

**Workshop:**

**Usinas Solares Fotovoltaicas**

**aliando tecnologia à sustentabilidade**

**27 e 28 de julho de 2016**

**Mossoró - RN**

Realização:



Apoio:



**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **Organizadores**

Diana Gonçalves Lunardi

Júlio César Rodrigues de Sousa

Ednardo Pereira da Rocha

Fabiana Karla de Oliveira M. Varella Guerra

Vitor de oliveira Lunardi

Antônio Rodolfo da S. Moura

**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA**

### **Reitor**

José de Arimatea de Matos

### **Vice-Reitor**

José Domingues Fontenele Neto

### **Pró-Reitor de Extensão e Cultura**

Rodrigo Sérgio Ferreira de Moura

**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **Comissão Científica:**

Diana Gonçalves Lunardi – Centro de Engenharias

Ednardo Pereira da Rocha – Centro de Engenharias

Júlio César Rodrigues de Sousa – Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis

Vitor de Oliveira Lunardi – Centro de Ciências Biológicas e da Saúde

**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b>	06
<b>RESUMO DAS PALESTRAS E MESA-REDONDA</b>	07
Desafio da sustentabilidade e os benefícios ambientais do uso da energia solar	08
Usinas solares do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do RN: experiência e desafios	09
Eficiência energética – Menos energia, mais competitividade!	10
A energia solar fotovoltaica no contexto da geração distribuída no Brasil	11
<b>ARTIGOS CIENTÍFICOS</b>	12
Análise comparativa entre diferentes metodologias de cálculo da estimativa de geração de energia elétrica a partir de sistemas fotovoltaicos	13
Fogão solar do tipo caixa de baixo custo: construção e análise do desempenho e viabilidade	30
Destilador solar de baixo custo para uso didático	53
Montagem, instalação e análise de desempenho térmico de um sistema convencional de aquecimento solar de água na cidade de Mossoró-RN	71
Projeto de usina solar fotovoltaica conectada à rede de 8,67 kwp	88

**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **Apresentação**

Recentemente, a UFERSA alcançou o segundo lugar em um desafio – Prêmio Ideia/Desafio da Sustentabilidade – promovido pelo Ministério da Educação em 2014/2015, sendo contemplada com o prêmio de R\$ 1.000.000,00. Após avaliação criteriosa de aplicação do recurso pelos docentes, discentes e técnicos administrativos envolvidos no processo de criação e divulgação das ideias sustentáveis, estes optaram pela aquisição de uma usina solar para geração de energia elétrica a partir de fonte renovável. Assim, este Workshop visa envolver a comunidade da UFERSA e região no processo de construção do conhecimento e discussão sobre as tecnologias, logística e políticas envolvidas no processo de projeto, aquisição, implantação e operação de usinas solares fotovoltaicas. Ainda, esperamos ampliar as discussões sobre o papel das Universidades Públicas na geração e promoção de tecnologias aliadas à sustentabilidade ambiental.

**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **RESUMO DE PALESTRAS E MESA-REDONDA**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## **DESAFIO DA SUSTENTABILIDADE E OS BENEFÍCIOS AMBIENTAIS DO USO DA ENERGIA SOLAR**

**Diana Gonçalves Lunardi<sup>1</sup> & Vitor de Oliveira Lunardi<sup>2</sup>**

**<sup>1</sup>Centro de Engenharias. <sup>2</sup>Centro de Ciências Biológicas e da Saúde, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN.**

Durante a mobilização da UFERSA para o Prêmio Ideia do Ministério da Educação – MEC (2014-2015), docentes, discentes e técnicos administrativos da Universidade discutiram e realizaram inúmeras propostas de práticas sustentáveis para a redução da energia elétrica e água. Com a conquista do segundo lugar, divulgado oficialmente pelo MEC em 03 de março de 2015, e a premiação de 1 milhão de reais, optou-se por aplicar o recurso na aquisição de uma usina solar de 135KWp. Esta usina solar fotovoltaica trará uma série de benefícios diretos e indiretos à UFERSA como a redução dos gastos com energia elétrica na própria universidade, um laboratório ao ar livre para apoiar pesquisas científicas em nível de mestrado e iniciação científica e a integração entre tecnologia e sustentabilidade.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **USINAS SOLARES DO INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RN: EXPERIÊNCIA E DESAFIOS**

**Franclin Róbias da Silva Júnior**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.**

**Natal, RN.**

Um ano após a publicação da Resolução Normativa 482 (RN 482), da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), em agosto de 2013 foi dado início ao projeto de inserção de fontes renováveis de energia no Instituto Federal do RN (IFRN). O primeiro gerador com capacidade de 56,4 kWp iniciou operação ainda em 2013 na Reitoria. O ano de 2015 terminou com 811 kWp de capacidade instalada. Em 2016 será ultrapassada a marca de 1 MWp, podendo encerrar o ano com quase 1,4 MWp fotovoltaico em operação, distribuídos em 15 unidades da Instituição. Durante a palestra serão apresentadas as motivações que levaram o IFRN a implantar mini e microgeradores fotovoltaicos em suas instalações. Também serão mostrados os modelos de aquisição utilizados, instalações e investimentos realizados, aspectos técnicos dos projetos executados, desempenho obtido, custos com manutenção e expectativa de retorno.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **EFICIÊNCIA ENERGÉTICA – MENOS ENERGIA, MAIS COMPETITIVIDADE!**

**Júlio César Rodrigues de Sousa**

**Pró-Reitoria de Assuntos Estudantis. Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido – UFERSA, Mossoró, RN.**

O custo da energia elétrica no Brasil é um dos mais altos do mundo, devido principalmente a baixa competitividade na geração, transmissão e distribuição desse insumo. Além disso, o setor elétrico possui encargos estratosféricos, entre impostos federais e estaduais e o percentual cobrado aos consumidores finais ultrapassam facilmente os 30% do valor total cobrado na fatura. Esse cenário afeta principalmente a indústria nacional, e compromete diretamente o comportamento da economia. Atualmente, novas tecnologias permitem que as organizações aumentem exponencialmente a produtividade e a competitividade de seus negócios e reduzam significativamente os custos com energia elétrica convencional, a partir da utilização de estratégias de aproveitamento das condições ambientais existentes, bem como através da redefinição dos processos organizacionais e do estabelecimento de uma nova cultura corporativa, com foco na economia de energia e na sustentabilidade empresarial.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **A ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA NO CONTEXTO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL**

**Ednardo Pereira da Rocha;  
Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella;  
André Pedro Fernandes Neto  
Centro de Engenharias. Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA,  
Mossoró, RN.**

A geração distribuída vem sendo definida como um modelo de infraestrutura energética de baixas potências que tem por finalidade a geração de energia elétrica próxima ou dentro dos próprios centros de consumo. No Brasil, a GD passou a ser realidade após a vigência da Normativa 482/2012 da ANEEL, posteriormente atualizada pela Resolução Normativa 687/2015, que definem as diretrizes e regras para os consumidores que desejem entrar no sistema de compensação de energia. Até então, a maioria dos projetos em pleno funcionamento no Brasil operavam para atender localidades isoladas, sem acesso à rede das distribuidoras de energia. Atualmente, mais de 90% dos sistemas conectados à rede atualmente em funcionamento no Brasil são sistemas fotovoltaicos. Esta preferência pelos sistemas fotovoltaicos se dá pela facilidade da instalação, manutenção mínima e pela taxa de retorno do investimento.

**Workshop:**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



## **ARTIGOS CIENTÍFICOS**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES METODOLOGIAS DE CÁLCULO DA ESTIMATIVA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Rafael Alex Viera do Vale<sup>1</sup>  
Ednardo Pereira da Rocha<sup>2</sup>

### Resumo

O presente artigo realiza uma análise comparativa entre dois métodos de estimativa de geração de energia a partir de um sistema fotovoltaico conectado à rede. O método de máxima corrente relaciona as horas de sol pleno de uma determinada localidade para estimar a geração do sistema fotovoltaico, enquanto o outro, denominado método da insolação, leva em consideração os parâmetros de irradiação da localidade e as dimensões físicas do conjunto de painéis solares. As comparações foram feitas do ponto de vista técnico e econômico, levando em consideração a necessidade de se estimar a geração de energia a partir de cada um dos métodos propostos como forma de se determinar tempo de retorno do investimento e, conseqüentemente, a viabilidade e a verificação de sub e superdimensionamento de um determinado sistema fotovoltaico.

**Palavras-chaves:** Sistema fotovoltaico, horas de sol pleno, irradiação, azimute, inclinação.

### Abstract

This paper makes a comparative analysis between two methods of power generation estimation from a PV on-grid system. The method of maximum current lists the full

---

<sup>1</sup> Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

<sup>2</sup> Centro de Engenharias, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



sunlight hours of a given location to estimate the generation of the PV, while the other, called the method of insolation, it takes into account the location irradiation parameters and the physical dimensions of the array of solar panels. Comparisons were made from a technical and economic point of view, taking into account the need to estimate the generation of energy from each of the proposed methods in order to determine payback time of investment and thus the viability and verification of under and oversizing of a given PV system.

**Key Words:** Photovoltaic system, hours of full sunlight, irradiation, azimuth, inclination.

## 1. Introdução

Os sistemas fotovoltaicos de geração de energia são baseados na ideia de fontes alternativas de energia como energia limpa, devido a abundância da energia solar emanada ao nosso planeta. Atualmente, com o advento do conceito de sustentabilidade e também da diversificação da matriz energética, o uso da energia solar vem sendo amplamente discutido com resoluções e normas que permitem a sua utilização. Pequenas usinas solares residenciais já estão sendo instaladas no Brasil após a regulamentação da geração distribuída no país. O principal fator que impulsiona a aquisição desses sistemas fotovoltaicos é a busca pela redução do valor da fatura de energia elétrica dessas unidades.

Apesar da divulgação, a geração de energia solar distribuída ainda tem pouca notoriedade no mercado, pois a tecnologia usada para a implantação do sistema ainda apresenta um valor relativamente alto, embora nos últimos anos o preço com os sistemas tenham apresentado uma queda relativa em termos de Wp (Watt-pico).

Alguns métodos são usados para o dimensionamento dos sistemas solares com base na estimativa de geração. Os mais conhecidos são o método que utiliza as horas de sol pleno da localidade, também conhecido como método da máxima corrente, e o método da insolação que se utiliza das dimensões do painel fotovoltaico relacionando a sua área efetiva de geração de energia e a inclinação dos painéis, bem

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



como a inclinação da localidade com relação ao norte geográfico ou azimute (referência?).

Os níveis de radiação diferem com a inclinação dos painéis e também com a inclinação do azimute. O fator radiação é, obviamente, fator determinante para o dimensionamento dos sistemas. O método que usa as horas de sol pleno (HSP), segundo CRESESB (2014), a radiação média considerada é fixada em  $1\text{kW/m}^2$  usada para obter as horas de sol pleno da localidade.

O dimensionamento fotovoltaico parte de um histórico de consumo de energia elétrica ambiente estudado para ser definido todo o sistema fotovoltaico distribuído em painéis solares, inversor de frequência, proteção e dimensionamento dos cabos. O sistema fotovoltaico, hoje regido pela resolução N° 687 da ANEEL, utiliza o sistema de compensação de energia para o abatimento na conta de energia elétrica do consumidor, fazendo necessário um dimensionamento adequado para não haver um sub ou sobre dimensionamento do mesmo.

## 2. Metodologia

A metodologia para a comparação e análise dos modos de dimensionamento fotovoltaico teve como base o estudo de uma residência com carga instalada de, aproximadamente,  $8,5\text{kW}$  e um consumo médio de  $744\text{kWh/mês}$ . Os dados de radiação foram obtidos através do software RADIASOL 2 que serviram de base para o dimensionamento de ambos os métodos e para aplicação em planilha eletrônica para realização de cálculos.

### Caracterizações da Residência

A residência apresenta uma carga instalada dividida de acordo com os seguintes equipamentos descritos na tabela 1.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Tabela 1:** Carga instalada da residência.

<b>Equipamento</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>	<b>Potência instalada (W)</b>
Condicionador de ar	2	600	1200
Geladeira	1	350	350
Gela água	1	88	88
Lâmpada fluorescente	20	40	800
Refletor	2	100	200
Televisor	4	200	800
Notebook	2	25	50
Secador de cabelo	1	1000	1000
Maq. de lavar roupa	1	1100	1100
Ferro elétrico	1	1000	1000
Liquidificador	1	200	200
Forno microondas	1	1500	1500
Mini system	1	200	200
Total	-	-	8488

Fonte: Autoria Própria.

Através do histórico das contas de energia elétrica, o consumidor apresenta o seguinte histórico de abril/2015 a março/2016 descrito na tabela 2.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Tabela 2:** Histórico de consumo da residência estudada.

<b>Mês/Ano</b>	<b>Consumo (kWh)</b>
Abril/2015	927
Maio/2015	896
Junho/2015	564
Julho/2015	860
Agosto/2015	793
Setembro/2015	805
Outubro/2015	724
Novembro/2015	697
Dezembro/2015	665
Janeiro/2016	630
Fevereiro/2016	770
Março/2016	594

Fonte: Fatura de energia elétrica emitida pela COSERN

As tabelas mostram o perfil energético do consumidor. De acordo com a sua carga instalada, a residência apresenta ligação monofásica (apresenta carga instalada menor que 15kW) atendido em 220V.

## **Dimensionamento fotovoltaico usando o método da insolação**

Um dos métodos usados para o dimensionamento do sistema fotovoltaico foi o método da insolação, no qual leva-se em consideração as dimensões físicas do painel solar para geração de energia elétrica e a taxa de insolação para a latitude, o azimute e a inclinação da localização em que as placas serão instaladas. Para a edificação em

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



análise, o azimute é 32° NE para a superfície em que as placas serão alocadas e uma inclinação da queda d'água de 14°.

Com o programa RADIASOL 2 foi possível determinar a irradiação em kWh/m<sup>2</sup>/dia para Mossoró nas condições de azimute e de inclinação encontrada. O dimensionamento da energia de geração pode ser calculado mensalmente pela equação 1.

$$G = A \times E \times H_{tot} \times n \times R \quad (1)$$

Onde **A** é a área efetiva de geração do módulo, **E** representa a eficiência do módulo solar em termos percentuais, **H<sub>tot</sub>** é a irradiação solar em kWh/m<sup>2</sup>/dia, **n** é o número de painéis solares usados e **R** é o rendimento do sistema considerando as perdas. A partir deste cálculo é possível estimar a geração de energia elétrica do sistema em termos diários e mensais.

De acordo com o *datasheet* do painel solar escolhido, o rendimento esperado para este painel foi de 15,85%, a área total efetiva de geração com 1,48m<sup>2</sup> e com rendimento percentual do sistema em cerca de 80%.

## Dimensionamento usando o método das horas de sol pleno

De acordo com o CRESESB (2014), o dimensionamento de um sistema fotovoltaico *on-grid* pode ser dimensionado de acordo com as horas de sol pleno usando como referência uma insolação fixa de 1kW/m<sup>2</sup>. A figura 1 denota a determinação das horas de sol pleno. Para se determinar as horas de sol pleno pode-se usar a equação 2.

$$HSP = \frac{G}{g} \quad (2)$$

Onde **G** representa a irradiação na inclinação escolhida para a geração em kWh/m<sup>2</sup>/dia e **g** a radiação em kW/m<sup>2</sup> também para a inclinação desejada. Estes dados

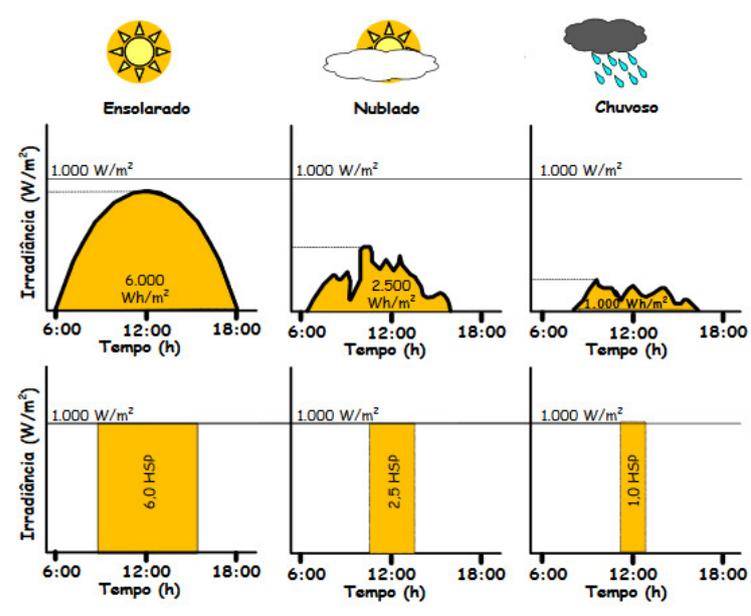
# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



também foram colhidos a partir do programa RADIASOL 2. Para garantir a coerência, também foi considerada a irradiação e radiação para azimute 2 inclinação, escolhidos no método anterior.

