



**V SINGEP**

**Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**  
**International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability**

ISSN: 2317 - 8302

## **Protótipo de um sistema automatizado para higienização de painéis solares planos agrupado a um sistema de reaproveitamento de água**

**MICHELLE MELO CAVALCANTE**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
michellemelo.c@gmail.com

**JOSÉ ELIAS CARVALHO MARCELINO**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
j.eliasmarcelino@gmail.com

**DANIELLE B. M DELGADO**

Universidade Federal da Paraíba  
danielle.delgado@cear.ufpb.br

**ESDRIANE CABRAL VIANA**

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA  
esdriane@ifba.edu.br

Os autores agradecem a Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA) pelo financiamento do projeto.



## **PROTÓTIPO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO PARA HIGIENIZAÇÃO DE PAINÉIS SOLARES PLANOS AGRUPADO A UM SISTEMA DE REAPROVEITAMENTO DE ÁGUA**

### **Resumo**

O acúmulo de impurezas na superfície de painéis fotovoltaicas prejudica a eficiência da geração de energia, pois, causa sombreamento nas células. As células afetadas deixam de gerar eletricidade e passam a se comportar como dissipador de energia elétrica provocando no painel aquecimento e prejudicando todo o sistema. Com painéis solares térmicos o raciocínio é semelhante, uma vez que também estarão expostos ao acúmulo de fuligem, poeira e várias outras formas de poluição, impedindo a absorção da totalidade da radiação incidida sobre os mesmos. De forma geral, além da redução do rendimento, o acúmulo de impurezas por tempo prolongado pode causar manchas e corrosão nos módulos, reduzindo a produtividade do painel solar e a sua vida útil. Desta forma, o presente projeto desenvolveu um protótipo de um sistema automatizado, de baixo custo e voltado a locais de difícil acesso, para higienização da superfície superior de painéis solares térmicos e fotovoltaicos planos agrupado a um modelo de sistema de reaproveitamento de água. Utilizou-se o *software* SketchUP para modelagem tridimensional do protótipo e do sistema de reaproveitamento de água e o *software* Fritzing para desenho do conjunto eletrônico do sistema. Para mais, descreveu-se seu funcionamento e testou-se o alcance de limpeza do protótipo.

**Palavras-chave:** Eficiência Energética, Automação, Painéis Solares, Autolimpeza, Reaproveitamento da água.

### **Abstract**

The accumulation of impurities on the surface of photovoltaic plates impairs the efficiency of power generation because of the resulting shading in cells. The affected cells fail to generate electricity and start behaving like electrical energy sinks, causing heating on the panel and damaging the entire system. With thermal solar panels the reasoning is similar, since they also will be exposed to the accumulation of soot, dust and various other forms of pollution, preventing the absorption of the total radiation concentrating on them. In general, in addition to the reduction of electrical income, accumulation of impurities for long time periods can cause stains and corrosion in modules, further reducing the productivity of solar panel and its useful life. Thus, this project developed a prototype of an automated system, in low cost and to the places difficult access, for cleaning the top surface of solar thermal and photovoltaic panels plans grouped with a model of water reuse system. We used the SketchUp software for three-dimensional modeling of the prototype and water reuse system and Fritzing software for electronics assembly drawing. Furthermore, its operation is described and tested the prototype cleaning range.

**Keywords:** Energy efficiency, Automation, Solar panels, Auto Cleaning, Reuse of water.



## 1 Introdução

Muitas empresas estão aplicando o conceito de desenvolvimento sustentável, adotando atitudes e políticas ecologicamente corretas. A energia solar, renovável e limpa, é uma dessas alternativas para gerar eletricidade (ARAMIZU, 2010). Segundo Santos (2007), além da geração de eletricidade através do uso de células fotovoltaicas, o aquecimento de água através de sistemas com coletores solares são aplicações viáveis de utilização nos setores residenciais e industriais.

Segundo o Relatório da Situação Global das Renováveis (2016), que avalia a situação das energias renováveis ano base 2015, o mercado de energia solar fotovoltaica cresceu 25% em relação a 2014 atingindo um total mundial de 227 GW de capacidade instalada. Para os Coletores solares térmicos e de arrefecimento, a capacidade global aumentou mais de 6% em 2015, atingindo uma capacidade acumulada estimado de 435 GWth no final do ano de 2015 para os coletores para aquecimento de água e 1,6 GWth para coletores para arrefecimento; capacidade suficiente para fornecer cerca de 357 TWh de calor anualmente.

Os motivos do crescimento contínuo estão relacionados a resultados favoráveis em pesquisas realizadas nos últimos 10 anos, resultando em aumento da eficiência dos módulos e diminuição considerável nos custos de produção, sinalizam assim boas perspectivas futuras, inclusive para aplicações de maior porte (FADIGAS, 2012).

No caso do Brasil, o mesmo conta com valores de radiação solar anual média comparáveis às melhores regiões do mundo (TIBA, 2000) e até superiores a países europeus onde tais tecnologias de aproveitamento de energia solar são mais consolidadas, além de grandes reservas de quartzo de qualidade, que podem gerar uma importante vantagem competitiva para a produção de silício com alto grau de pureza, células e módulos solares, produtos estes de alto valor agregado (EPE, 2012).

