores do CUC entre 19,23% e 32,85% e o CUD entre 0% e 9,54%, ou seja, um desempenho inferior ao trabalho com gotejamento.

Assim, todos os resultados foram considerados aceitáveis, ou seja, o desempenho do sistema de irrigação se enquadrou nos parâmetros. Observou-se que o desempenho do sistema foi mais alto quando utilizado com o céu aberto, em relação a céu com poucas nuvens. Então, tanto para o CUC quanto para o CUD, o céu nublado apresentou o pior desempenho. Ainda assim, as médias encontraram-se nas faixas excelente e regular quando avaliados.

### 3.5 Análise comparativa entre a eficiência do sistema fotovoltaico e o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento

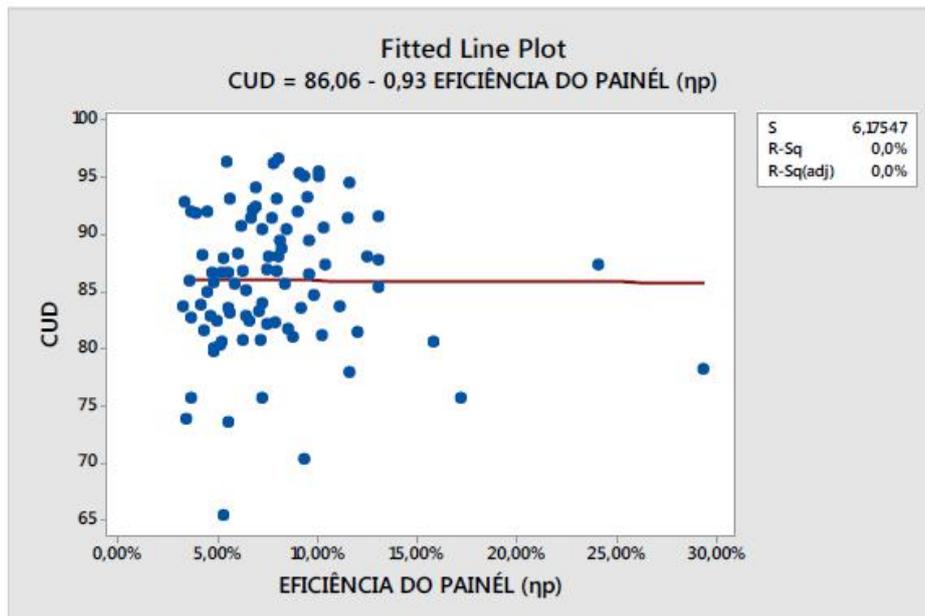
As Figuras 11 e 12 apresentam, respectivamente, a relação obtida entre a eficiência do sistema fotovoltaico e o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento, em função do CUC e do CUD, analisando todos os ensaios simultaneamente.

**Figura 11.** Eficiência do painel x CUC.



Fonte: Autores.

**Figura 12.** Eficiência do painel x CUD.

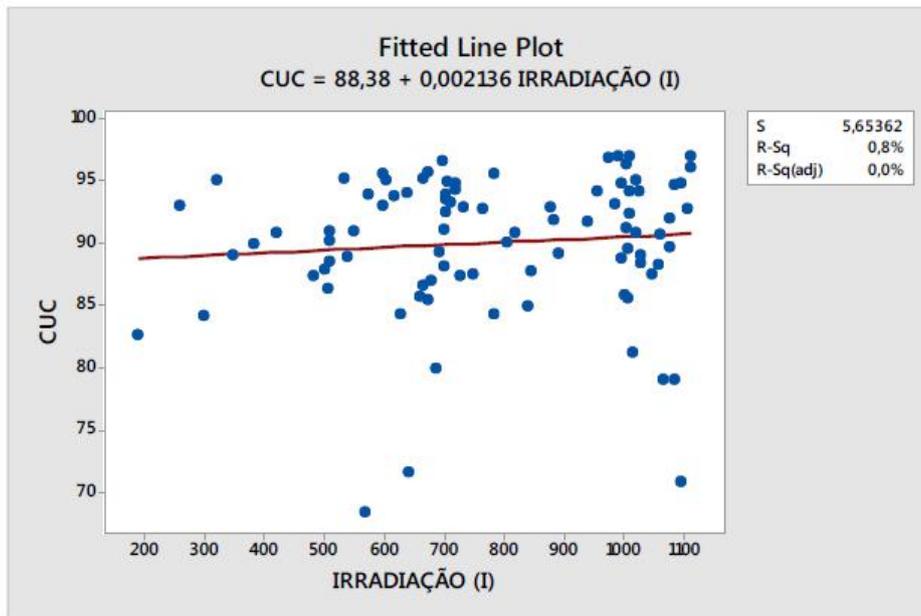


Fonte: Autores.