Figura 1: Compreensão do entendimento das horas de sol pleno.



Fonte: CRESESB (2014)

O dimensionamento da potência de geração a ser instalada, de acordo com o CRESESB (2014), pode ser calculado seguindo a equação 3.

$$P_{FV} = \frac{E/TD}{HSP} \tag{3}$$

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



A equação 3 apresenta as seguintes grandezas, **E** representa a energia média diária consumida na edificação ou parte dela, **TD** é a taxa de desempenho do sistema e **HSP** representa as horas de sol pleno estimadas de acordo com a equação 2. Ainda, de acordo com o CRESESB (2014) a taxa de desempenho do sistema para ambientes bem ventilados e não sombreados apresenta uma desempenho médio de 80%.

## Estimativas de Irradiação

Os dados de irradiação foram obtidos por dados meteorológicos apresentados pelo RADIASOL 2 para a cidade de Mossoró com azimute 32° NE e inclinação de 14° para a determinação dos cálculos referentes a cada método. Os dados de Irradiação obtidos são valores médios mensais em kWh/m<sup>2</sup>/dia, como denotado na tabela 3.

**Tabela 3:** Irradiação para a região de Mossoró (kWh).

<b>Mês</b>	<b>Irradiação para a região de Mossoró (kWh)</b>
Janeiro	5,26
Fevereiro	5,4
Março	5,25
Abril	5,22
Maiο	5,61
Junho	5,34
Julho	5,7
Agosto	6,4
Setembro	6,3
Outubro	6,35
Novembro	6,12
Dezembro	5,69

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



### 3. Resultados e Discussão

#### Método da Insolação

Para atender a residência em 100% de seu consumo foi calculado que 22 painéis solares de 255Wp com geração de 5,61kWp seriam suficientes para atender a residência. Diante dos dados de irradiação obtidos e considerando a equação 1 e os fatores determinados pelo tópico 2.2, é possível obter os seguintes dados de geração fotovoltaica como denotado na tabela 4.

**Tabela 4:** Geração mensal estimada para o consumidor estudado usando o método da insolação.

<b>Mês</b>	<b>Geração Mensal (kWh)</b>
Abril	616,55
Maio	688,01
Junho	631,41
Julho	699,53
Agosto	789,12
Setembro	750,32
Outubro	782,73
Novembro	728,02
Dezembro	698,25
Janeiro	643,22
Fevereiro	594,25
Março	641,94

Fonte: Autoria Própria.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

**UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016**



Comparando-se com a tabela 2, pode-se destacar que fazendo a diferença entre a energia consumida e a gerada, há uma redução média de energia de aproximadamente 92,5%, apresentando 6 meses com créditos de energia, ou seja, a energia gerada pelo sistema fotovoltaico supera a energia consumida. O saldo positivo em alguns meses também proporciona ao consumidor o pagamento do custo de disponibilidade, uma taxa paga pelo consumidor para consumo abaixo de 30kWh, considerando o modo de instalação monofásico.

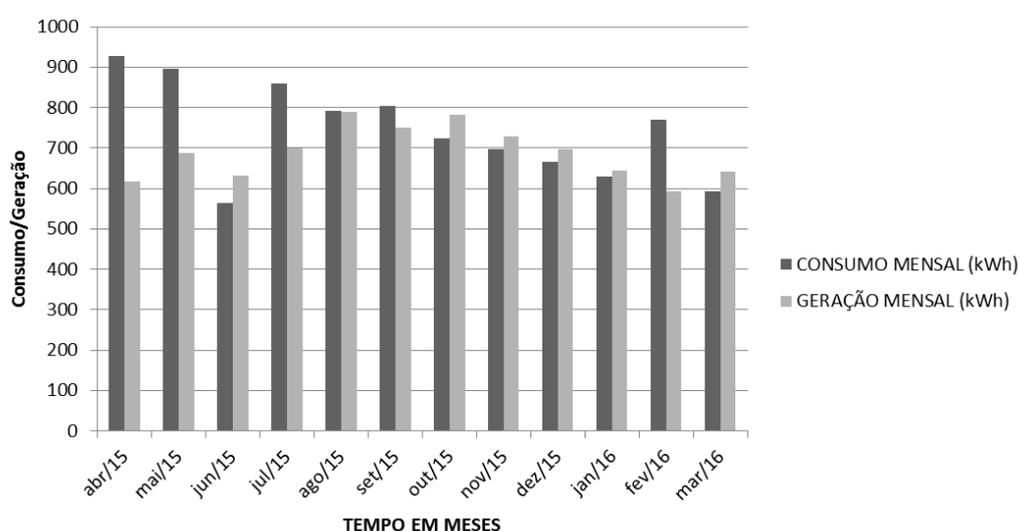
Com o sistema de compensação proposto pelas resoluções 482/2012 e 687/2015 da ANEEL, o cálculo do custo com energia elétrica mensal antes e depois da suposta implantação do sistema, seguindo o histórico da fatura de energia elétrica, apresenta uma estimativa de economia anual R\$ 4.596,59, passando o consumidor a pagar cerca de R\$ 544,21 com a implantação do sistema, considerando uma tarifa mensal de R\$ 0,576/kWh. A diferença entre geração e consumo é mostrado no gráfico 1.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Gráfico 1:** Comparativo entre consumo de energia elétrica e geração mensal de energia elétrica para o método da insolação usando o sistema fotovoltaico para a residência.



Fonte: Autoria Própria

## Método de Máxima Corrente

Com as horas de sol pleno, seguindo o dimensionamento proposto pelo tópico 2.3, foi considerado 5 HSP na localização da residência. Usando um painel de 255Wp para suprir todo o consumo da residência, o número de painéis a serem usados foi estimado em 24 painéis, totalizando uma potência de instalada de geração de 6,12kWp. Seguindo o raciocínio do tópico anterior, a geração mensal estimada do sistema é apresentada na tabela 5.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Tabela 5:** Geração mensal estimada para o consumidor estudado usando o método da máxima corrente.

Mês	Geração Mensal (kWh)
Abril	704,40
Maio	728,88
Junho	704,40
Julho	728,88
Agosto	728,88
Setembro	704,40
Outubro	728,88
Novembro	704,40
Dezembro	728,88
Janeiro	728,88
Fevereiro	655,44
Março	728,88

Fonte: Autoria Própria

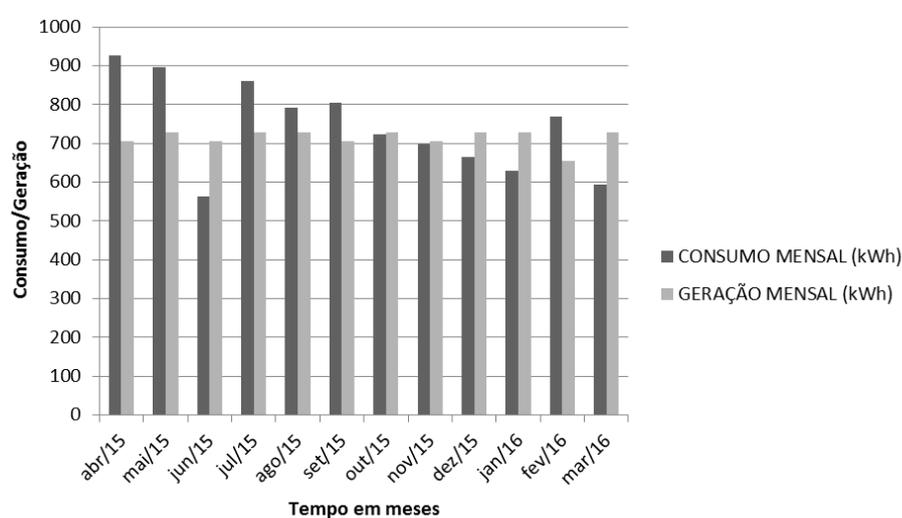
Considerando os resultados de geração da tabela 5 e comparando-se com a tabela 2 referente ao consumo da residência, a redução no uso da energia elétrica da concessionária é de cerca de 96% também apresentando 6 meses com crédito de energia elétrica. Porém, estes resultados mostram que além dos meses com crédito, o consumidor irá somente pagar a disponibilidade com o uso destes créditos, ou seja, nos demais 6 meses, o consumo supera os 30kWh. Contudo estima-se, por este método, que a economia anual deste consumidor é de cerca de R\$ 4.568,00, passando a pagar anualmente um valor de R\$ 438,00. O comparativo de geração e consumo é mostrado no gráfico 2.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade



UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016

**Gráfico 2:** Comparativo entre consumo de energia elétrica e geração mensal de energia elétrica para o método da máxima corrente usando o sistema fotovoltaico para a residência.



Fonte: Autoria Própria

## Análise de Viabilidade Técnica e Financeira

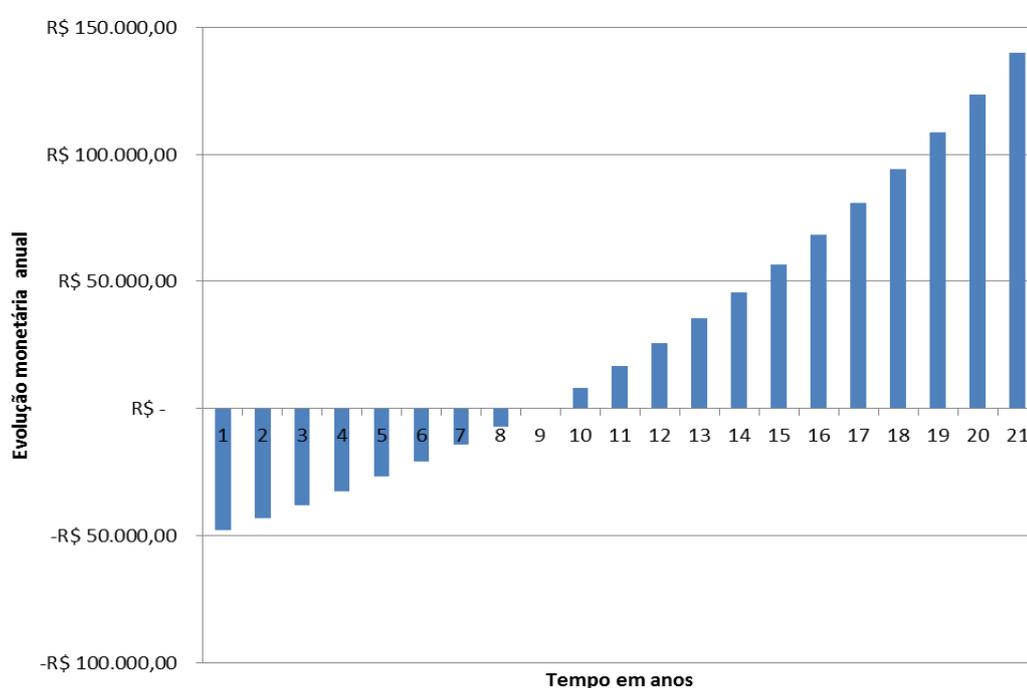
A viabilidade financeira é taxada, realizando-se o estudo do tempo de retorno de investimento. Para o primeiro método, o da insolação, considera-se um aumento anual na tarifa de 7,5%, tendo como base o aumento da tarifa do ano atual. O investimento a ser feito para este método é de cerca de R\$ 47.850,00 usando um inversor de 6kW. O tempo de retorno estimado neste caso deverá ser de, aproximadamente, 8 anos, tendo como base a depreciação do sistema, que é de 0,8% ao ano como é mostrado no gráfico 3.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Gráfico 3:** Análise de viabilidade econômica mostrando o tempo de retorno e a evolução monetária para o consumidor usando o método da insolação usando o aumento anual da tarifa de energia a 7,5% com depreciação do sistema de 0,8% ao ano.



Fonte: Autoria Própria.

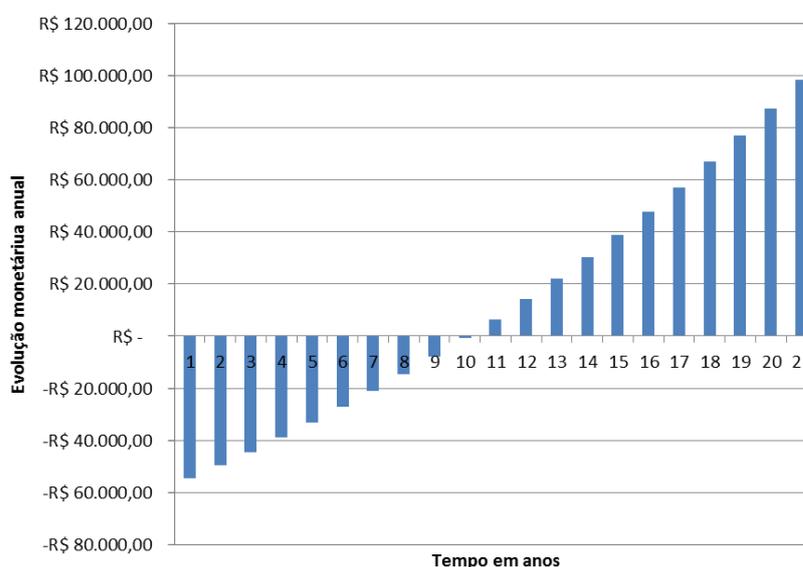
O mesmo estudo foi feito para o segundo método de dimensionamento, considerando os mesmos parâmetros de custo de energia elétrica e de depreciação anual do sistema. O investimento a ser feito para este tipo de dimensionamento é de cerca de R\$ 54.593,00. O aumento do custo se dá pelo número maior de painéis e também pelo aumento da potência nominal do inversor de 6kW para 6,5kW para suprir o sistema. Assim o tempo de retorno perante este método de dimensionamento é de cerca de 10 anos para esta edificação, como denotado no gráfico 4.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Gráfico 4:** Análise de viabilidade econômica mostrando o tempo de retorno e a evolução monetária para o consumidor usando o método da máxima corrente usando o aumento anual da tarifa de energia a 7,5% com depreciação do sistema de 0,8% ao ano.



Fonte: Autoria Própria.

Desta forma vê-se uma diferença de dois anos no tempo de retorno estimado com relação aos dois métodos. Como os equipamentos para o funcionamento do sistema ainda apresentam um valor relativamente alto, a diferença entre os investimentos é considerável. Contudo, o sistema tem uma vida útil entre 20 e 25 anos, ou seja, considerando estes tempos de retorno propostos por cada método, vê-se que o consumidor irá obter um lucro entre 12 e 17 anos para o primeiro dimensionamento proposto e de 10 a 15 anos para o segundo tipo de dimensionamento, sendo um sistema viável para o uso da residência, apesar do alto custo de investimento.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 4. Conclusão

Diante das duas análises, observa-se que é possível estimar a geração de energia elétrica a partir de um sistema fotovoltaico, porém, o método da insolação apresenta uma melhor proximidade com a realidade, visto que as características inerentes ao painel estão em consonância com os dados de irradiação encontrados no local no equacionamento da estimativa. Dessa forma, é possível estimar com maior precisão o sistema fotovoltaico, diminuindo a relevância do sub e superdimensionamento do sistema.

O método de máxima corrente estima, empiricamente, convencionando-se uma constante de irradiação para  $1\text{kWh/m}^2/\text{dia}$ , de modo que viabiliza a estimativa com as horas de sol pleno no local. Este método depende diretamente das horas de sol pleno sempre fixo e, apesar de próximo, o seu resultado com relação ao método anterior não leva em consideração os rendimentos do sistema, podendo apresentar superdimensionamento.