Porém, o acúmulo de impurezas, tanto em painéis fotovoltaicos como em coletores solares, diminui a eficiência dos mesmos. No caso de sujeira na superfície das placas fotovoltaicas, sua eficiência na geração de energia é prejudicada, pois, de forma intuitiva, um eventual acúmulo de sujeira causa sombreamento nas células. A(s) célula(s) afetada(s) deixa(m) de gerar eletricidade e passa a se comportar como dissipador de energia elétrica provocando no painel aquecimento e prejudicando todo o sistema. Para os coletores solares, o raciocínio é semelhante já que, inevitavelmente, estarão expostos ao acúmulo de fuligem, poeira e várias outras formas de poluição, impedindo a absorção da totalidade da radiação incidida sobre os mesmos.

Desta forma, o presente trabalho consiste no desenvolvimento de um protótipo automatizado e de baixo custo para facilitar a limpeza e higienização da superfície superior de painéis solares térmicos e fotovoltaicos planos, em ambientes em que tais tecnologias se encontram em áreas de difícil acesso e/ou em ambientes em que a limpeza dos painéis seja periódica. Com isso, busca-se aumentar a eficiência e a vida útil dos painéis. O sistema foi montado e testado para limpeza de três painéis solares, entretanto, dimensionou-se o mesmo modelo de projeto para a limpeza de 50 painéis. Como forma de tornar o modelo mais sustentável, agrupou-se o projeto a um sistema de reaproveitamento da água da chuva e/ou a mistura presente no reservatório (água e sabão). Este último foi feito através da modelagem 3D por meio do ScketchUp.

## 2 Referencial teórico

Para apresentar o protótipo em escala real, o mesmo foi dividido em três partes: Conjunto eletrônico, conjunto mecânico e protótipo completo. Neste último, apresenta-se o



protótipo sendo aplicado para limpeza de um painel fotovoltaico localizado no telhado de uma residência.

## 2.1 Energia solar e seu potencial de crescimento no mundo

Energia solar é a energia proveniente do sol. Quase todas as fontes de energia – hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos – são formas indiretas de energia solar. Além disso, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica entre os quais se destacam o termoeletrico e o fotovoltaico (ANEEL, 2005).

Ainda segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2005, p.29), os processos de aproveitamento da energia solar mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

Estudos da Agência Internacional de Energia (IEA) mostram que os combustíveis fósseis continuarão a ser a fonte predominante de energia mundial nas próximas duas décadas, porém os mesmos terão sua participação na matriz energética reduzida em função da crescente inserção renováveis. O crescimento rápido da energia renovável, em particular a solar e eólica, será sustentado pela queda nos custos da tecnologia, e, principalmente, pela manutenção dos subsídios (EPE, 2015).

No caso da energia solar, os custos de módulos fotovoltaicos, segundo a IEA (2014a), foi dividido por cinco nos últimos seis anos, enquanto o custo dos sistemas fotovoltaicos completos foi dividido por quase três.

## 2.2 Efeitos de impurezas sobre a eficiência do painel solar

A geração de energia solar pode ser influenciada por diversos fatores. Dentre esses principais fatores, que podem reduzir ou impedir a geração de energia dos painéis fotovoltaicos, destacam-se: sombreamento, neve, temperaturas elevadas, poeira, sujeira, excrementos de pássaros, pólen e sal marinho (ALBAQAWI, 2014).

De modo geral, pesquisas realizadas pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente da USP (USP apud RENEW ENERGIA, 2015), a queda no rendimento da geração de energia de painéis solares provocados por impurezas pode chegar à 11%. Outro estudo divulgado pela Escola Politécnica da USP (2014) comprovou uma perda de eficiência nos painéis avaliando a influência de fungos e outros microrganismos, que associados a outros materiais particulados, podem reduzir em até 10% a produção de energia de painéis fotovoltaicos. Conforme a empresa Renew Energia (2015), em uma região com pombos, a perda de eficiência do sistema fotovoltaico pode chegar a 20%.

Segundo Michels *et al.* (2010), que avaliou a eficiência entre dois conjuntos de painéis fotovoltaicos na cidade de Medianeira (Paraná-BR), sendo um dos conjuntos de painéis limpos periodicamente e o outro sem qualquer tipo de limpeza durante um período de dois anos; verificou-se que a configuração dos painéis limpos periodicamente apresentou uma eficiência 16,26% maior que a configuração de painéis sujos.

O mesmo se aplica a coletores solares, no qual, de acordo com a Empresa Center Sol (s.d.), a sujeira que fica depositada no vidro do coletor solar tende a neutralizar parte da radiação solar e para que os coletores solares absorvam a totalidade da radiação incidida sobre eles é necessário que os mesmos estejam sempre limpos.



## 2.3 Métodos utilizados para limpeza de painéis fotovoltaicos

Atualmente, painéis solares podem ser limpos manualmente ou automaticamente. Com o passar do tempo, a tendência é a modernização e ampliação dos sistemas que fazem uso da energia solar. Conseqüentemente, a limpeza manual vai tornando-se inviável e a limpeza automática de painéis vai se expandindo. Na presente seção considera-se algumas tecnologias de limpeza disponíveis hoje no mercado, tais como a lavagem Heliotex, a limpeza eletrostática e sistemas de limpeza robótica, como o robô V1 e o Ecoppia E4. Se dá ênfase ao sistema de limpeza Heliotex devido a maior semelhança do mesmo com o presente protótipo desenvolvido.