Essa avaliação foi realizada separando também os ensaios por categorias de céu aberto, poucas nuvens e céu nublado, porém com resultado similar aos apresentados na Figura 11. Ou seja, não houve relação significativa entre a eficiência do painel fotovoltaico com os resultados de desempenho do sistema de irrigação.

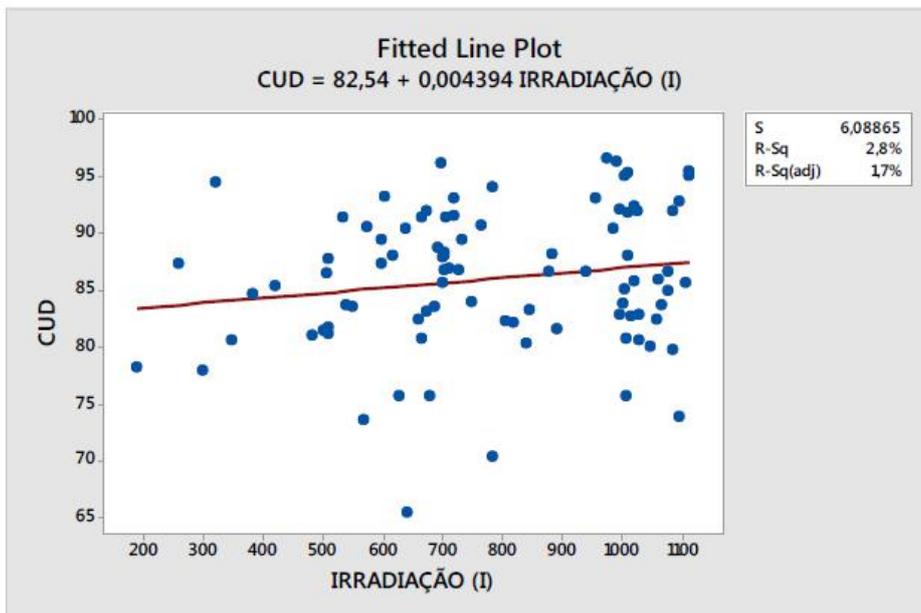
Por sua vez, as Figuras 13 e 14 apresenta a relação estatística entre o CUC (A) e o CUD (B) com a irradiação coletada em cada ensaio.

**Figura 13.** Irradiação x CUC.



Fonte: Autores.

**Figura 14.** Irradiação x CUD.

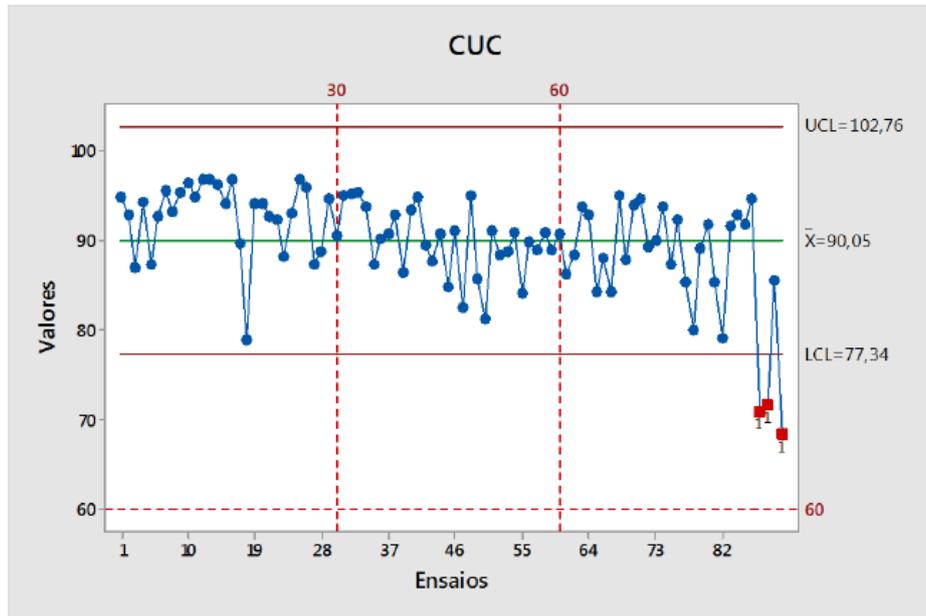


Fonte: Autores.