Na residência estudada os dois métodos apresentam uma similaridade com relação a geração de energia elétrica do sistema, porém, o método de máxima corrente apresentou um tempo de retorno maior que o método da insolação. Vê-se que o método de máxima corrente, apesar de eficaz, apresenta um superdimensionamento com relação ao método da insolação, apresentando a mesma adequação para suprir a residência. Assim, é possível enxergar que os métodos são válidos para estimativa de sistemas fotovoltaicos, porém, o método da insolação apresenta uma maior precisão nesta estimativa para este caso, tendo por base dados reais dos painéis, não somente dados meteorológicos de horas de sol como visto no método de máxima corrente.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 5. Referências

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL - **Resolução Normativa nº 482**, de 17 de Abril de 2012.

ÁRAÚJO, Maria Luiza Costa. SILVA, Jakeline Cletino da. MELO, Izabela Silva de. BEZERRA, Elidiane Barbosa. SILVA, Andrea de Carvalho da. **Estudo de Caso: Dimensionamento de Sistema Fotovoltaico On-Grid**, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – IFRN, João Câmara, RN, 2015.

Cadernos Temáticos ANEEL – **Micro e Minigeração Distribuída – Sistema de Compensação de Energia Elétrica**, Brasília, DF, 2014.

**Conexão de Microgeradores ao Sistema de Distribuição da Cosern**, 2ª edição, Código VR01.01-00.12, RN, 2013.

MIRANDA, Arthur Biagio Canedo Montesano. **Análise de Viabilidade Econômica de um Sistema Fotovoltaico Conectado à Rede**, Universidade Federal do Rio de Janeiro – Escola Politécnica, Rio de Janeiro, Março de 2014.

PINHO, João Tavares. GALDINO, Marco Antônio. **Manual de Engenharia para Sistemas Fotovoltaico**, CEPREL – CRESESB, Rio de Janeiro, RJ, 2014.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## FOGÃO SOLAR DO TIPO CAIXA DE BAIXO CUSTO: CONSTRUÇÃO E ANÁLISE DO DESEMPENHO E VIABILIDADE

Jefferson Luan Caetano Jorge de Moura<sup>3</sup>

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra<sup>4</sup>

### Resumo

A pesquisa proposta consiste em realizar um estudo sobre a eficiência térmica de um fogão solar a baixo custo, do tipo caixa, analisado na cidade de Mossoró/RN. Os materiais utilizados para a construção do mesmo são de baixo custo de aquisição e encontrados com facilidade como papel alumínio e vidro temperado; e materiais reutilizados como caixas de papelão e caixas tetra pak. O fogão é constituído de uma caixa interna construída a partir de caixas tetra pak, e de uma caixa externa de papelão, e entre as caixas foi inserido isopor agindo como isolante térmico. Os testes realizados no sistema envolveram a avaliação da temperatura interna da panela utilizada no experimento e o tempo de cocção de alimentos. Os resultados apresentam um bom potencial térmico uma vez que foi atingida uma temperatura de cerca de 60 °C, com radiação média de 980 W/m<sup>2</sup>. Quando realizados os ensaios para a cocção de alimentos, os mesmos apresentaram tempos para a cocção satisfatórios. Dessa forma, o fogão solar a baixo custo do tipo caixa desenvolvido mostrou um bom desempenho nas condições climáticas da cidade de Mossoró/RN, comprovando assim sua viabilidade.

**Palavras-chaves:** Energia Solar, Energia Térmica, Baixo Custo.

---

<sup>3</sup> Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## Abstract

The proposed research is to conduct a study on the thermal efficiency of a low-cost solar cooker type box, analyzed in the city of Mossoró/RN. The materials used to build it are inexpensive and easily found, such as aluminum foil and tempered glass; also reusable material such as pasteboard box and tetra pak box. The cooker consists in an internal box made of tetra pak boxes and a larger external pasteboard box, between the boxes was inserted styrofoam acting as a thermic isolator. The tests involved the assessment of internal temperature of the pan, the boiling time of water and the cooking time of the food. The results presented a good thermic potential, since it obtained a maximum temperature around 60°C, with a mean solar radiation of 980 W/m<sup>2</sup>. When conducted the rehearsals with food cooking, they presented satisfactory cooking time. Thus, the low-cost solar cooker type box developed proved to have a good performance in the climatic conditions of Mossoró/RN, proving its viability for use.

**Keywords:** Solar Energy, Thermal Energy, Low-cost.

## 1. Introdução

O sol possui um grande potencial de energia renovável. Essa que se aproveitada adequadamente, pode ser considerada umas das fontes energéticas alternativas mais promissoras, tendo em vista que o consumo energético tende a aumentar a cada ano e com isso a diminuição de recursos não-renováveis. Posto que a exaustão, escassez ou inconveniência de dado recurso tende a ser compensada pelo surgimento de outro, a busca por fontes alternativas, em especial renováveis e não-poluentes, como a solar e eólica assume crucial importância (LION FILHO, 2007).

No Brasil, em 2014, cerca de 80.000 kt de lenha foi produzida para consumo (EPE, 2015) número ainda bastante expressivo, principalmente se for considerado os danos ambientais. Deste total apresentado, cerca de 20.000 kt é utilizado no setor

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



residencial. Número que poderia diminuir adotando-se novas fontes energéticas usadas no setor residencial.

Para minimizar o uso da lenha e os impactos que ela gera, assim como dos outros combustíveis degradadores como o gás de cozinha, apresenta-se então como alternativa o fogão solar. Essa tecnologia, como o próprio nome indica, utiliza a radiação solar como energia térmica e assim realiza a cocção de alimentos. Além disso, evita a disputa pela extração de lenha pelos moradores locais, a desertificação ocasionada da extração em excesso e os riscos que podem trazer à saúde e ainda pode ser amplamente utilizada pela população de baixa renda que não tem condições de utilizar as novas tecnologias a preço de mercado (RAMOS FILHO, 2011).

Visando contribuir com a redução dos impactos ambientais do uso da lenha, bem como impulsionar o uso de uma tecnologia utilizando-se da radiação solar, sendo a mesma abundante na terra e sem nenhum custo e repercussão negativa em seu uso, o presente trabalho propõe a construção de um fogão solar através do aproveitamento de materiais de baixo custo e materiais reutilizáveis, tais como papel alumínio, caixas tetra pak e caixas de papelão.

Os objetivos do presente trabalho podem ser classificados em geral e específicos; Geral: Construir e analisar o desempenho e viabilidade de um forno solar a baixo custo do tipo caixa na cidade de Mossoró/RN e Específicos: Buscar processos de montagem de fogões solares do tipo caixa; Selecionar materiais para a construção do protótipo, visando a utilização de materiais reutilizáveis e de baixo custo e Realizar ensaios para verificar e analisar o desempenho e viabilidade do protótipo desenvolvido.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 2. Metodologia

### Caracterização da panela e placa de alumínio

O recipiente usado como absorvedor de radiação foi uma panela de alumínio, essa associada a uma placa, também de alumínio, que fica abaixo da panela aumentando a área de captação de radiação para assim melhorar o desempenho do protótipo. A panela de alumínio possui 20 cm de diâmetro e 9 cm de altura e com área da superfície de 0,125 m<sup>2</sup>. As dimensões da placa de alumínio são 32,5 cm de comprimento e 21 cm de largura com área de 0,07 m<sup>2</sup>.

### Caixa interna

Partindo da premissa do projeto ser de baixo custo, para esta etapa inicial do projeto, ou seja, a construção da caixa interna do fogão solar, foram utilizadas embalagens do tipo tetra pak reaproveitadas, por ser um material de fácil acesso e que tem por funcionalidade o isolamento térmico para conservação dos alimentos nela contida. As dimensões da caixa interna foram determinadas a partir da caixa externa, selecionada previamente e constituída de papelão, e possui 53 cm de comprimento, 38 cm de largura e 31 cm de altura. Logo, a caixa interna do fogão solar possui 43 cm de comprimento, 28 cm de largura e 26 cm de altura. As embalagens tetra pak foram recortadas com os devidos materiais e segurança, em formatos retangulares com 28 cm de comprimento e 20 cm de largura. Uma vez cortadas tais caixas foram coladas com cola branca para madeira já que outros tipos foram inviáveis para a isso, e então cortadas novamente no tamanho indicado do projeto. Por fim, com a parte inferior e as laterais finalizadas, essas foram coladas em sua forma final, configurando a caixa interna do fogão solar.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 1.1. Fogão solar

Após a construção da caixa interna, foi iniciada a montagem do fogão solar. A caixa externa foi utilizada como base, e entre as caixas externa e interna, que serão sobrepostas, foi inserido placas de isopor, utilizado como isolante térmico no sistema.

Concluída a etapa de inserção do isolante térmico no fundo da caixa externa, aplicou-se o isolante nas laterais, no caso, entre as caixas, preenchendo-as e isolando-as. Para finalizar a montagem do fogão solar, foi inserida uma tampa de vidro com 5mm de espessura, 44 cm de comprimento e 29 cm de largura. Para concluir o protótipo proposto, o passo seguinte refere-se à confecção dos concentradores, como mostra a seção 2.4.

## 1.2. Concentradores

Na construção dos concentradores foram utilizadas as partes inferiores de duas caixas iguais a caixa externa, ou seja, 53 cm de comprimento, 38 cm de largura. Essas placas foram cobertas com papel alumínio e fixadas a um ângulo de 90° da superfície do fogão, para serem utilizadas como concentradoras de radiação solar.

## 1.3. Instrumentos de medição e pontos de coleta

Com o protótipo do fogão solar finalizado, é preciso colocá-lo em funcionamento para a realização dos ensaios, de forma a analisar seu funcionamento na prática e levantar os dados para uma posterior análise térmica do protótipo. Para obtenção dos dados do sistema serão necessários equipamentos para a medição de temperatura e radiação solar, que são os principais parâmetros para a avaliação do desempenho do fogão solar.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



As medições de temperatura serão realizadas através de um termômetro digital com terminais de um termopar do tipo K conectado ao mesmo. O termômetro digital utilizado é do fabricante INSTRUTHERM, modelo TH-1300. Nos ensaios da temperatura do fogão solar a temperatura foi medida em pontos estratégicos para a obtenção de dados pertinentes para indicar sua viabilidade. Tais medidas sendo a temperatura ambiente, a temperatura no interior do fogão, a temperatura na superfície da panela e a temperatura no interior da panela, para tais medições foi necessário abrir o sistema acarretando em perdas de calor, influenciando assim o desempenho do sistema.

As medições da radiação solar, parâmetro que influencia diretamente o desempenho e balanço de potência do protótipo, foram coletadas a partir de três pontos, a radiação direta medida obtida na superfície do vidro, e a radiação refletida pôr os dois concentradores do protótipo. Essas medições foram coletadas com medidor de radiação portátil, fabricado pela empresa INSTRUTHERM, modelo MES-100.

## 1.1 Balanço de potência do fogão solar

A potência total que entra no fogão solar provem de duas fontes: a radiação solar global que incide diretamente na cobertura de vidro do fogão, e a radiação refletida pelos concentradores localizados nas laterais do fogão. De acordo com VARELA (2013) temos as equações 2.1 a 2.9.

### 1.1.1 Potência estimada que entra no fogão solar

$$P_{ef} = P_g + P_{rc} \quad (2.1)$$

Sendo:

$P_{ef}$  = Potência total que entra no fogão solar (W);

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



$P_g$  = Potência da radiação global que incide diretamente no fogão solar (W);

$P_{rc}$  = Potência refletida pelos concentradores no fogão solar (W).

Para o cálculo das potências de entrada usamos as Equações 2.2 e 2.3.

$$P_g = I_g \times \tau_v \times A_v \quad (2.2)$$

$$P_{rc} = I_r \times \rho_c \times \tau_v \times A_c \quad (2.3)$$

Sendo:

$I_g$  = Radiação instantânea global média (W/m<sup>2</sup>);

$I_r$  = Radiação instantânea refletida pelo concentrador média (W/ m<sup>2</sup>);

$\rho_c$  = Refletividade dos concentradores;

$\tau_v$  = Transmissividade do vidro;

$A_v$  = Área do vidro (m<sup>2</sup>);

$A_c$  = Área dos concentradores (m<sup>2</sup>).

## 1.1.2 Potência estimada total que chega na tampa da panela

A potência da radiação solar que chega a tampa da panela possui uma relação direta com a área da mesma, as Equações 2.4, 2.5 e 2.6 são usadas para obter a potência total que chega a tampa da panela.

$$P_{tp} = P_{gtp} + P_{rctp} \quad (2.4)$$

Onde:

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



$$P_{gtp} = P_g \left( \frac{A_{tp}}{A_v} \right) \quad (2.5)$$

$$P_{rctp} = P_{rc} \left( \frac{A_{tp}}{A_v} \right) \quad (2.6)$$

Sendo:

$P_{tp}$  = Potência total que chega a tampa da panela (W);

$P_{gtp}$  = Potência global que chega na tampa da panela (W);

$P_{rctp}$  = Potência refletida pelos concentradores que chega na tampa da panela (W);

$P_g$  = Potência da radiação global que incide diretamente no fogão solar (W);

$P_{rc}$  = Potência refletida pelos concentradores no fogão solar (W);

$A_v$  = Área do vidro (m<sup>2</sup>);

$A_{tp}$  = Área da tampa da panela (m<sup>2</sup>).

### 1.1.3 Potência estimada absorvida pela panela

A potência que a panela pode absorver irá variar dependendo de sua absorvidade, que varia de acordo com a coloração da panela. A Equação 2.7 indica o papel da absorvidade da potência que a panela absorve.

$$P_{abs} = P_{tp} a_{pn} \quad (2.7)$$

Sendo:

$P_{abs}$  = Potência absorvida pela tampa da panela (W);

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



$P_{tp}$  = Potência total que chega a tampa da panela (W);

$a_{pn}$  = Absortividade da panela.

## 1.1.4 Potência perdida estimada pelo fogão solar

A potência perdida pelo fogão solar pode ser determinada pela diferença entre a potência total que entra no fogão solar e a potência absorvida pela panela como mostra a Equação 2.8.

$$P_p = P_{ef} - P_{abs} \quad (2.8)$$

Sendo:

$P_p$  = Potência perdida pelo fogão solar (W);

$P_{ef}$  = Potência total que entra no fogão solar (W);

$P_{abs}$  = Potência absorvida pela tampa da panela (W).

## 1.1.5 Rendimento interno estimado do fogão solar

O rendimento interno do fogão solar é dado pela relação entre a potência total que entra no fogão e a potência absorvida pela panela indicada na Equação 2.9.

$$R_{ef} = \left( \frac{P_{abs}}{P_{ef}} \right) \times 100 \quad (2.9)$$

Sendo:

$R_{ef}$  = Rendimento interno do fogão solar (%);

$P_{ef}$  = Potência total que entra no fogão solar (W);

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



$P_{\text{abs}}$  = Potência absorvida pela tampa da panela (W).

Com o local determinado, equipamentos em mãos e parâmetros térmicos necessários definidos, o capítulo 3 utilizará tais definições nas análises do fogão solar do tipo caixa estudado.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Cálculo de parâmetros térmicos

Utilizando as equações apresentadas no item 2.6, serão calculados os parâmetros térmicos utilizados para identificar a eficiência e desempenho do fogão solar para as medições no interior do fogão foi necessário abrir o sistema acarretando na perda de calor e diminuição de desempenho mesmo sendo por um curto período de tempo.

Na aplicação das equações foi utilizado um valor médio dos dados obtidos. De forma que o valor médio da radiação instantânea global foi de  $980 \text{ W/m}^2$  e as radiações instantâneas médias de cada concentrador foram de  $722 \text{ W/m}^2$  e  $729 \text{ W/m}^2$ . A área do vidro foi obtida a partir e das dimensões da caixa interna (43 cm de comprimento e 28 cm de largura) com valor de  $0,12 \text{ m}^2$ . A área dos concentradores  $0,2 \text{ m}^2$ , tendo essas áreas iguais

A Transmissividade do vidro com espessura de 5 mm é dado por  $\tau_v = 0,885$  (VIEIRA, 2011) e a refletância do papel alumínio  $\rho_c = 0,787$  (JANNECK et al, 2008). A partir desses dados os cálculos foram feitos e a partir de seus resultados foi montada a Tabela 1.