### (i) Sistema Heliotex

Segundo a empresa Heliotex (2016), a tecnologia Heliotex é um sistema automático de limpeza de painéis. O sistema Heliotex usa bocais em seus painéis solares. A água de um reservatório, conectada a uma mangueira de uma residência, fornece a água necessária para o sistema. Uma fonte de alimentação de 110AC é necessário para operar o controlador. A caixa de componentes Heliotex contém um reservatório para sabão e os componentes necessários para fornecer sabão quando necessário e a caixa do filtro. Há também uma válvula que impede a retrolavagem para o abastecimento de água. Seu sistema é apresentado na Figura 1 a seguir.

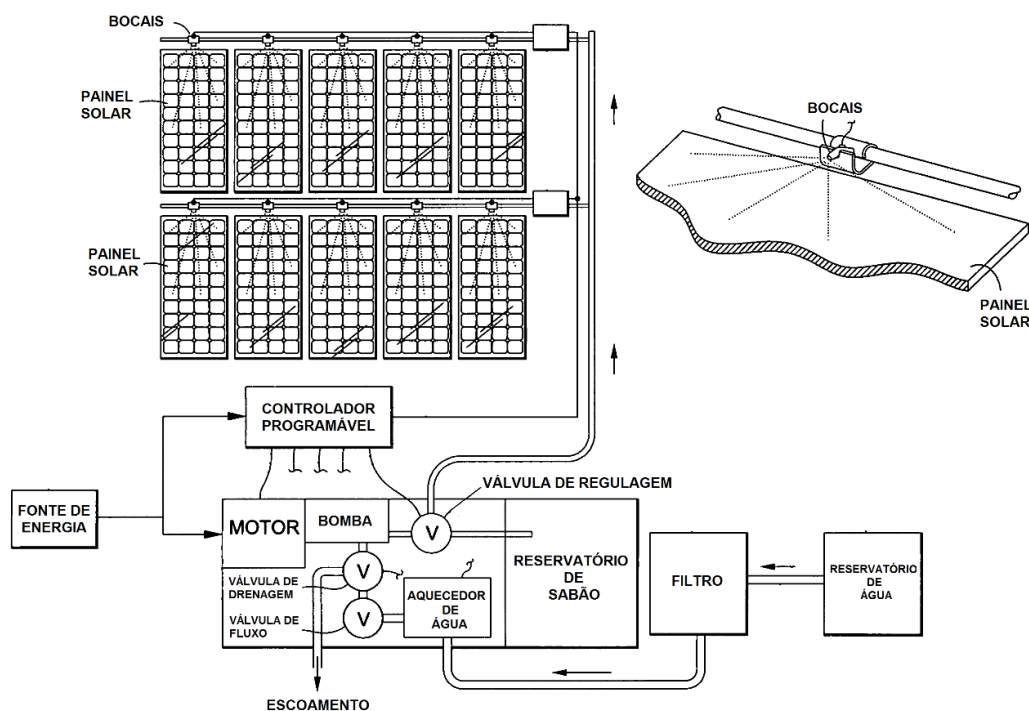


Figura 1. Esquema de funcionamento do Sistema de limpeza Heliotex (HUNT & WORKMAN, 2009. Adaptado).

### (ii) Limpeza Eletrostática

A tecnologia de autolimpeza eletrostática foi desenvolvida para resolver o problema de depósitos de poeira na superfície dos painéis fotovoltaicos localizados em Marte. Entretanto, também pode ser utilizada na Terra.





A tecnologia usa uma camada de um material eletricamente sensível sobre o vidro que cobre os painéis. Sensores monitoram os níveis de poeira sobre a superfície do painel e quando a poeira atinge um nível crítico, uma carga elétrica energiza o material, enviando uma onda que repele a poeira de toda a sua superfície. Em dois minutos, o sistema pode remover até 90% do pó das superfícies dos painéis fotovoltaicos (JALBUENA, 2010).

(iii) Limpeza robótica

Dentro das soluções de limpeza de painéis solares robóticos, cita-se o sistema robotizado V1 e o Ecoppia E4. O robô V1 é composto por um suporte de limpeza e um sistema de acionamento (robô guia para abastecimento de água e energia). O suporte de limpeza tem duas escovas cilíndricas e é conduzido verticalmente por cabos e horizontalmente por um par de carrinhos de acionamento motorizados que andam ao longo das bordas superior e inferior dos painéis da matriz. Um cabo guia é conectado a cada carrinho de acionamento para controlar o movimento do suporte de limpeza e evitar a rotação indesejada (ANDERSON *et al.*, 2007).

Já o Ecoppia E4, foi projetado para grandes filas de painéis situados em ambientes secos e arenosos. Ao fazer uso da gravidade, as escovas se movem para baixo girando. Desta forma, cria um fluxo de ar que ajuda a soprar a poeira (ECOPPIA, 2014).

### 3 Metodologia

Primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para abordar trabalhos sobre a avaliação consistente do potencial da energia solar no Brasil, como o Atlas Solarimétrico do Brasil, de 2000, desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF), com apoio do Centro de Pesquisa de Energia Elétrica (CEPEL) por meio de seu Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB).

Para o crescimento do uso da energia solar até os momentos atuais, a pesquisa baseou-se principalmente no Relatório da Situação Global das Renováveis de 2016 da REN21, que apresenta os desenvolvimentos e tendências até ao final de 2015. Já para avaliar panoramas e perspectivas futuras do uso da energia solar como fonte de calor ou energia, utilizou-se das pesquisas e dos dados disponibilizados pela Agência Internacional de Energia (IEA).

Quanto aos fatores que influenciam na eficiência dos painéis solares e aos métodos para limpeza dos mesmos, abrangendo painéis fotovoltaicos e coletores solares planos, utilizou-se de informações de fontes empresariais e de publicações científicas na área.