Observou-se que, comparando o desempenho do sistema de irrigação com os valores de irradiação houve uma correlação muito baixa. Ou seja, as variações de irradiação que ocorrem durante os ensaios não afetam significativamente o sistema de irrigação. Em todos os casos, o desempenho do sistema permaneceu dentro do limite aceitável.

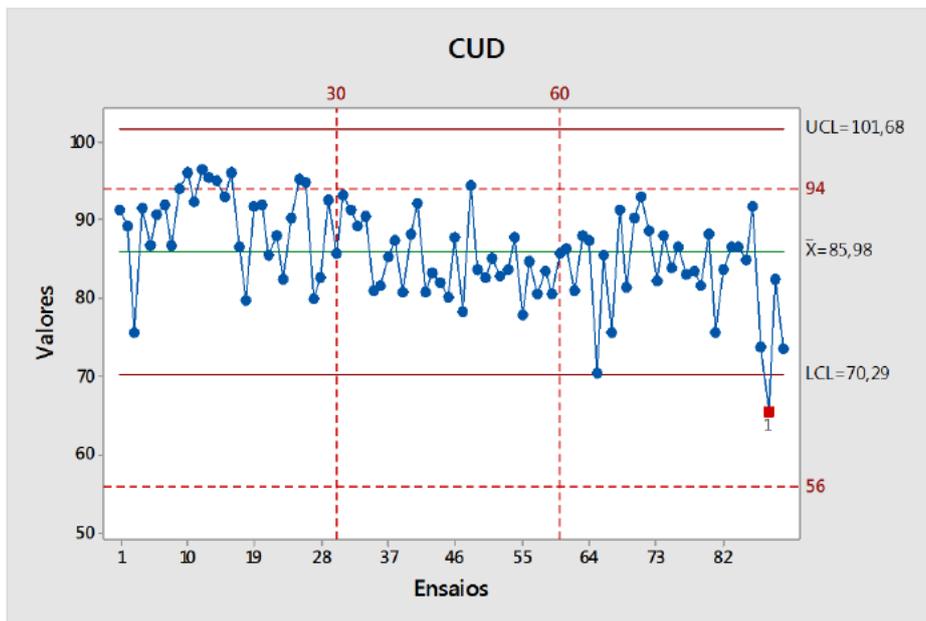
Nas Figuras 15 e 16 estão dispostos os ensaios com tempo ensolarado (do 1 ao 30), com poucas nuvens (31 ao 60) e com tempo nublado (61 ao 90).

**Figura 15.** Variação do CUC.



Fonte: Autores.

**Figura 16.** Variação do CUD.



Fonte: Autores.

Pode-se observar o decréscimo dos valores de CUC e de CUD em relação a insolação nos momentos dos ensaios. Ao analisar o comportamento do CUC e CUD comparando tempo nublado, com poucas nuvens e ensolarado, observou-se que o comportamento dos gráficos (Figuras 15 e 16) apontaram uma relação entre os valores de CUC e CUD e a insolação.

#### 4. Conclusão

Nas condições em que foi realizado o experimento e com os resultados obtidos, estabeleceram-se as seguintes conclusões:

A energia gerada pelo sistema fotovoltaico para o sistema de bombeamento do sistema de irrigação por gotejamento, apresentou valores variáveis para os dias com céu aberto, nublado e com poucas nuvens. Os dias de céu aberto apresentaram os maiores valores, com média de 15,1 Wh. Entre os dias nublados e de céu aberto os valores da energia gerada apresentaram-se bastante próximos, com médias em torno de 11 Wh.

Com relação ao rendimento do sistema de bombeamento fotovoltaico, conclui-se que os dias com maiores valores de eficiência dos sistemas foram encontrados nos dias nublados, com valores de até 9,74%.

Todos os valores encontrados para o CUC e para o CUD, permaneceram na faixa aceitável, sendo que a maioria dos valores ficaram na faixa excelente. Contudo, observou-se um decaimento tanto dos valores de CUC quanto de CUD conforme a insolação, ou seja, os valores apresentaram-se mais altos para ensaios de céu aberto.