Tabela 1. Potências Estimadas Calculadas

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Potência estimada	Símbolo	Valor
Potência da radiação global que incide diretamente no fogão solar	$P_g$	104 W
Potência refletida pelos concentrador 1 no fogão solar	$P_{r1}$	100,6 W
Potência refletida pelos concentrador 2 no fogão solar	$P_{r2}$	101,4 W
Potência total que entra no fogão solar	$P_{ef}$	306 W
Potência total que chega a tampa da panela	$P_{tp}$	178,5 W
Potência absorvida pela tampa da panela	$P_{abs}$	160,6 W
Potência perdida pelo fogão solar	$P_p$	145,4 W
Rendimento interno do fogão solar	$R_{ef}$	52,5%

Fonte: MOURA (2016)

### 3.2. Análise do desempenho do fogão

O sistema foi ensaiado em três dias, com os resultados apresentados na Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4. Os ensaios foram realizados no período de 9:00 às 15:00 em três dias distintos no mês de abril de 2016.

Tabela 2. Dados obtidos no primeiro dia de ensaio

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Hora	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Interior da Panela (°C)	Radiação Global (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do Concentrador 1 (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do Concentrador 2 (W/m <sup>2</sup> )
09:00	25,2	19,9	1080	890	915
10:00	27,7	36	620	460	447
11:00	29,3	40,8	1210	990	1060
12:00	28	50	720	600	530
13:00	32,2	54,5	1230	1060	1090
<b>14:00</b>	<b>35</b>	<b>55,1</b>	<b>1250</b>	<b>820</b>	<b>830</b>
15:00	27,8	50,4	1090	598	710
<b>Média</b>	<b>29,3</b>	<b>43,8</b>	<b>1028,6</b>	<b>774</b>	<b>797,4</b>

Fonte: MOURA (2016)

Tabela 3. Dados obtidos no segundo dia de ensaio

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Hora	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Interior da Panela (°C)	Radiação Global (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do Concentrador 1 (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do Concentrador 2 (W/m <sup>2</sup> )
09:00	26,7	22,6	1350	950	940
10:00	33,2	47,2	1335	1005	1030
11:00	25	48,1	273	207	199
<b>12:00</b>	<b>29,9</b>	<b>50,4</b>	<b>350</b>	<b>199</b>	<b>270</b>
13:00	31,6	42,7	530	380	415
14:00	24,5	32,2	232	180	192
15:00	-	-	-	-	-
<b>Média</b>	<b>28,48</b>	<b>40,5</b>	<b>678,3</b>	<b>486,8</b>	<b>507,6</b>

Fonte: MOURA (2016)

Tabela 4. Dados obtidos no terceiro dia de ensaio

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Hora	Temperatura Ambiente (°C)	Temperatura Interior da Panela (°C)	Radiação Global (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do Concentrador 1 (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do Concentrador 2 (W/m <sup>2</sup> )
09:00	28	20,3	1290	912	855
10:00	34,7	54,2	1370	1070	1003
11:00	37,2	59,4	1378	1063	1107
<b>12:00</b>	<b>39,5</b>	<b>59,8</b>	<b>1405</b>	<b>1137</b>	<b>1100</b>
13:00	37,3	57,9	1460	1040	1089
14:00	23,6	50,7	160,1	116,4	127,3
15:00	29,7	49,8	1248	760	660
<b>Média</b>	<b>32,8</b>	<b>50,3</b>	<b>1187,3</b>	<b>722,6</b>	<b>847,7</b>

Fonte: MOURA (2016)

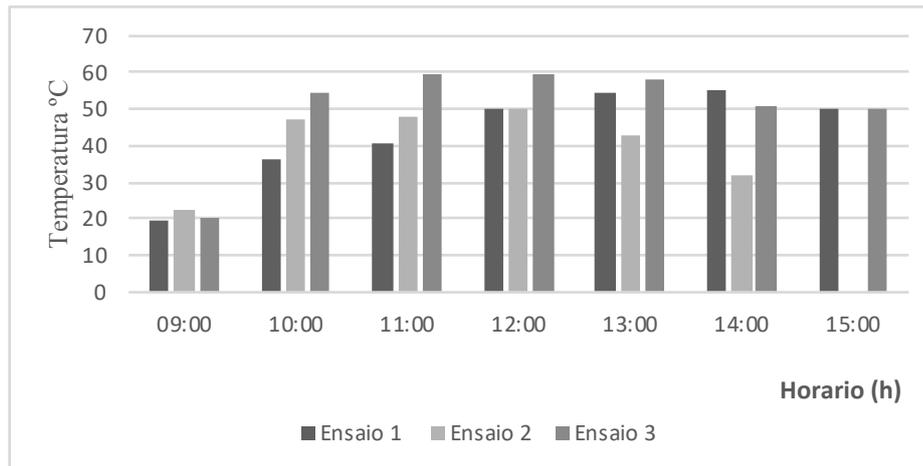
De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 1, 2 e 3 é possível identificar que a temperatura máxima foi atingida no terceiro dia de ensaios com valor em torno de 60°C, no horário das 12:00h com uma radiação instantânea global de aproximadamente 1400 W/m<sup>2</sup> e radiação dos concentradores 1 e 2, respectivamente 1137 W/m<sup>2</sup> e 1100 W/m<sup>2</sup>.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Figura 1 - Comportamento das Temperatura no Interior da panela



Fonte: MOURA (2016).

Como pode ser visto na Figura 1, verifica-se que há variação das temperaturas no interior da panela entre ensaios, essas variações são devido às condições climáticas. Em todos os ensaios houve a presença esporádica de nuvens, sendo que para o primeiro e segundo dias, a nebulosidade era quase total possuindo apenas pequenos espaços de tempo com radiação direta do sol, de forma que a radiação incidida no fogão solar era bem menor que em um dia ensolarado. Também é possível perceber que no segundo dia de ensaio não houve medidas para o horário de 15:00h, isso ocorreu devido à neste horário ter começado a precipitar, logo comprometendo as medidas no horário de 15:00.

### 3.2.1. Desempenho na cocção de alimentos

Um dos testes mais comuns na literatura de fogões solares é o teste da ebulição da água. Que consiste em colocar uma quantidade fixa de água no fogão para verificar em quanto tempo está entra em estado de ebulição.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



No ensaio para o aquecimento de água nesse sistema foi utilizado 0,5 litros de água recém tirada da encanação, porém o sistema não conseguiu alcançar a temperatura de ebulição da água, ou seja 100°C, logo foi analisado qual a temperatura máxima o sistema poderia chegar. A Tabela 5 mostra o gráfico identificando a temperatura da água no intervalo de tempo do ensaio onde a sua temperatura máxima foi às 14:00h com valor de aproximadamente 55° C. Como não foi possível chegar a temperatura de ebulição, a título de informação foi feita a medida do volume da água ao final do ensaio, a qual possuía 490 ml de volume, mostrando que o sistema mesmo não chegando ao ponto de ebulição da água ainda pode ser usado como evaporador de água.

Tabela 5. Ensaio de ebulição da água

Hora	Temperatura Ambiente	Temperatura da Água	Radiação Global	Radiação do Concentrador 1	Radiação do Concentrador 2
09:00	25,2	19.9	1080	890	915
10:00	27,7	36	620	460	447
11:00	29,3	40.8	1210	990	1060
12:00	28	50	720	600	530
13:00	32,2	54.5	1230	1060	1090
<b>14:00</b>	<b>35</b>	<b>55.1</b>	<b>1250</b>	<b>820</b>	<b>830</b>
15:00	27,8	50.4	1090	598	710

Fonte: Dados da pesquisa (2016)

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



---

### 3.2.2. Investimento necessário para a construção do protótipo

A fim de verificar a real funcionalidade do fogão solar a baixo custo do tipo caixa construído, é necessário testar o sistema na cocção de alimentos comprovando assim seu desempenho em cozinhar alimentos em tempo satisfatório.

O teste para o cozimento do arroz foi realizado colocando-se primeiramente 400ml de água para aquecer durante uma hora. Posteriormente, foram inseridos 200 gramas de arroz para iniciar o período de cozimento. O cozimento foi observado em um período de 10 em 10 minutos e verificou-se que o arroz estava devidamente cozido em 50 minutos sendo este período de 12:00 às 12:50 horas.

Com o procedimento semelhante ao anterior foi colocada a água para aquecer durante uma hora antes de se colocar o alimento para cozimento. Foram colocados 100ml de água e após seu aquecimento, foram inseridos 100g de frango. Assim como no cozimento do arroz, houve uma observação do processo em um período de 10 em 10 minutos, e após o período de uma hora foi observado o devido cozimento sendo este período de 12:00 às 13:00 horas.

Vale salientar que todos os ensaios para o cozimento foram feitos com altos níveis de nebulosidade onde a radiação instantânea global média foi de 1190 W/m<sup>2</sup> para o ensaio do cozimento do arroz; e de 680 W/m<sup>2</sup> para o cozimento do frango, respectivamente. Tendo em vista a estrutura simples do fogão e seus materiais constituintes é possível confirmar a viabilidade do fogão em análise para o cozimento de porções médias de alimento.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



### 3.2.3. Comparação com fogões da literatura

Ao comparar o fogão solar em análise com alguns fogões da literatura pode-se perceber que seu desempenho é menor em relação aos fogões de ARAÚJO (2015), GOMES (2009) e VARELA (2013).

Por exemplo, quando comparado com o fogão solar a baixo do tipo caixa de ARAÚJO (2015), fogão que possuía aspectos semelhantes ao fogão em estudo, atingiu uma temperatura máxima de 72°C, enquanto o fogão em análise alcançou aproximadamente 60°C. Os aspectos norteadores entre o sistema em estudo e sistema de ARAÚJO (2015) é o uso de espelhos como concentrador e o uso de uma caixa de papelão com uma camada de papel alumínio como caixa interna.

Quando comparado aos fogões solares de GOMES (2009) e VARELA (2013) que atingiram temperatura máxima de 110°C e 109°C, respectivamente, percebe-se de imediato que se trata de sistemas muito diferentes, onde em GOMES (2009) e VARELA (2013) há utilização do conceito de concentração por foco em fogões solares do tipo caixa de forma a aumentar o desempenho do sistema. A Tabela 6 mostra uma comparação geral entre sistemas mencionados.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Tabela 6. Comparação do fogão solar em estudo com fogões da literatura.

	Temperatura máxima na panela (°C)	Radiação Instantânea Global (W/m <sup>2</sup> )	Radiação do concentradores (W/m <sup>2</sup> )
ARAÚJO (2015)	72	867	-
GOMES (2009)	110	770	624
VARELA (2013)	109	803	679,2
<b>MOURA (2016)</b>	<b>60</b>	<b>980</b>	<b>725</b>

Fonte: MOURA (2016)

Ao observar a Tabela 6 podemos observar que mesmo o protótipo em estudo possuindo níveis de radiação superiores seu desempenho foi menor, isso é dado a partir de vários fatores como o nível de nebulosidade alto nos dias de ensaio onde entre o período de tempo entre as medidas se observava um baixo nível de radiação, ou seu método construtivo podendo em algum passo de sua confecção ocorrido algum erro, ou ainda a perda de calor devido ao método de retirada das medidas onde por breves momentos era necessário abrir o sistema.

### 3.2.4. Comparação com fogões da literatura

A premissa do protótipo construído era o mesmo ser constituído de materiais reutilizáveis como as caixas de papelão e as caixas tetra pak. Porém, todo projeto exige investimentos, conforme mostra a Tabela 7.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Tabela 7. Preço dos Materiais Utilizados

	Preço Unidade (R\$)	Preço Total (R\$)
Papel Alumínio	4,50	4,50
Tinta cor Preta Fosca Spray	8,00	8,00
Isopor 0,45m <sup>2</sup>	3,50	10,50
Cola Branca Para Madeira	5,00	5,00
Vidro	15,00	15,00
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>43,00</b>

Fonte: MOURA (2016). Nota: Não foram inseridos aqui os valores dos materiais doados e reaproveitados.

Comparando-se o custo da confecção do fogão solar proposto, como mostrado na Tabela 6, com outros fogões da literatura pode-se observar que o fogão em análise possui um custo benefício alto, sendo capaz de realizar o cozimento de diversos alimentos em um período de tempo viável possuindo custo de produção baixo. Quando comparado o custo de confecção do fogão solar proposto com o fogão solar desenvolvido por ARAÚJO (2015) percebe-se que esses possuem características semelhantes possuindo uma diferença de temperatura máxima de 22°C, mas uma diferença perceptiva em seu custo, enquanto a construção do fogão solar de baixo custo do tipo caixa de ARAÚJO (2015) foi de aproximadamente R\$ 110,00 o custo para o fogão solar em análise foi de R\$ 43,00. Ao comparar o preço do fogão solar analisado com os preços de fogões convencionais de mesma capacidade, geralmente fogões do tipo camping, possuem preços variados de R\$ 45,00 a R\$ 70,00 dependendo de seu combustível e mobilidade.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 4. Conclusão

Conforme definido nos objetivos do presente artigo, foi confeccionado um sistema de fogão solar, do tipo caixa, a partir de materiais reutilizáveis e de baixo custo de aquisição, realizando posteriormente uma análise térmica e de desempenho em vários testes. Após as análises, foi realizada uma comparação com sistemas de fogões solares existentes na literatura.

Os resultados dos parâmetros térmicos calculados mostraram um bom potencial para o modelo proposto, apresentando níveis aceitáveis de potência absorvida, mesmo tendo desempenho térmico inferior a outros modelos desenvolvidos. O local de estudo apresenta uma vantagem por ter uma elevada incidência de radiação solar com média de  $980 \text{ W/m}^2$  valor esse obtido nos dias de ensaio que possuíam níveis altos de nebulosidade, mesmo assim contribuindo fortemente para os resultados obtidos.

O teste para verificar o tempo de ebulição foi realizado, porém o fogão analisado não conseguiu chegar a temperatura de ebulição chegando ao máximo a  $60^\circ\text{C}$ , mas mesmo não atingindo a temperatura de ebulição, o sistema ainda possui um bom potencial térmico para a cocção de alimentos.

Para a cocção de alimentos, finalidade principal de um fogão solar, o sistema apresentou resultados satisfatórios, utilizando de 50 e 60 minutos para cozinhar alimentos como arroz e frango, respectivamente. No geral mesmo apresentando uma temperatura máxima menor quando comparado a outros fogões solares estudados na literatura, o fogão solar do tipo caixa construído se mostra viável devido ao seu baixo custo e simples uso. Resumidamente, o fogão solar aqui proposto pode ser utilizado em comunidades rurais como substituto de fogões a lenha, ainda hoje utilizados ou como complemento aos fogões convencionais na zona urbana, no caso, em Mossoró/RN também, visando a redução de gastos com gás de cozinha, e mostrando-

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



se assim uma tecnologia que vai de encontro ao conceito de desenvolvimento sustentável, pois o seu funcionamento não emite poluentes ao meio ambiente.

## 5. Referências

ARAÚJO, M. R. S. S. **Construção e Análise do Desempenho de um Fogão Solar de Baixo Custo Tipo Caixa na Cidade de Mossoró/RN**. TCC (Graduação) - Curso Bacharelado em Ciência e Tecnologia. Universidade Federal Rural do Semi-Árido. Mossoró, 2015.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional 2015**. Ano base 2014. Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <[https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final\\_2015\\_Web.pdf](https://ben.epe.gov.br/downloads/S%C3%ADntese%20do%20Relat%C3%B3rio%20Final_2015_Web.pdf)>. Acesso em: 26 mar. 2016.

GOMES, J. W. **Construção e Análise de Desempenho de um Forno/Fogão Solar Tipo Caixa Construído a Partir de uma Sucata de Pneu**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2009.

JANNECK, M.; MOSES, W. W. **Optical Reflectance Measurements for Commonly Used Reflectors**. IEEE Transactions On Nuclear Science, vol 55, no. 4, pp 2432-2437, 2008.