Para o desenvolvimento do protótipo, utilizou-se primeiramente do *software* SketchUP Make versão 16.1.1449 64 bits ano 2016 para criação do modelo de sistema de autolimpeza, do *software* Fritzing para desenho do circuito eletrônico completo do sistema e a IDE do Arduino para programação do sistema, este último tem como base o *Processing*, isto é, uma linguagem de Programação de Código Aberto e que foi desenvolvida no MIT Media Lab utilizando estruturas básicas do C/C++.

Na parte física do protótipo utilizou-se de materiais facilmente acessíveis na área comercial. É apresentada na Tabela 1 a divisão em Controle e Operação. No primeiro, tem-se o Arduino como responsável pelo funcionamento dos servos motores e do módulo relé, e, na Operação, sendo o interruptor acionado para ligar o sistema, a bomba faz com que o fluido de limpeza chegue ao brucutu através da mangueira. O suporte Pan Tilt, anexado ao brucutu realizará movimentos verticais e horizontais fazendo com que a substância do reservatório atinja da melhor forma o conjunto de painéis solares removendo a sujeira.



Tabela 1. Parte de Hardware do protótipo.

TIPO	QUANT.	MATERIAL
CONTROLE	01	Arduino UNO R3
	01	Interruptor/Botão on-off de pressão unipolar verde
	01	Protoboard 830 pontos
	01	Módulo relé 2 canais (SRD-05VDC-SL-C)
OPERAÇÃO	01	Bomba 12V com 2 saídas
	01	Mangueira de 5 metros
	01	Brucutu/Bocal
	02	Servo motor
	01	Suporte Pan Tilt
	01	Reservatório de 2 litros
	01	Fonte de 12 Volts e 5 Ampères

#### 4 Resultados

Como primeiro resultado, apresenta-se a modelagem tridimensional do protótipo de autolimpeza de painéis solares agrupado ao sistema de reaproveitamento de água. A mesma foi realizada com o auxílio do *software* ScketchUp. Com a modelagem, é possível visualizar com maior clareza o projeto por completo quando comparado ao resultado do protótipo montado. Os resultados da modelagem são apresentados na Figura 2.

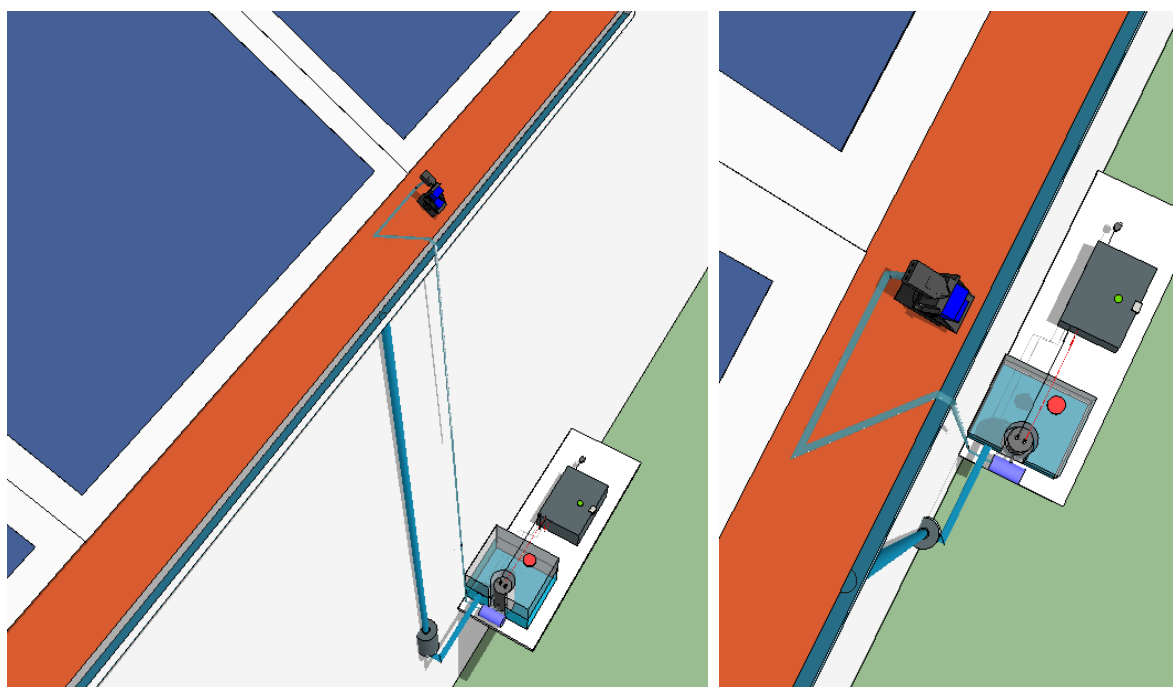


Figura 2. Vista superior do protótipo para autolimpeza de painéis solares agrupado ao sistema de reaproveitamento de água.

A modelagem apresentada na Figura 2 contempla a estrutura principal do protótipo. As estruturas são identificadas detalhadamente através da Figura 3 a seguir. Um sistema de reaproveitamento de água da chuva e/ou da mistura para limpeza do painel foi inserida. Uma calha realiza a captação líquida. Para impedir matérias/impurezas de granulometria de



obstruírem o sistema, idealizou-se uma tela de proteção acima da calha. Após captação do líquido, o conteúdo segue pela tubulação e passa por um filtro fino para purificação, chegando ao reservatório. Caso seja necessário, o usuário insere a quantidade necessária de sabão ao reservatório.