Para trabalhos futuros, sugere-se fazer o mesmo estudo, entretanto substituindo o uso de gotejadores por microaspersores.

## Referências

- Andrade, M. G. (2013). *Efeito de um sistema de bombeamento de água fotovoltaico na operação de um microaspersor* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, Brazil.
- Araújo-Neto, R. A., Sarmento, P. L., Ferreira Junior, R. A., Silva, M. B. P., Rocha, A., & Teodoro, I. (2016). Desempenho de um sistema de irrigação por gotejamento em cana-de-açúcar. *Revista Ciência Agrícola*, 13(1), 13- 20. 10.28998/rca.v13i1.1318
- ABNT. Brazilian Association of Technical Standards. (1985). *System central sprinkler irrigation, characterization and performance - test method: 1st Draft Standards*. River of January. 22p.
- Christiansen, J. E. (1942). *Irrigation by sprinkling*. University of California, 124p.
- Dal Ponte, E. F. (2017). *Construção e avaliação de um aerogerador de eixo vertical aplicado à agroindústria* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- Freitas, G. S., & Dathein, R. (2015). As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental. *Revista Nexos Econômicos*, 7(1), 71-94.
- Frigo, J. P., Vilas Boas, M. A., Frigo, J. P., & Frigo, E. P. (2016). Comparação entre gráficos de controle de Shewhart, Cusum e Mmep no processo de irrigação por aspersão convencional. *Irriga*, 1(1), 56-70. 10.15809/irriga.2016v1n01p56-70
- Kipp & Zonen. (2016). Pyranometers. Recuperado de <https://www.kippzonen.com/Productgroup/3/Pyranometers>
- Meléndez, T. A. F. (2009). *Avaliação de sistemas fotovoltaicos de bombeamento* (Tese de Doutorado). Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.
- Nascimento, R. L., & Hausmann, R. Sistema de bombeamento de água pluvial com estudo da viabilidade da utilização de energia solar fotovoltaica. *Revista E-Tech: Tecnologias para Competitividade Industrial*, 8(2), 85-110.
- Netafim. (2016). Produtos e Soluções. Recuperado de <https://www.netaim.com.br/produtos-e-solucoes/produtos/gotejadores-neetafim/>
- Niedzialkoski, R. K. (2013). *Desempenho de painéis solares mono e policristalinos em um sistema de bombeamento de água* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- Nogueira, C. E. C., Bedin, J., Niedzialkoski, R. K., Souza, S. N. M., & Neves, J. C. M. (2015). Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a waterpumping system in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 1610- 1616. 10.1016/j.rser.2015.07.082
- Pacheco, F. (2006). Energias renováveis: breves conceitos. *Conjuntura e Planejamento*, 149, 4-11.
- Parizotto, R. R. (2014). *Instalação e avaliação de um sistema de bombeamento d'água com aerogerador de pequeno porte para propriedades rurais em Cascavel – PR* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- Pinho, J. T., & Galdino, M. A. (2014). *Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos*. CRESESB/CEPEL. 530p.
- Santos, D. (2014). *Análise do comportamento energético das fontes solar e eólica disponível em Cascavel, Paraná* (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, Brasil.
- Santos, D. A. O., Freire, F. G. C., Santos, F. S. S., Santos, M. M. S., Lima, R. M. S., & Santos, W. O. (2012). Avaliação da uniformidade de aplicação de água na irrigação por microaspersão na cultura da banana em São João do Jaguaribe-CE. In *Inovagri International Meeting*, Fortaleza, CE.
- Scaled instruments. (2021). Shop by category. Newberry, FL. Recuperado de [https://www.scaledinstruments.com/sop/sop-by-category/anemometer/rm-young-05103-wind-monitor/?gclid=CjwKCAiAJoeRBhAJEiwAYY3nDCp6oSwKitBj7ggxTvV4kBEADHAYzpu8k3QK-0QW-CmNcE-hbYLDMB0Cp68QAvD\\_BwE](https://www.scaledinstruments.com/sop/sop-by-category/anemometer/rm-young-05103-wind-monitor/?gclid=CjwKCAiAJoeRBhAJEiwAYY3nDCp6oSwKitBj7ggxTvV4kBEADHAYzpu8k3QK-0QW-CmNcE-hbYLDMB0Cp68QAvD_BwE)
- Siqueira, J. A. C. (2005). *Desempenho de um sistema híbrido eletrofotovoltaico de pequeno porte para energização rural* (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, SP, Brasil.