LION FILHO, C. A. P. Q. **Construção e Análise de Desempenho de um Fogão Solar à**

**Concentração Utilizando Dois Focos para Cozimento Direto** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica. Universidade do Estado do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



MOURA, J. L. C. J. **Construção e Análise do Desempenho e Viabilidade de um Fogão Solar do Tipo Caixa de Baixo Custo.** TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

RAMOS FILHO, R. E. B. **Análise de Desempenho de um Fogão Solar Construído a Partir de Sucatas de Antena de TV.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2011.

VIEIRA, S. G. **Obtenção, Caracterização e Aplicação de uma Nova Superfície Seletiva Para Coletores Solares Térmicos.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2011.

VARELA, P. H. A. **Viabilidade Térmica de um Forno Solar Fabricado com Sucatas de Pneus.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2013.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## DESTILADOR SOLAR DE BAIXO CUSTO PARA USO DIDÁTICO

Élida Djéssica Fernandes Morais<sup>5</sup>

Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra<sup>6</sup>

### Resumo

A disponibilidade da energia solar possibilita, de forma sustentável, o seu aproveitamento para a melhoria do conforto e necessidades da sociedade. Uma destas melhorias é o uso de destiladores solares, que por meio da radiação proveniente do sol, proporcionam a potabilidade da água. O objetivo do estudo tem por finalidade a aplicação didática do protótipo de destilação solar em escolas de ensino médio da rede pública, no município de Mossoró/RN, com o intuito de disseminar sobre o funcionamento e a importância da tecnologia de destilação solar em lugares de difícil acesso à água potável. O destilador solar construído, tem basicamente, como configuração, uma inclinação com cobertura de vidro com 4 mm de espessura, suporte de madeira e uma fôrma de alumínio de 30 x 20 x 2,5 cm. Um questionário foi elaborado para analisar a aceitação e compreensão de uma amostra de alunos em escolas públicas de ensino médio no município de Mossoró/RN, sobre a técnica de destilação solar. Verificou-se que 90% dos alunos entrevistados desconheciam a tecnologia de destilação solar. O protótipo construído possibilitou que os alunos entrevistados compreendessem a técnica de destilação solar.

**Palavras-chaves:** Energia solar. Destilação solar. Aplicação didática.

### Abstract

---

<sup>5</sup> Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA.

<sup>6</sup> Programa de Pós-Graduação em Sistemas de Comunicação e Automação, Engenharia de Energia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



The availability of the solar energy, sustainably, can be used to improve the comfort and needs of the society. One of these improvements is the use of solar stills, that by the solar radiations, provide the potability of the water. The objective has as goal the didactic application of the prototype of solar still in public high schools in Mossoró/RN county, in order to disseminate about how it works and the importance of the solar still's technology in locations with difficult access to potable water. The solar still constructed, has basically, as configuration, an inclination with glass cover with 4mm thick, wood support and an aluminum pan with dimensions 30 x 20 x 2,5cm. A quiz was made to analyzes the acceptance and understanding of a student's sample in public high schools in Mossoró/RN county, about the solar still technique. It was found that 90% of the students interviewed unknown the solar still technology. The prototype built enabled the students interviewed understand the solar still technique.

**Key Words:** Solar energy. Still technique. Didactic application.

## 1. Introdução

O crescimento demográfico com o passar dos anos acarreta em um maior consumo de água potável. Estima-se que 3% dos 1,37 bilhões de Km<sup>3</sup> da água presente no planeta seja constituído por água doce, onde esta se apresenta desigualmente distribuída no mundo. Além da distribuição desigual da água potável, alguns fatores colaboram para o seu difícil acesso, como o desperdício e a poluição dos recursos hídricos. (LUCA, 2012)

A aplicação da energia solar pode minimizar o problema da dificuldade de acesso a água potável. Os destiladores solares são dispositivos que usam da energia solar para dessalinizar a água salobra, como também purificar a água contaminada.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



A energia solar aquece a água presente no destilador solar com o intuito de que ocorra a evaporação e condensação da água no próprio dispositivo.

De acordo com Paiva (2012), a água salobra presente em muitas regiões do planeta pode apresentar uma concentração de um a dez gramas de sais por litro. Dessa forma, a dessalinização por meio de destiladores solares, que é um processo físico-químico de retirada de sais, minerais e até contaminações da água, se torna uma alternativa de solução para o problema de escassez da água doce em muitas regiões áridas.

Bezerra (2001) ressalta a utilização de destiladores solares como aplicação bastante promissora da energia solar, principalmente em regiões não urbanizadas e áridas, devido ao grande potencial de radiação do sol. Segundo Cabral et al. (2012) a dessalinização solar, apesar de se tratar de uma antiga forma de aproveitamento da energia solar, ainda apresenta um desconhecimento acadêmico e social. Formoso (2010) também destaca a importância da dessalinização solar na educação, com o intuito de difundir o interesse e preocupação entre os cidadãos sobre o desafio da escassez da água.

Maluf (2005), por exemplo, retrata que para a destilação solar ser aceita em larga escala é necessário que haja uma conscientização entre as pessoas de que a destilação solar é, de fato, uma técnica que pode vir a minimizar os problemas de dificuldade de acesso à água potável, mas para isso tal conscientização deve ser feita no âmbito escolar, seja em educação básica ou em universidades, como também através dos diversos meios de divulgação. Dessa forma, se evidencia e se valida a difusão desse conhecimento de forma didática em escolas. Sendo assim, o objetivo do presente trabalho é confeccionar um protótipo de destilação solar de baixo custo para utilização didática em escolas públicas de ensino médio no município de

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Mossoró/RN. A utilização didática do protótipo de destilação solar tem o intuito de verificar o grau de aceitação e compreensão da tecnologia proposta.

## 2. Metodologia

### .1 Materiais utilizados na confecção do protótipo de destilador solar

O protótipo de destilador solar proposto utilizou como base o trabalho de Cabral et al. (2012). O protótipo de destilação solar foi construído de forma simples e prática, utilizando materiais de baixo custo. O sistema se trata de um destilador solar convencional *single slope*, ou seja, com apenas uma inclinação, pois dessa forma a montagem se torna prática e fácil. Sendo assim, o protótipo foi confeccionado em uma escala menor que os destiladores convencionais.

O suporte do protótipo foi confeccionado de madeira reaproveitada de serraria adaptada as dimensões do tanque, que no caso, apresenta as seguintes dimensões internas, a saber: 22cm de largura, 32cm de comprimento, altura frontal de 7cm e altura posterior de 13cm (Figura 1). As laterais possuem diagonais com  $15^{\circ 7}$  de inclinação para encaixe da cobertura na parte superior. Além de encaixar a cobertura, tais diagonais, também tem a finalidade de encaixar o tanque e de escoamento do sistema. As escolhas das dimensões laterais e suas devidas alturas levou em consideração a distância entre a cobertura e a superfície da água, visando não ultrapassar 7cm, de modo que não haja perdas térmicas por convecção e assim opere com maior eficiência (BEZERRA, 2004).

---

<sup>7</sup> A inclinação do suporte foi feita usando relações trigonométricas com as medidas internas das laterais.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Figura 1 - Suporte do protótipo de destilador solar



Fonte: MORAIS, 2016.

O tanque do sistema se baseia em uma fôrma de alumínio geralmente usada para fins domésticos de cozimento de alimento. A escolha do material em alumínio se fundamentou no trabalho de Souto (2012) que verificou que o uso de materiais como alumínio ou inox na base de um destilador solar elevam a temperatura da água, acarretando em uma maior produção de água destilada. Sendo assim, pela facilidade e disponibilidade, e levando em conta que o tanque, segundo Maluf (2005) necessita ter uma profundidade entre 1,5 e 2,5cm para uma maior eficiência, optou-se por utilizar uma fôrma de alumínio com 2,5cm de profundidade, 20 cm de largura e 30 cm de comprimento.

A isolamento do sistema é necessária com o intuito de evitar perdas de calor (Maluf, 2005). Neste caso, optou-se por utilizar uma folha de isopor, com 1cm de espessura, devido seu baixo custo e pelo fato de além de isolar o sistema, se tratar de um material que possui alta resistência à absorção de água, evitando que a madeira absorva umidade. O isopor foi revestido de cola de silicone, por essa ser

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



antiaderente, na cor preta com o intuito de uma maior absorção de calor. Além disso, os locais onde existiam pequenas passagem de ar, entre a cobertura e o suporte e entre a coleta de água e o suporte, foram cobertos com cola de silicone transparente para evitar perdas de calor no interior do sistema.

A cobertura do sistema, que tem função condensadora do vapor d'água, foi confeccionada de vidro com 4mm de espessura com 22,5cm de largura e 30cm de comprimento. A literatura especifica que a cobertura necessita ser um material transparente para haver uma maior transferência de radiação solar. De acordo com Silveira (2014) a baixa condutividade térmica do vidro contribui para que o calor contido dentro do destilador não se dissipe facilmente para o exterior. Segundo Maluf (2005), os materiais plásticos apresentam um menor custo em relação ao vidro, mas se degradam facilmente em exposição à altas temperaturas. Maluf (2005) ainda retrata que, nos materiais plásticos, parte das gotas de água acabam caindo de volta para o tanque em vez de serem coletadas.

A inclinação da cobertura do protótipo de destilação foi de 15°. De acordo com Samee et al. (2005), em lugares que apresentam baixas latitudes, o valor da inclinação da cobertura de um destilador solar é determinada da seguinte maneira: soma 10° mais o valor da latitude equivalente do local. O município de Mossoró/RN apresenta uma latitude de 05° 11' 15" S, dessa forma, a inclinação aproximada para o protótipo de destilação solar é de 15°.

O material PVC com 20mm de diâmetro e 30cm de comprimento foi escolhido para utilizar na tubulação que realizará a coleta da água condensada, como também para o transporte desta para um reservatório de plástico (garrafa PET) por meio de uma mangueira. A escolha destes materiais se baseou no fato de serem os mais empregados em outros trabalhos, como o de Silveira (2014), e por possuírem fácil manutenção, não ser tóxicos ou deixar resíduos.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 2.2 Montagem do protótipo de destilador solar e ensaio de funcionamento

A montagem do sistema, como informado anteriormente, trata-se de um sistema didático, no qual o processo de construção seguiu as etapas como a pintura, passagem da água salobra, tubulação para coleta de água e encaixe da cobertura.

De posse dos materiais para a construção e com o intuito inicial do suporte de madeira ter a função de isolar o sistema, foi pintado seu interior na cor de preta para absorver melhor o calor. Porém, para haver um melhor isolamento foi adicionado o isopor revestido com cola de silicone nas paredes e isopor na base do sistema de acordo com as dimensões internas do suporte (Figura 2).

Figura 2 - Carcaça do protótipo de destilador solar



Fonte: MORAIS, 2016.

Com o intuito de absorver calor, a fôrma em alumínio, a qual possui função do tanque da água salobra, também foi pintada na cor preta.

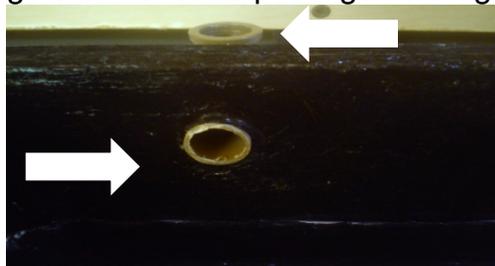
# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Foi feito um orifício na parte posterior do suporte com uma broca de furadeira para que pudesse ser inserida uma pequena canalização de PVC com uma conexão do tipo joelho, que será utilizado como o canal de passagem da água a ser tratada para o tanque, ou seja, a água que será destilada (Figura 3).

Figura 3: Canal de passagem de água



Fonte: MORAIS, 2016.

Na parte inferior das laterais do suporte foram feitos encaixes para a tubulação de PVC, de acordo com sua dimensão de 20mm de diâmetro. Nesta tubulação de PVC foi feito um corte de 1cm com o intuito de encaixar a cobertura de vidro e coletar a água destilada. Uma das extremidades foi tampada com um tampão de PVC para não haver perdas de calor, e a outra extremidade foi conectada a uma mangueira transparente (Figura 4).

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



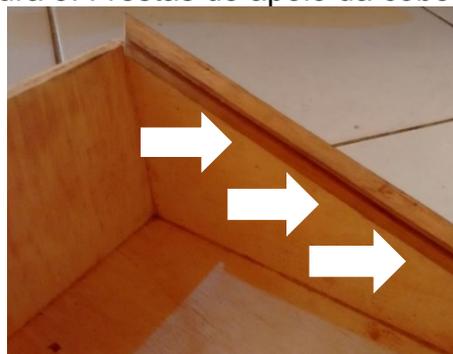
Figura 4 - Encaixe do PVC



Fonte: MORAIS, 2016.

Para encaixar a cobertura de vidro no sistema foram feitos cortes nas laterais da carcaça (Figura 5).

Figura 5: Frestas de apoio da cobertura



Fonte: MORAIS, 2016.

Após realizados os ajustes, o sistema de destilação solar foi finalizado (Figura 6).

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Figura 6: Sistema finalizado



Fonte: MORAIS, 2016.

Após a finalização de construção do protótipo de destilação solar, foi adicionado 500ml de água de rejeito salino<sup>8</sup> no sistema para validar seu funcionamento. O protótipo de destilação solar ficou exposto ao sol em um intervalo de sete horas, na UFERSA, com o intuito de destilar a água de rejeito salino<sup>9</sup>. Durante o intervalo de sete horas, foi usado um medidor de radiação com intuito de verificar a radiação global local a cada uma hora. Posteriormente, o protótipo de destilação solar foi levado para aplicação didática em escolas públicas de ensino médio no município de Mossoró/RN.

## 2.3 Aplicação didática do destilador solar

A aplicação didática do destilador solar ocorreu em três escolas de ensino médio público do município de Mossoró - RN. Inicialmente uma apresentação oral

<sup>8</sup> De acordo com Souza (2014), água de rejeito salino é uma água com concentrações de sais superiores a da água bruta a ser tratada. A água de rejeito salino geralmente se origina em processos de dessalinização por membranas, como na dessalinização por osmose reversa.

<sup>9</sup> A água de rejeito salino usada foi proveniente do destilador por osmose reversa utilizado no Programa de Pós Graduação em Manejo de Solo e Água da UFERSA.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



retratou a distribuição desigual da água potável e seu difícil acesso em comunidades rurais e/ou distantes dos pontos de consumo de água concessionária local, explicando o funcionamento dos destiladores solares para tratamento de água, salobra ou contaminada, por meio da energia solar. Em seguida, o sistema foi exposto com finalidade de ver seu processo de funcionamento *in loco*. Logo após, os alunos responderam a um questionário (*vide* Figura 7) elaborado para analisar o grau de aceitação do protótipo didático, como também com o intuito de disseminar a tecnologia de destilação solar. O questionário elaborado tomou como base o questionário desenvolvido por Bandeira (2015).

Figura 7 - Questionário elaborado

## QUESTIONÁRIO

- 1) Você conhecia a técnica de destilação solar?  
Sim ( ) Não ( )
- 2) O sistema apresentado de destilação da água salobra é de fácil compreensão?  
Sim ( ) Não ( )
- 3) Qual foi a sua impressão sobre o sistema de destilação solar demonstrado?  
Muito interessante ( ) Interessante ( ) Pouco interessante ( ) Nada interessante ( )
- 4) A técnica de destilação apresentada, em sua opinião, é adequada para ser utilizada em lugares de difícil acesso à água potável?  
Sim ( ) Não ( )
- 5) Dúvida / Sugestão / Dica?  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Fonte: MORAIS, 2016.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 3. Resultados e Discussão

### 3.1 Resultados do ensaio de funcionamento do protótipo de destilador solar

O protótipo de destilador solar produziu uma quantidade aproximada de 70ml de água destilada em um intervalo de sete horas de exposição ao sol. Dessa forma, 14% da água de rejeito salino inicial foi destilada. A radiação global média incidente no protótipo de destilação solar foi de aproximadamente  $996 \text{ W/m}^2$ . Durante o ensaio de funcionamento, no intervalo de sete horas, houve presença de nebulosidade. Foi possível observar que a nebulosidade presente influenciou na incidência da radiação solar global (Tabela 1).