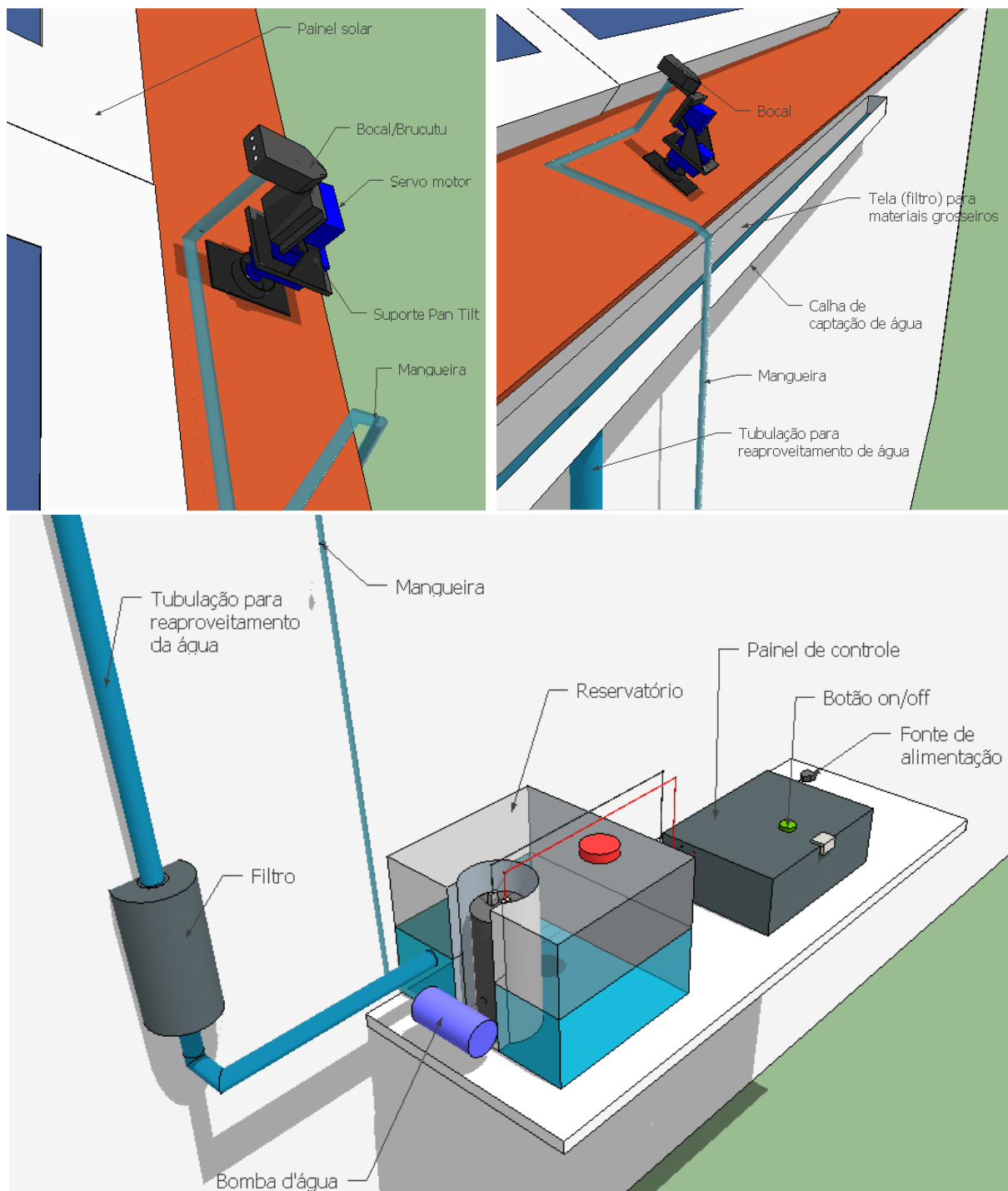


Figura 3. Identificação dos materiais/itens que compõe os sistemas de autolimpeza e reaproveitamento de água.

O reservatório e o painel de controle ficam mais facilmente acessíveis ao usuário do sistema, uma vez que a operação do sistema pode ser realizada através de um click no botão on/off ou de forma programada. Quanto ao reservatório, o usuário irá preenchê-lo com a





substância adequada para a limpeza do painel. Uma bomba d'água acoplada ao reservatório faz com que o conteúdo do reservatório chegue ao bocal/brucutu por intermédio de uma mangueira. O bocal pode se movimentar horizontal e verticalmente devido ao suporte pan tilt que conta com o auxílio de dois servos motores para realizar tais movimentos.

Quanto ao circuito eletrônico do protótipo, pode-se visualiza-lo na Figura 4 a seguir. O Arduino foi utilizado para controlar os servos motores e o módulo relé. Este último é responsável pelo acionamento da carga, que, neste caso, é a bomba d'água.