Tabela 1 – Radiação solar global

Horário	Radiação solar global ( $\text{W/m}^2$ )	Condições climáticas
09h00	904,2	Sol com nuvens
10h00	1412,0	Sol
11h00	647,1	Nublado
12h00	1084,0	Sol com nuvens
13h00	643,6	Nublado
14h00	1260,0	Sol com poucas nuvens
15h00	1017,0	Sol com nuvens
MÉDIA	995,4	-

Fonte: MORAIS, 2016.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 3.2 Resultados da análise didática

As visitas foram feitas em três escolas do município de Mossoró/RN. As escolas visitadas foram, respectivamente, em ordem de visita: Escola Estadual Aida Ramalho Cortez Pereira, Escola Estadual Professor Eliseu Viana e Escola Estadual Abel Freire Coelho. As visitas ocorreram em uma turma de 1º ano de ensino médio de cada escola. As três escolas somaram um total de 71 alunos entrevistados com idade média de aproximadamente 15 anos. Na Tabela 2 constam os resultados obtidos mediante as respostas dos alunos.

Tabela 2 - Resultado geral das três escolas visitadas

PERGUNTAS	RESULTADOS	
1) Você conhecia a técnica de destilação solar?	Sim 7	Não 64
2) O sistema apresentado de destilação de água salobra é de fácil compreensão?	Sim 71	Não 0
3) Qual foi sua impressão sobre o sistema?	Interessante 53	Pouco interessante 18
4) A técnica de destilação apresentada, em sua opinião, é adequada para ser utilizada em lugares de difícil acesso à água potável?	Sim 67	Não 4

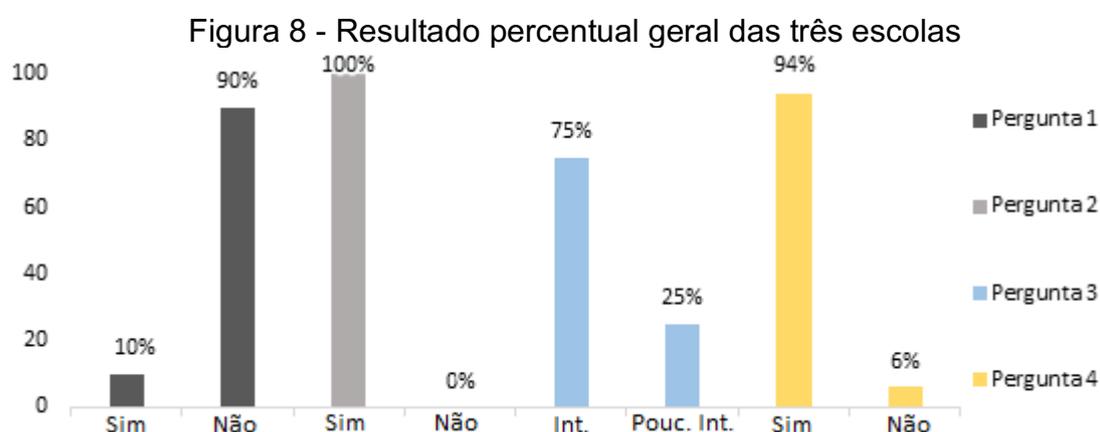
Fonte: MORAIS, 2016.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



A Figura 8 mostra os resultados das perguntas (1), (2), (3), (4) da Tabela 1 em porcentagem.



Fonte: MORAIS, 2016.

Através dos dados obtidos nas três escolas visitadas, verificou-se que a técnica de destilação solar, de fato, não é tão conhecida onde 90% deles responderam não conhecer. Em relação a compreensão do sistema apresentado, 100% dos alunos consideraram o sistema com fácil compreensão. 75% dos alunos consideraram o sistema interessante e 94% julgaram que a técnica é adequada para ser usada em lugares de difícil acesso à água potável (Figura 8).

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 4. Considerações Finais

Durante a realização do trabalho o foco principal foi o desenvolvimento de um destilador solar didático com função de disseminar a técnica de destilação solar, que embora antiga, não é tão conhecida no meio escolar, acadêmico e social. Com isso, foi necessário efetuar uma aplicação didática em escolas de nível médio na cidade de Mossoró/RN, onde foi analisada a receptividade e compreensão da tecnologia pelos alunos, por meio de um questionário elaborado e aplicado.

A análise didática possibilitou que uma amostra de alunos em três escolas pudessem ter seu primeiro contato com a técnica de destilação solar. Por meio do protótipo de destilação solar construído, os alunos puderam compreender a aplicação da energia solar para o processo de destilação da água.

Em relação ao quinto item do questionário, que se refere à dúvidas, sugestões e dicas, na Escola Estadual Aida Ramalho Cortez Pereira surgiu a dúvida em relação a utilização do destilador solar em lugares rurais na atualidade e se o processo para obtenção da água destilada é lento. Dessa forma, foi explicado que a técnica é pouco utilizada em lugares rurais e que o processo de fato é lento, porém o uso de vários módulos de destiladores solares podem produzir uma quantidade considerada de água por dia. A Escola Estadual Professor Eliseu Viana demonstrou forte interesse em confeccionar um destilador solar, o que mostra e comprova o cumprimento do objetivo deste trabalho, ou seja, a idealização, confecção, demonstração e disseminação de um sistema de dessalinização solar de baixo custo didático, que possa ser reproduzido facilmente por alunos em seus âmbitos escolares. Na Escola Estadual Abel Freire Coelho houve a curiosidade do uso de um protótipo de destilação solar em fins didáticos em eventos de exposição de feiras ciências e a sugestão de apoio financeiro para confecção de destiladores solares em lugares com difícil acesso à água potável.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 5. Referências

BANDEIRA, Gabriela de Oliveira. **Sistema solar fotovoltaico didático para bombeamento de água**. 2015. 47 f. TCC (Graduação) – Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2015.

BEZERRA, A. M. (2001). **Aplicações térmicas da energia solar**. João Pessoa: Editora Universitária, 2001. 234 p.

BEZERRA, Magna Angélica dos Santos. **Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor**. 2004, 106 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

CABRAL, Isabele de Souza. GONÇALVES, Antônio Carlos. TORRES, Adriana Cazalgrandi. ROCHA, Pedro Senna. **Destilador solar como alternativa ambiental**. Disponível em: < [www.faeterj-caxias.net/revista/index.php/edutec/article/download/176/183](http://www.faeterj-caxias.net/revista/index.php/edutec/article/download/176/183)> Acesso em: 18 jul. 2015.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



FORMOSO, Silvia Cupertino. **Sistema de tratamento de água salobra:** alternativa de combate à escassez hídrica no semi-árido sergipano. 2010. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2010.

LUCA, Rafael de. **Proposta de geração de energia e água potável para a região semi-árida do nordeste brasileiro.** 2012. 58 f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

MALUF, Alexandre Prata. **Destiladores solares no Brasil.** 2005. 39 f. Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia), Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

MORAIS, Élide Djéssica Fernandes. **Construção de um destilador solar de baixo custo para uso didático.** 2016. 65 f. TCC (Graduação)- Bacharelado em Ciências e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2016.

PAIVA, Paulo Davi Pinheiro de. **Viabilidade de uso de um destilador solar fabricado a partir de uma sucata de refrigerador.** 2012. 41 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

SAMEE, M. A.; MIRZA, U. K.; MAJEED, T., AHMAD, N. Design and performance of a

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



simple single basin solar still, Renewable and Sustainable Energy Reviews 11, p. 243–249, Islamabad, Paquistão, março, 2005.

SILVEIRA, Maria Teresa Targino Macedo. **Análise da aplicabilidade e desempenho térmico de um destilador solar em Mossoró-RN.** 2014. 68 f. TCC (Graduação) – Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

SOUTO, Erinaldo Almeida. **Influências de diferentes pisos utilizados em destilador solar sobre a produção de água potável para agricultores de base familiar do Semiárido Nordestino.** 2012. 28 f. TCC – (Graduação) Bacharelado em Agroecologia, Universidade Estadual da Paraíba, Lagoa Seca, 2012.

SOUZA, Aná Cláudia Medeiros. **Manejo integrado do rejeito da dessalinização da água salobra na agricultura.** 2014. 59 f. Dissertação (Mestrado em Manejo do solo e água), Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2014.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## **MONTAGEM, INSTALAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA CONVENCIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN**

Henrique Emanuel Andrade Castelo Branco<sup>1</sup>  
Fabiana Karla de Oliveira Martins Varella Guerra<sup>2</sup>

### **Resumo**

O presente trabalho apresenta a montagem e instalação de um Sistema de Aquecimento Solar de água do tipo convencional (SAS), e estuda a possibilidade do mesmo ser utilizado na cidade de Mossoró/RN, por seus parâmetros térmicos. Esse sistema apresenta diferentes etapas, e seu funcionamento é realizado através do regime de convecção natural. Além da construção do SAS, foi estudado o desempenho térmico do sistema de aquecimento solar, a fim de analisar o comportamento apresentado na cidade em estudo. O sistema de aquecimento solar convencional é composto por dois coletores solares de 1 m<sup>2</sup> cada, um reservatório térmico, com capacidade de 200 litros e um reservatório de água fria com capacidade de 250 litros, além das demais conexões hidráulicas e suporte estrutural para os referidos equipamentos. Para coleta de dados que avaliem os parâmetros térmicos foi implementada a automatização com sensores de temperatura e luminosidade. Foi determinado que o sistema de aquecimento solar convencional projetado apresenta altas temperaturas de saída, sendo adequado para ser utilizado na cidade de Mossoró/RN desde que aliado à um sistema de mistura de água fria com água quente produzida pelo sistema proposto, pois ultrapassou, em algumas medições, a temperatura segundo a literatura considerada adequada para banho.

**Palavras-chaves:** Energia solar. Automatização. Análise dos parâmetros térmicos.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## **Abstract**

This paper presents the assembly and installation of a solar heating water system of the conventional type (SAS), and studying the possibility of it being used in the city of Mossoro / RN, for their thermal parameters. This system has different stages, and its operation is performed through the natural convection regime. In the construction of SAS, the thermal performance of the solar heating system has been studied in order to analyze the behavior exhibited in the city study. The conventional solar heating system consists of two solar collectors 1 m<sup>2</sup> each, a thermal container with 200 liters capacity and a cold water tank with 250 liter capacity, in addition to other hydraulic connections and structural support for the said equipment. To collect data to assess the thermal parameters was implemented automation with temperature sensors and light. It was determined that the conventional solar heating system designed presents a high outlet temperatures, suitable for use in the city of Mossoró / RN provided coupled to a cold water mixing system with hot water produced by the proposed system, since it exceeded in some measurements, the temperature according to the literature considered suitable for bathing.

**Key Words:** Solar energy. Automation. Analysis of Thermal parameters.

## **1. Introdução**

A procura por fontes alternativas de energias, que apresentem uma boa proposta de diversificar e complementar a matriz energética do país traz à tona o potencial de captação de energia solar, que pode ser direcionada para diversas aplicabilidades.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



A energia solar térmica é garantida a partir de um sistema de aquecimento solar que tem a tecnologia de converter a energia solar em energia térmica, e apresenta maior difusão e aplicação no aquecimento da água.

Os principais componentes desse sistema de aquecimento solar convencional são os coletores solares e o reservatório térmico também conhecido como *boiler*. Os requisitos para o sistema de aquecimento solar (SAS) consideram a concepção, dimensionamento, arranjo hidráulico, instalação e manutenção nos quais o fluido de transporte é a água. O principal objetivo de um aquecedor solar é elevar a temperatura dos fluidos, geralmente a água, para posterior armazenamento em um reservatório térmico para que o calor absorvido seja conservado (GUERRA, 2012).

Sauer et al. (2006) afirma que a região onde a cidade de Mossoró/RN está localizada no semiárido nordestino, possui clima quente e alto índice de insolação e irradiação solar ao longo do ano, o que a torna ainda mais atrativa ao aproveitamento da energia solar.

Tendo em vista o exposto, o presente trabalho aborda as etapas de projeto, montagem e análise de desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar convencional instalado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), através do monitoramento feito com a implantação da automação de baixo custo, que além de otimizar o processo de coleta de dados, não interfere nas leituras dos parâmetros.

## 2. Metodologia

Neste capítulo serão abordadas os detalhes das etapas desde a definição do projeto, montagem e ensaios do sistema. Por fim, será mostrada a etapa de automação do sistema proposto, visando coletar os dados referentes ao desempenho térmico do mesmo.

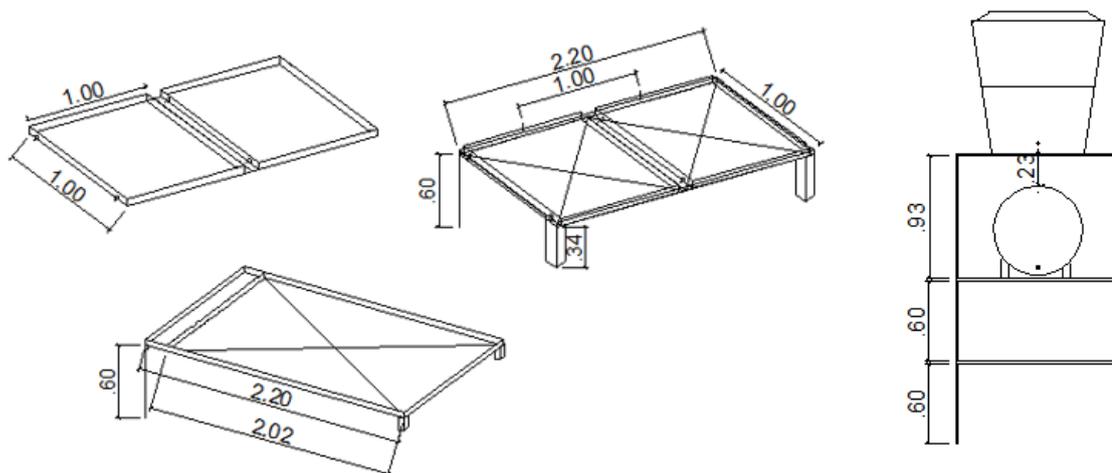
# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 2.1 Elaboração do projeto

Esta etapa, considerada a concepção do projeto, trata-se de um estudo detalhado da estrutura a ser confeccionada, que será utilizada como suporte do sistema de aquecimento solar de água do tipo convencional. A idealização desta etapa tem como meta atender a todas as medidas indicadas, tanto altura como comprimento, entre o coletor solar e reservatório térmico, de tal forma que permita e garanta o funcionamento do sistema por modo termossifão, ou seja, através de circulação natural da água. A construção do protótipo da estrutura será realizada no *software* AutoCAD. Após o dimensionamento e cotação de toda a estrutura, foi realizada a confecção da mesma. Na Figura 1 são mostradas as estruturas dos coletores e a vista lateral do sistema.



**Figura 1:** Representação dos suportes do sistema de aquecimento solar convencional

**Fonte:** BRANCO, 2015

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 2.2 Corte e solda da estrutura

Finalizada a etapa da elaboração do projeto, foi iniciada a etapa de corte e solda dos materiais. Esta etapa consiste na confecção e montagem dos suportes dos reservatórios de água quente e fria, como também dos coletores solares. Inicialmente foi realizado o corte das barras tipo cantoneira, que darão suporte para sustentação da caixa d'água fria. Estas barras serão afixadas a um suporte pré-existente que foi utilizado como base, sendo modificado de acordo com as necessidades do projeto. Posteriormente foram confeccionadas as “mãos francesas” que serão fixadas nas barras a fim de garantir sustentação e equilíbrio à estrutura, assim como realização da solda de uma barra diagonal com a mesma função. A Figura 2 mostra a realização desta etapa.



**Figura 2:** Estrutura de suporte do *boiler* e da caixa d'água

**Fonte:** BRANCO, 2015

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Finalizada a etapa de confecção da estrutura dos reservatórios, na Figura 3 são mostradas as primeiras modificações no suporte destinado ao uso dos coletores solares, que também foi reaproveitada de uma estrutura pré-existente.



**Figura 3:** Solda da estrutura do coletor solar

**Fonte:** BRANCO, 2015

Ainda sobre o suporte do coletor solar, foram realizadas alterações na estrutura pré-existente para que seja feito o encaixe de dois coletores solares, de 1 metro quadrado cada, como também visando deixá-lo em uma inclinação adequada e sugerida pela literatura, para melhor captação de energia solar.

## 2.3 Pintura

Finalizada a etapa de corte e solda das estruturas do sistema, foi realizada a pintura de tais suportes, com o intuito de melhorar o acabamento das mesmas. Nas regiões onde a caixa d'água e o *boiler* serão acoplados, teve-se como preferência o uso da tinta do tipo zarcão, na cor preta, pois suas propriedades minimizam e impedem impactos como corrosão ou ferrugem nos materiais cantoneira e aço de

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



metalon. Já para o suporte dos coletores solares, optou-se por utilizar uma tinta comum na cor amarela. A realização desta etapa pode ser vista na Figura 4.



**Figura 4:** Pintura da parte superior da estrutura

**Fonte:** BRANCO, 2015

## 2.4 Montagem das conexões do sistema

Para o encerramento da parte estrutural e realização da instalação do sistema, foi realizada a etapa de disposição e posicionamento das conexões de tubulação sendo apresentados elementos como tês, tubos, joelhos e caps (tampas), de água quente e fria em todas as partes do projeto. As conexões e tubulação foram separadas de acordo com o uso, no caso, para água quente ou fria, sendo utilizada tubulação e conexões do tipo PVC para passagem de água fria, e do tipo CPVC<sup>10</sup> para passagem de água quente.

---

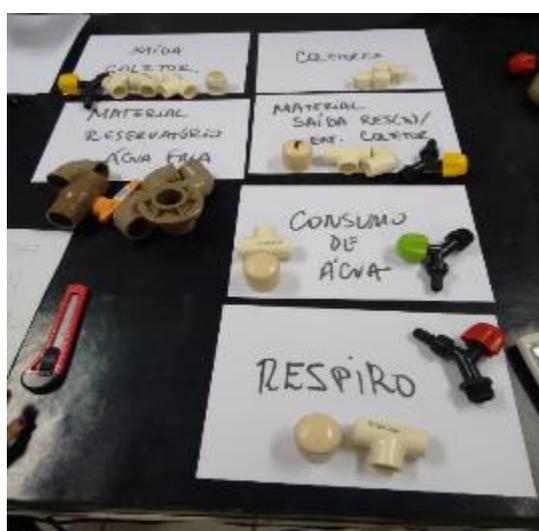
<sup>10</sup> O CPVC é um tipo de material específico para tubulação e conexões que podem suportar até 120 C.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Nesta etapa foram realizados todos os cortes e encaixes necessários de todos estes materiais, sendo as conexões e os componentes separados de acordo com as partes as quais pertencem, como pode-se observar na Figura 5.



**Figura 5:** Separação das conexões por ordem de aplicação

**Fonte:** BRANCO, 2015

## 2.5 Teste de estanqueidade

Os testes de estanqueidade do sistema de aquecimento solar do tipo convencional foram feitos sob sol pleno, durante o turno matutino, no mês de maio de 2015. Como o ponto de conexão de água fria diretamente na caixa d'água ainda não havia sido instalado, o enchimento da caixa d'água foi realizado por um processo manual, com o auxílio de mangueiras e baldes. A realização da atividade pode ser vista na Figura 6.

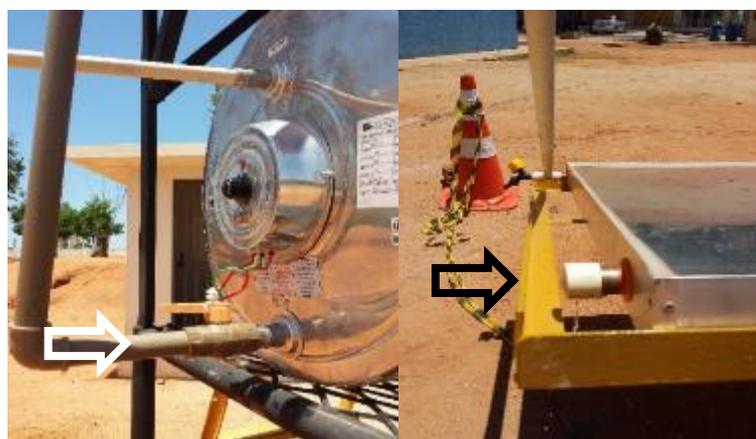
# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Figura 6:** Enchimento da caixa d'água para realização de testes de estanqueidade  
**Fonte:** BRANCO, 2015

Ao final dessa etapa, a caixa d'água ficou parcialmente cheia, possibilitando o início das análises de possíveis vazamentos de água da instalação. Verificou-se imediatamente, pontos de vazamento em todas as conexões em que os tubos se acoplavam diretamente no reservatório térmico ou aos coletores solares, ou seja, nas junções de tubos com materiais metálicos. A Figura 7 mostra alguns dos pontos em que houve vazamento.



**Figura 7:** Pontos de vazamento identificados após teste de estanqueidade

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Fonte:** BRANCO, 2015

Identificados os pontos de vazamento, os mesmos foram sanados com o uso de cola de silicone ORBIVED (resistente a altas temperaturas). Quanto a análise do funcionamento adequado da circulação de água do sistema através da circulação por termossifão, através dos pontos de vazamento foi constatado que o sistema possui uma boa circulação natural da água, e o mesmo funcionou adequadamente.

## 2.6 Automação do sistema

Finalizados os testes dos pontos de vazamento do sistema e reparando-os, o andamento do trabalho foi redirecionado para o estudo do sistema de automação, com isso foi iniciado um estudo teórico acerca da plataforma de prototipagem arduino®, plataforma a ser utilizada no projeto. Realizado o estudo teórico iniciou-se a parte prática, de familiarização com o arduino®, fazendo uso do mesmo em programas básicos e com sensores mais simples do que aqueles que serão utilizados para aquisição de dados.

Concluídos os testes tutoriais, foram iniciados os testes com os sensores a serem utilizados na aquisição de dados. Os sensores utilizados no projeto foram o DS18B20, responsável pela medição de temperatura de contato, e o DHT111, que foi utilizado para medição da temperatura ambiente e umidade. A plataforma de prototipagem utilizada para a comunicação entre o computador e os sensores foi o Arduino® Mega 2560. Utilizou-se também fiação, resistores de 4,7 K $\Omega$  e 10 K $\Omega$ , criando-se então placas de circuito impresso, uma para os sensores DS18B20 e outra para o DHT111, além de algumas conexões hidráulicas.

A opção pela confecção de placas de circuito impresso foi feita baseando-se em seu nível de confiança para a transmissão de dados, uma vez que, a montagem

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



em *proto board* é considerada uma montagem provisória, para testes, sem que haja a solda de qualquer componente.

### 3. Resultados e Discussão

Para determinar os resultados dos parâmetros térmicos da temperatura ambiente e da umidade relativa, foi utilizado o sensor DHT111 que captou de maneira eficaz todas as variações de temperatura e umidade ocorridas durante o período de medição. Foi possível concluir que a maior temperatura do dia foi de 40 °C por volta de meio dia e que a maior umidade ambiente local foi de 61% ao final da medição.

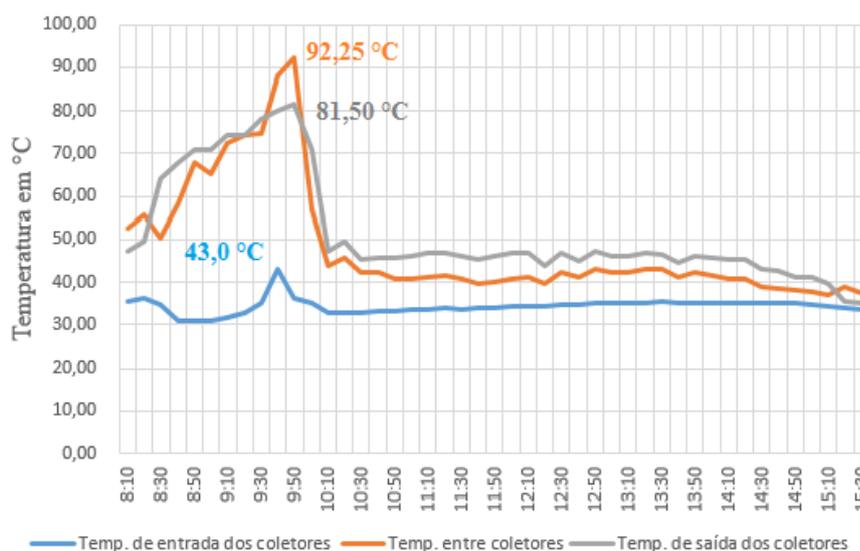
#### 3.1 Análise das temperaturas nos coletores solares

Para essa análise, foram verificadas as temperaturas em que a água atinge a entrada do coletor, temperatura entre os coletores, e saída, bem como as temperaturas encontradas no reservatório térmico, finalizando com a temperatura obtida no ponto de consumo.

A Figura 8 mostra os valores medidos da temperatura de entrada, temperatura entre coletores, e temperatura de saída. As medições realizadas mostraram-se satisfatórias, pois os valores de temperatura se comportaram como o esperado, onde  $T_{saída} > T_{entrada}$ , sendo possível comprovar a real eficiência dos coletores solares. Também é possível verificar as oscilações de temperatura no decorrer das horas do dia e encontrar o valor máximo de temperatura alcançada.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**Figura 8:** Temperaturas de entrada, entre coletores e saída de água dos coletores solares ao longo do período de medição.

**Fonte:** BRANCO, 2016

Ao se analisar a Figura 8, é possível perceber a diferença da variação de temperaturas nos primeiros horários do dia. Isso foi atribuído ao fato de que no momento inicial de ensaio, a caixa d'água encontrava-se completamente cheia no período do dia anterior ao dia de medição. Entretanto, a medida em que as horas iniciais foram passando, a partir do instante em que foi feito o ensaio do sistema, percebeu-se vazamentos nas conexões que envolviam diretamente canos CPVC ligados à encaixes em metal ou cobre, que devido a dilatação dos materiais serem diferentes em relação a exposição das condições ambientais e internas do sistema, não foi definitivamente corrigido com cola de silicone.

Com esses vazamentos, tornou-se necessário interferir no sistema por volta das 10 horas da manhã do dia do experimento, onde a caixa d'água foi novamente preenchida com água, o que ocasionou significativa perda térmica para o meio externo, evidenciada no período correspondente ao mostrado no gráfico da Figura 8.

Portanto, as maiores temperaturas encontradas no sistema foram nos momentos iniciais, onde não houve troca térmica para o meio, sendo possível alcançar

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

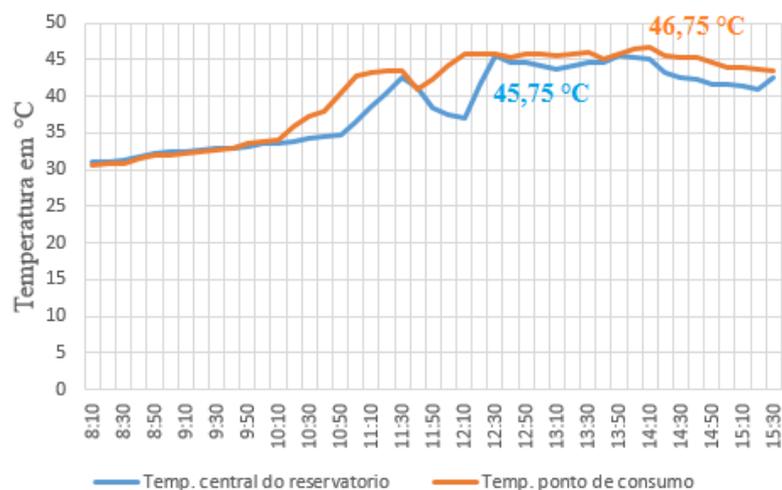
UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



até 43 °C na entrada dos coletores e temperatura de aproximadamente 93 °C na saída dos coletores solares. O período de coletas de dados após o preenchimento de água no reservatório, se comportou de maneira esperada, sempre com as maiores temperaturas na saída dos coletores, e progressiva diminuição a medida em que os níveis de radiação solar foram diminuindo ao longo do dia.

### 3.2. Resultados dos parâmetros térmicos obtidos no reservatório térmico

As medições no reservatório térmico foram feitas em sua região central, e na saída do reservatório que coincide com o ponto de consumo. A escolha desses pontos de medição foram determinadas para evidenciar a temperatura mais elevada no topo do reservatório térmico, comprovando a eficácia do sistema de aquecimento solar tipo convencional. A Figura 9 destaca as variações de temperatura nos pontos de medição no reservatório térmico.



**Figura 9:** Temperaturas central do reservatório térmico e do ponto de consumo ao longo do período de medição

**Fonte:** BRANCO, 2016

Conforme mostra a Figura 9, as temperaturas iniciais começaram em equilíbrio térmico com 30 °C, pois nos momentos iniciais de ensaio do sistema a água não tinha

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



vido suficiente para atingir os sensores nos pontos de medição até o dado momento. Por volta das 10 horas da manhã, a água já percorre completamente o interior do reservatório térmico e é possível observar maiores leituras no sensor localizado no ponto de consumo. A temperatura máxima central do reservatório foi de 45,5 °C e a máxima no ponto de consumo foi de 46,75 °C.

Encerradas as análises que avaliam o comportamento da água no decorrer do funcionamento do sistema, foi possível comprovar que ao longo do dia de ensaio, o SAS proposto foi capaz de aquecer a água de maneira significativa, apresentando temperaturas superiores à necessidade de temperatura adequada para banho de acordo com a literatura que é de 36°.

Finalizada a análise dos resultados obtidos com o sistema de aquecimento solar de água convencional estudado através da automação implementada, que faz parte de uma parceria entre um projeto de pesquisa interno com o PET energia e mecânica da UFERSA, será descrito então as conclusões do estudo realizado.

## 4. Considerações Finais

Em relação aos suportes confeccionadas a partir de materiais já existentes e inseridas partes novas como mostrou a metodologia deste trabalho, os mesmos apresentam bom desempenho em sua função, sem nenhum dano que prejudique o funcionamento do sistema, mas sua pintura já encontra-se um pouco desgastada, nas áreas que foram pintadas apenas com tinta preta do tipo zarcão. Isso deve ser atribuído ao fato de que encontra-se exposta as condições ambientes de sol e chuva a mais de 6 meses, quando a mesma foi direcionada para a área externa do Laboratório de Engenharia de Energia LENERG.

O sistema de termossifão do sistema de aquecimento solar de água do tipo convencional apresentou-se satisfatório, pois em todos os testes de estanqueidade, mesmo com o aparecimento de gotejamentos, foi possível averiguar que a circulação

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



natural não demonstrou interrupções ou mau funcionamento, o que pode acontecer em detrimento do surgimento de bolhas no trajeto da água ou qualquer resíduo local. Isso é resultado de uma boa instalação dos componentes que atuam no sistema de aquecimento solar convencional, aliado a uma correta inclinação angular dos coletores solares e ao posicionamento em relação ao sol.

Apesar da curta análise, restrita a um dia, em função do tempo disponível, dos parâmetros térmicos obtidos, foi possível observar que em horários de maior intensidade solar, antes do sistema ter sofrido interferência com o novo preenchimento da caixa d'água, as temperaturas de pico da entrada dos coletores solares e entre os encaixe dos dois coletores excederam de forma significativa as temperaturas consideradas ideais para banho. Em contrapartida, as diferenças de temperatura entre entrada e saída dos coletores é substancial e comprova que os coletores são eficazes em elevar a temperatura do fluido a partir da conversão de energia solar em térmica.

A implementação da automação no sistema se mostrou imprescindível, funcionando de maneira assertiva em todas as medições, com o número de coletas do dia superior as coletas realizadas manualmente, ou seja, o sistema foi otimizado em relação à outras formas de medição realizadas em outros sistemas confeccionados na UFERSA. As medições com os sensores em contato direto com a tubulação foram as maiores, pois permaneceram em equilíbrio térmico por mais tempo com a superfície medida, não perdendo calor até o momento em que o sistema foi perturbado.