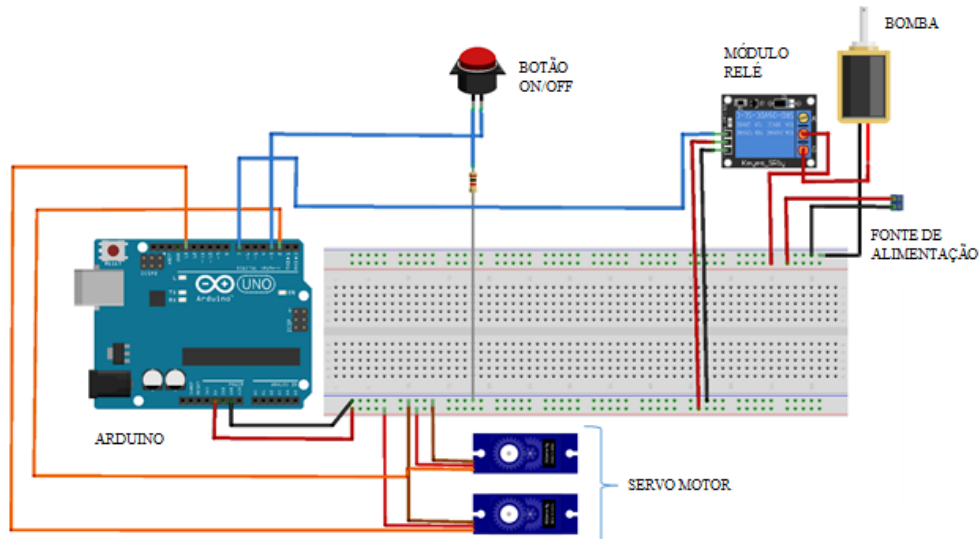


Figura 4. Ilustração do circuito eletrônico

Para apresentar o protótipo em escala real, mostrasse-o em três partes: Conjunto eletrônico, conjunto mecânico e protótipo completo. Neste último, apresenta-se o protótipo sendo aplicado para limpeza de um painel fotovoltaico localizado no telhado de uma residência.

#### 4.1 Conjunto eletrônico do protótipo (Controle)

Todo o conjunto eletrônico, isto é, a parte de Controle do protótipo é ilustrada como o Painel de Controle na Figura 5. Inseriu-se os componentes em uma maleta de fácil portabilidade conforme apresenta também a Figura 5.



Figura 5. Parte de Controle do protótipo em uma maleta portátil.



A partir da imagem da direita da Figura 5 verifica-se a maleta portátil contendo todo o conjunto eletrônico do protótipo. No canto esquerdo da maleta foi inserido o botão on/off para ligar e desligar o sistema de limpeza. Inseriu-se o conector da fonte de alimentação 12V/5A e a saída da conexão da maleta com a bomba no canto direito da maleta, conforme apresenta a imagem direita da Figura 5. Visualiza-se na mesma o Arduino, a protoboard e o módulo relé.

#### 4.2 Conjunto mecânico do protótipo (Operação)

O conjunto denominado como Operação do Sistema é apresentado nas Figuras 6 e 7. Na Figura 6 tem-se o brucutu anexado ao suporte. O suporte consegue executar movimentos horizontais e verticais, ampliando o alcance dos jatos do brucutu, uma vez que estão conectados mecanicamente. Tal ampliação de movimentos ocorre devido a dois servos motores montados junto ao suporte, formando o chamado Suporte Pan Tilt.



Figura 6. Bocal acoplado ao suporte Pan Tilt e mangueira.

No que se segue, tem-se o conjunto bomba de 12V mais mangueira mais reservatório de 2 litros utilizado no presente projeto como apresentado na Figura 7.



Figura 7. Reservatório de 2 litros, bomba 12V e mangueira utilizados no protótipo.





#### 4.3 Protótipo de um sistema de autolimpeza de painéis solares

O protótipo foi desenvolvido para operar com dois servos motores através do suporte pan tilt. Com o suporte, o brucutu consegue realizar movimentos horizontais e verticais ampliando o alcance dos jatos. A montagem do protótipo no telhado de uma residência é apresentada abaixo na Figura 8.



Figura 8. Montagem completa do protótipo utilizando dois servos motores (Pan Tilt).

O funcionamento do protótipo atuando na limpeza de um painel fotovoltaico localizado no telhado de uma residência pode ser visualizado sob dois ângulos diferentes na Figura 9 apresentada a seguir.



Na mesma, verificou-se que a angulação percorrida pelo bocal fez com que os jatos ultrapassassem os limites do painel.



Figura 9. Funcionamento do protótipo utilizando dois servos motores (Pan Tilt).

#### 4.4 Custo do protótipo

O protótipo desenvolvido foi avaliado operando para a limpeza de um painel fotovoltaico posicionado na horizontal. O painel tem como dimensões 110cm x 50cm x 5cm. Para melhor aproveitamento do espaço em um telhado, por exemplo, o painel pode ser instalado na vertical. Pelas dimensões do mesmo painel, ao utiliza-lo na vertical, consegue-se um comprimento de três vezes sua largura (3x50cm). Com isso, e sabendo que o protótipo ultrapassa os limites do painel quando o mesmo está na horizontal, prevê-se que o protótipo consegue realizar a limpeza de 3 (três) painéis solares do modelo apresentado no presente projeto.

Considerando, portanto, que o protótipo realiza a limpeza de três painéis de dimensões 110cm x 50cm x 5cm, montou-se a Tabela 2 com os custos de cada material utilizado e o custo total do protótipo.





Tabela 2. Custo do protótipo dimensionado para limpeza de três painéis solares.

QUANT.	MATERIAL	CUSTO (R\$)
01	Arduino UNO R3	39,89
01	Botão interruptor on-off	05,00
01	Protoboard 830 pontos	17,00
01	Módulo relé 2 canais (SRD-05VDC-SL-C)	13,99
01	Bomba 12V	22,99
01	Mangueira (5 metros)	30,00
01	Brucutu	10,00
01	Reservatório de 2 litros	35,60
01	Fonte de alimentação 12V/5A	18,59
01	Suporte Pan Tilt + 02 servos motores	35,99
<b>TOTAL</b>		<b>229,05</b>

Com o resultado da Tabela 2, verifica-se um custo total de R\$ 229,05 (duzentos e vinte e nove reais e cinco centavos) para a limpeza de três painéis solares de dimensões 110cm x 50cm x 5cm.

Constatado o funcionamento do protótipo com os materiais listados anteriormente na Tabela 2, dimensionou-se um panorama para verificar o custo do protótipo para que o mesmo realizasse a limpeza de uma quantidade de cinquenta painéis solares. O resultado é apresentado na Tabela 3.

Tabela 3. Custo do protótipo dimensionado para limpeza de cinquenta painéis<sup>1</sup>.

QUANT.	MATERIAL	CUSTO (R\$)
01	Arduino UNO R3	39,89
01	Botão interruptor on-off	05,00
01	Protoboard 830 pontos	17,00
02	Módulo relé 2 canais (SRD-05VDC-SL-C)	34,00
04	Bomba 12V	91,96
01	Mangueira	100,00
16	Brucutu	160,00
04	Reservatório de 2 litros	142,40
01	Fonte de alimentação 12V/5A	18,59
16	Suporte Pan Tilt + 02 servos motores	575,84
<b>TOTAL</b>		<b>1184,68</b>

Com o resultado da Tabela 3, verifica-se um custo total de R\$ 1184,68 (hum mil, cento e oitenta e quatro reais e sessenta e oito centavos) para o protótipo.

Para mais, avaliou-se a viabilidade técnica e econômica do protótipo comparando o resultado da Tabela 3 com o sistema de autolimpeza Heliotex. Este foi escolhido pela semelhança do mesmo com o presente sistema desenvolvido. O custo de instalação do sistema Heliotex, de acordo com a Solar Conduit (2016), é de US\$ 2.258,00 para cinquenta painéis fotovoltaicos. Realizando a conversão de dólar para real (em 03/09/2016) tem-se um custo total de R\$ 7.355,43 (sete mil, trezentos e cinquenta e cinco reais e quarenta e três centavos).

<sup>1</sup> Valores estimados.





Ainda se ressalta que o sistema de limpeza Heliotex tem como desvantagens a grande utilização de água e o sabão pode afetar o meio ambiente.

Quanto ao sistema de autolimpeza desenvolvido no presente trabalho, conseguiu-se que o bocal ampliasse o alcance dos jatos a partir do suporte pan tilt. Com esse método, o custo do protótipo dimensionado para a limpeza de cinquenta painéis foi de R\$ 1184,68. Para mais, modelou-se um sistema de reaproveitamento de água, funcionando com dois filtros (uma tela acima da calha para materiais grossos e, posteriormente, um filtro fino para “purificação” do líquido/mistura/água).

Destarte, ao se comparar quesitos como custo e sustentabilidade entre o presente projeto e o sistema Heliotex, o projeto desenvolvido neste trabalho se sobressai em ambos quesitos, apresentando um custo seis vezes menor que o sistema Heliotex e, como solução para uma limpeza menos agressiva ao meio ambiente, um sistema de reaproveitamento de água simples foi modelado tridimensionalmente.

## 5 Considerações finais

No atual trabalho pretendeu-se apresentar um protótipo de tecnologia destinada ao melhoramento da eficiência energética de painéis solares a partir da limpeza dos mesmos. O protótipo em questão trata-se de um sistema de baixo custo para autolimpeza dos painéis, uma vez que a sujeira prejudica e diminui a eficiência dos mesmos. Tal pesquisa tem embasamento inicial através do enorme potencial energético e térmico da energia solar e, posteriormente, como o aproveitamento desta fonte de energia renovável pode contribuir, de forma significativa para dar resposta às atuais e futuras necessidades energéticas.

Sendo assim, verificou-se tecnologias presentes no mercado atual e encontrou-se semelhanças com o sistema de limpeza de painéis denominado Heliotex. Ao se comparar o custo entre o sistema Heliotex e o protótipo desenvolvido, o último obteve um custo seis vezes menor. Quanto a questão da sustentabilidade, modelou-se um projeto simples para reaproveitamento da água da chuva ou da mistura de água e sabão lançada no painel. Durante o processo de captação de água ou mistura, filtros (uma tela de proteção para impurezas de granulometria grande e, posteriormente, filtro para purificação da água ou mistura) realizam a limpeza do líquido. Desta forma, o presente trabalho contribui e alcança os objetivos apresentados no trabalho.

## 6 Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Energia Solar. In: \_\_\_\_\_. Atlas de Energia Elétrica do Brasil. 2º ed. Brasília: ANEEL, 2005. p.29-42.

ALBAQAWI, Nawaf (2014). Development of an automatic robotic cleaning system for photovoltaic plants. Disponível em: <<http://goo.gl/BPLZ5r>>. Acesso em 09 de junho de 2016.

ANDERSON, Mark *et al.* (2012). Robotic device for cleaning photovoltaic panel arrays. International Conference on Climbing and Walking Robots. Conference on Solar Concentrators for the Generation of Electricity or Hydrogen; San Lorenzo del Escorial, Spain, 12-17 March, 2007.

ARAMIZU, Juliana. Modelagem e Análise de desempenho de um Sistema Fotovoltaico em operação isolada e em paralelo com uma rede de distribuição de Energia Elétrica. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2010.



CENTER SOL (s.d.). Manual técnico: Aquecedor solar acoplado. Disponível em: <<http://goo.gl/sb2JYf>>. Acesso em: 19 de março de 2016.

CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO. 2006. Energia Solar: Princípios e Aplicações. Disponível em: <<http://goo.gl/AP60zX>>. Acesso em 20 de março de 2016.

ECOPPIA, 2014. Field-proven, automatic, water-free solar panel cleaning system. Disponível em: <<http://www.ecoppia.com/ecoppia-e4>>. Acesso em 03 de junho de 2016.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). Análise da Inserção da Geração Solar na Matriz Energética Brasileira. Nota Técnica. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia, 2012. 58p.

EMPRESA DE PESQUISAS ENERGÉTICAS (EPE). Cenário econômico 2050. Nota Técnica. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia. 2015. 123p.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. Energia Solar Fotovoltaica: Fundamentos, Conversão e Viabilidade técnico-econômica. Grupo de Energia Escola Politécnica Universidade de São Paulo. 2012.

FADIGAS, Eliane Aparecida Faria Amaral. Dimensionamento de fontes fotovoltaicas e eólicas com base no índice de perda de suprimento e sua aplicação para atendimento à localidades isoladas. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1993, 162p.

HELIOTEX (2016). Solar Panel Cleaning. Disponível em: <<http://goo.gl/KdzA0c>>. Acesso em 02 de junho de 2016.

HUNT, Gene C. e WORKMAN, Michael D, inventores; Heliotex, LLC, cessionário. Solar panel cleaning system. United States patent US 20090288691. 2009.

IEA (2014a). Technology Roadmap: Solar Photovoltaic Energy, 2014 Edition, OECD/IEA, Paris.

IEA (2014b). Technology Roadmap: Solar Thermal Electricity, 2014 Edition, OECD/IEA, Paris.

IEA (2014c), Energy Technology Perspectives 2014, OECD/IEA, Paris.

IEA (2012), Technology Roadmap: Solar Heating and Cooling, 2012 Edition, OECD/IEA, Paris.

JALBUENA, Kratice. 2010. Mars-inspired technology makes PV panels self-cleaning. Disponível em: <<http://goo.gl/DVGQ3l>>. Acesso em 02 de junho de 2016.

KASIM, Naseer; AL-WATTAR, Abbas; ABBAS, Khansaa. New Technique for Treatment of the dust accumulation from PV solar panels surface. Iraqi Journal of Physics, v.8, nº12, p.54-59. 2010.

KEGELEERS, Matthias. 2015. The development of a cleaning robot for PV panels. Disponível em: <<http://www.eavise.be/mastertheses/Kegeleers.pdf>>. Acesso em 03 de junho de 2016.

LOPES, Ricardo Jorge Cabral. Efeito do sombreamento nos painéis fotovoltaicos. Dissertação de Mestrado. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2013, 111p.

MICHEL, Roger Nabeyama *et al.* A influência da temperatura na eficiência de painéis fotovoltaicos em diferentes níveis de incidência da radiação solar. Revista Agrogeoambiental, v.2, n.3, p.105-110, 2010.

NAWATA, Y.; SADATOMI, M. Prediction of photovoltaic (PV) power output considering weather effects. Colorado: Solar, 2006.

NGUYEN, Dzung; LEHMAN, Brad. Modeling and simulation of solar PV arrays under changing illumination conditions. IEE COMPEL, p.16-19, 2006.

OVERSTRAETEN, R. W.; MERTENS, R. P. Physics, technology and use of photovoltaics. London: Modern Energy Studies, 1996, 277p.



**V SINGEP**

**Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade**

**International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability**

ISSN: 2317 - 8302

PINHO, João Tavares.; GALDINO, Marco Antonio. Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaicos. In: Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Salvo Brito, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://goo.gl/Xn2flz>>. Acesso em 28 de fevereiro de 2016.

POLI USP, 2014. Pesquisa da Poli mostra que microrganismos em painéis fotovoltaicos podem reduzir cerca de 10% produção de energia solar. Disponível em: <<http://goo.gl/iD6iHZ>>. Acesso em 28 de março de 2016.

REN21 (2016). Renewables 2016: Global Status Report. Paris: REN21 Secretariat. Disponível em: <<http://goo.gl/3CM6v4>>. Acesso em 01 de junho de 2016.

RENEW ENERGIA, 2015. Manutenção preventiva: Solar fotovoltaico, poeira e pombos. Disponível em: <<http://goo.gl/ciQusF>>. Acesso em 24 de março de 2016.

SANTOS, Natanaelyfle Randemberg Gomes. Construção e análise de desempenho de coletores alternativos utilizando garrafas PET. 2007, 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

SOLAR CONDUIT, 2016. Heliotex Automatic Solar Panel Cleaning Systeem for 50 modules. Disponível em: <<https://goo.gl/yuLHbH>>. Acesso em 02 de junho de 2016.

SOLARTERRA. Guia prático: Energia Solar Fotovoltaica. 2008. Disponível em: <<https://goo.gl/bKbVoh>>. Acesso em 31 de maio de 2016.

TIBA, Chigueru *et al.* Atlas Solarimétrico do Brasil: Banco de dados solarimétricos. Recife: Edição Universitária da UFPE, 2000. 111p. Disponível em: <<http://goo.gl/7V9hA9>>. Acesso em 28 de março de 2015.