Os custos para aquisição do sistema estudado são em sua maioria considerados altos, no caso especificamente do aqui proposto, ficou algo em torno de R\$1200,00, desconsiderando os materiais reaproveitados e doados. Porém, o retorno do investimento é real e bem econômico, uma vez que, a manutenção dos equipamentos é baixa e de fácil vistoria, e possui durabilidade média de 20 anos de funcionamento regular. Portanto, o retorno financeiro que se obtém ao optar pelo sistema de aquecimento convencional encontra-se na economia que se faz ao

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



substituir outras formas de aquecimento de água, como por exemplo, chuveiros elétricos, por essa fonte de energia alternativa. Entretanto, após os estudos realizados no sistema, pode-se concluir que o SAS convencional analisado neste trabalho é adequado para ser utilizado na cidade de Mossoró/RN, pois mesmo apresentando temperaturas elevadas e superiores às necessárias para banho, em torno de 36°C, pode-se fazer uso em um sistema híbrido ou misturador de água fria com a água obtida no SAS aqui proposto.

Como o presente trabalho não realizou todas as medições necessárias para se ter uma análise concreta dos parâmetros térmicos que determinam a eficiência do sistema, é fundamental que sejam feitos novos ensaios, com medições feitas em longos períodos de tempo, que se estendam pelo período da noite também para avaliar possíveis perdas térmicas. Também sugere-se que a análise se estenda ainda mais, considerando períodos do ano com maior ou menor nebulosidade, afim de se aferir um melhor diagnóstico.

Os vazamentos identificados devem ser corrigidos de maneira definitiva, pois as soluções paliativas com o uso da cola silicone não foram eficazes nas conexões de tubos com materiais metálicos.

## 5. Referências

BRANCO, Henrique Emanuel Andrade Castelo. **MONTAGEM, INSTALAÇÃO E ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA CONVENCIONAL DE AQUECIMENTO SOLAR DE ÁGUA NA CIDADE DE MOSSORÓ-RN.** 2016. 54 f. Monografia (B) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2016.

GUERRA, Maria Izabel da Silva. **ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA DE AQUECIMENTO SOLAR DE BAIXO CUSTO NA CIDADE DE**

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



**MOSSORÓ-RN.** 2012. 100 f. Tese (Doutorado) - Curso de Bacharelado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2012.

Sauer et al. **Energias renováveis: ações e perspectivas na Petrobras.** Bahia Análise & Dados. Salvador, n.1 p. 9-22, 2006. Disponível em: <[http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao\\_rural/tc\\_02.pdf](http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/tc_02.pdf)>. Acesso em: 19 março. 2015.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## PROJETO DE USINA SOLAR FOTOVOLTÁICA CONECTADA À REDE DE 8,67 kWp

Antonio Marcos Fernandes Filho<sup>1</sup>

Herick Talles Queiroz Lemos<sup>2</sup>

### Resumo

O presente trabalho consiste de um projeto simulado de uma micro usina solar fotovoltaica conectada à rede de 8,67 kWp, destinada a abater, parcialmente, o consumo médio mensal de um condomínio residencial situado na cidade de Mossoró, RN. Ao longo do trabalho, será explanado a metodologia de desenvolvimento do projeto, descrevendo todas etapas seguidas no dimensionamento e seleção de equipamentos a serem utilizados. Ao final, é realizado um estudo técnico-econômico da viabilidade de implementação do sistema, assim como um breve estudo do tempo de retorno do investimento. Neste sentido, os objetivos deste trabalho são de expor a metodologia de projeto utilizada, visando-se difundi-la na comunidade em geral, bem como demonstrar a viabilidade de implementação de sistemas de geração fotovoltaica conectados à rede.

**Palavras-chaves:** energia solar fotovoltaica, sistema solar fotovoltaico conectado à rede, sistema de compensação.

---

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia de Energia na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

<sup>2</sup> Graduando em Engenharia de Energia na Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 1. Introdução

A energia solar é de fundamental importância para a vida na terra, sendo uma fonte primária para várias outras fontes secundárias de energia, como biomassa, hidráulica, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos (LOPEZ, 2012).

A busca por este tipo de tecnologia partiu de empresas do ramo de telecomunicações, já que, muitos dos sistemas deveriam ser instalados em localidades isoladas e remotas. Outro importante fator para o desenvolvimento da energia solar fotovoltaica foi a “corrida espacial”, a qual se dava a necessidade de buscar formas de energia que não acrescentassem tanto peso e que tivessem um preço relativamente baixo (LOPEZ, 2012).

A radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes a partir de coletores ou concentradores solares (ANEEL, 2005). Outra forma de aproveitamento é a conversão direta em energia elétrica, através de sistemas fotovoltaicos.

Dentre os vários processos de aproveitamento da energia solar, atualmente os mais utilizados no Brasil e no mundo são a tecnologia de aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica (ANEEL, 2005).

### 1.1 Radiação solar

Somente parte da radiação solar atinge a superfície terrestre, devido à reflexão e absorção dos raios solares pela atmosfera. Ainda assim, segundo o Plano Nacional de Energia 2030 a irradiação de energia solar por ano na superfície da Terra é suficiente para atender milhares de vezes o consumo anual de energia do mundo (ANEEL apud EPE, 2009).

Além das condições atmosféricas, pode-se citar que a radiação depende de fatores como a latitude local e da hora e dia do ano. A justificativa para isso são os movimentos de rotação e translação da terra. Por estar localizado próximo a linha do

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



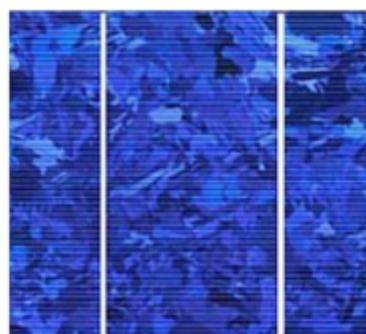
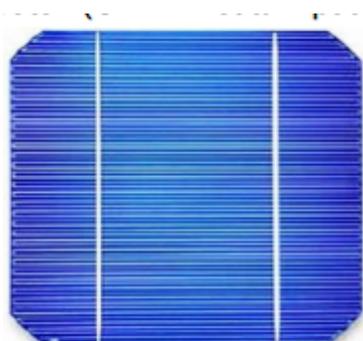
Equador, pode-se dizer que o Brasil é um país privilegiado, onde não é observada grandes variações na duração solar diária (ANEEL, 2005).

## 1.2 Tecnologias de aproveitamento

Como já abordado, as principais aplicações são de aquecimento térmico e de conversão direta de energia solar em energia elétrica. A primeira aplicação é utilizada para aquecimento de água em residências e em demais setores, como edifícios públicos e comerciais, hospitais, restaurantes, hotéis e similares. Sendo, muitas vezes, uma alternativa ao aquecimento através do chuveiro elétrico, que utiliza do efeito joule como princípio de funcionamento, caracterizando um consumo de energia elétrica considerável.

O aproveitamento da energia solar aplicado a sistemas que requerem temperaturas mais elevadas ocorre por meio de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente numa área relativamente grande e concentrá-la numa área muito menor (ANEEL, 2005).

A partir de células e módulos fotovoltaicos é possível realizar a conversão direta de energia solar em energia elétrica. As principais tecnologias na produção módulos e células fotovoltaicas são o silício (monocristalino, Figura 1 (a), e policristalino, Figura 1 (b)) e os filmes finos. Os materiais semicondutores comercialmente produzidos e utilizados atualmente nessa tecnologia estão o Silício amorfo (a-Si), disseleneto de cobre e índio ou gálio (CIS, CIGS) e o telureto de cádmio (CdTe) (VIEIRA, 2014).



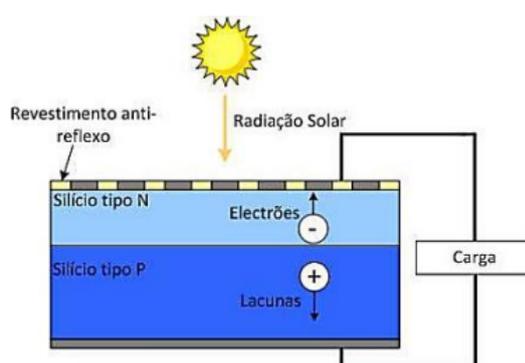
# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



A célula de silício, Figura 2, é composta de duas camadas: uma delas é dopada  
*Figura 10 (a): Célula de silício monocristalino*      *Figura 11 (b): Célula de silício policristalino*  
*Fonte: EPE, 2012*      *Fonte: EPE, 2012*

com um elemento que tende a perder elétrons (material tipo N) e outra com um elemento (material tipo P) que tende a absorver elétrons (ALDABÓ, 2002).



*Figura 2: Célula de silício.*  
*Fonte: SILVA, 2012.*

## 2. Metodologia

### 2.1 Localização da unidade consumidora

A unidade consumidora está localizada na cidade de Mossoró, estado do Rio Grande do Norte, na Rua Julinha Paula N° 141, CEP: 59628-720 Presidente Costa e Silva. O cliente está enquadrado no grupo tarifário B1, atendido pela rede de tensão secundária, com ligação trifásica.

### 2.2 Levantamento de carga instalada

Inicialmente foi realizado o levantamento das cargas instaladas no residencial Premium, Tabela 1. A UC apresenta uma potência total instalada de 72,743 kW.

Tabela 1: Quadro de cargas da unidade consumidora.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



<b>Eletrodoméstico</b>	<b>Potência unitária (W)</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Potência (W)</b>
Lâmpada led	10	04	40
Lâmpada fluorescente compacta - 10 W	10	19	190
Lâmpada fluorescente compacta - 15 W	15	20	300
Lâmpada fluorescente compacta - 20 W	20	17	340
Lâmpada fluorescente compacta - 25 W	25	09	225
Motor de portão elétrico 0,33cv	250	02	500
Geladeira 1 porta Frigobar	85	09	765
	26	04	104
Forno microondas	1.400	10	14000
Liquidificador	210	13	2730
Batedeira	150	09	1350
Sandueira	670	10	6700
Cafeteira elétrica	220	08	1760
TV	120	13	1560
Receptor analógico	10	13	130
Aparelho de dvd	15	04	60
Roteador wirelles	6	06	36
Notbook	90	10	900
Gelagua	125	09	1125
Grill	640	05	3200
Impressora	15	08	120
Lavadora de roupas	150	06	900
Modem de internet	8	06	48
Secador de cabelo	1000	13	13000
Tanquinho	70	02	140
Ventilador de mesa	80	20	1600
Ferro elétrico	1200	13	15600
Computador de mesa	400	03	1200
Ar-condicionado tipo split 12000 btus	1.200	03	3600
Prancha de cabelo	40	13	520
<b>Potência total estimada da instalação (kW)</b>		<b>72,743</b>	

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



## 2.3 Histórico de consumo anual

A partir do site da concessionária local foi possível obter o histórico de consumo dos últimos 12 meses (Tabela 2), de junho de 2015 à maio de 2016. Os apartamentos do residencial estão divididos em 7 medidores diferentes. Por se tratar de um residencial, é possível visualizar que em alguns meses o consumo é bastante inferior do que padrão visualizado por medidor, isto se justifica diante da sazonalidade de ocupação dos apartamentos.

Tabela 2: Consumo por medidor mensal em kWh.

<b>Mês</b>	<b>Med. 1</b>	<b>Med. 2</b>	<b>Med. 3</b>	<b>Med. 4</b>	<b>Med. 5</b>	<b>Med. 6</b>	<b>Med. 7</b>
jun/15	466	113	30	287	188	93	193
jul/15	466	108	30	258	199	107	205
ago/15	325	71	30	230	217	82	75
set/15	392	114	30	201	202	160	69
out/15	446	64	30	195	221	240	87
nov/15	230	71	132	82	171	242	66
dez/15	135	67	214	81	163	246	68
jan/16	157	49	315	85	148	218	72
fev/16	152	34	338	69	171	250	33
mar/16	174	59	413	129	194	277	42
abr/16	212	60	524	149	205	279	30
mai/16	190	101	519	104	179	194	150

Diante disso, foi realizado um tratamento estatístico nos dados. Foram considerados, quando identificados, os meses em que o consumo apresentava

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



características de total ocupação dos apartamentos nos respectivos medidores, com estes valores foi calculado uma média de total ocupação por mês por medidor. Uma média mensal total por medidor também foi calculada e, a partir de uma interpolação que considera um grau intermediário entre a ocupação nos últimos 12 meses e a ocupação total dos apartamentos foram obtidos os valores da Figura 3. A média total interpolada de consumo por medidor por mês é 1.493,40 kWh

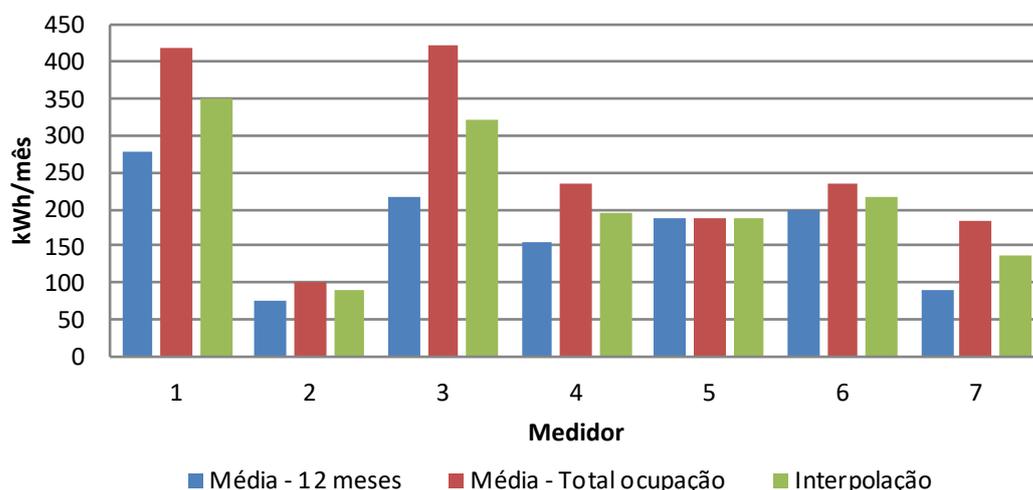


Figura 3: Médias anuais por medidor.

## 2.4 Irradiação solar da região

A partir do *software* RADIASOL, desenvolvido pelo Laboratório de Energia Solar da UFRGS, foi obtido a irradiação média em kWh/m<sup>2</sup>/dia para cada mês. O telhado da localidade do projeto possui uma inclinação de aproximadamente 14° e um azimute 53°. O azimute ideal para a região do projeto é de 0°, ou seja, orientados ao norte. A Figura 4 apresenta os valores de irradiação média inclinada para a localidade de Mossoró para o azimute de 53° e de 0°. Por não apresentar grandes variações na irradiação inclinada e o fato de manter o azimute do telhado implicar em simplificação de montagem e redução de custos com estruturas de fixação, os painéis serão instalados seguindo inclinação e azimute do telhado da UC.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016

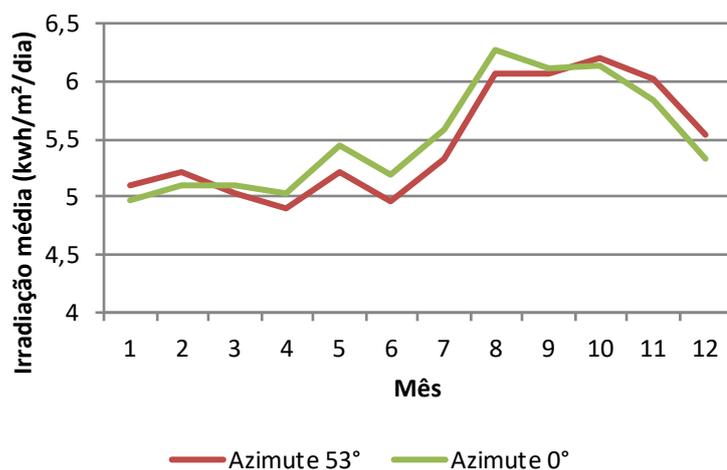


Figura 4: Comparativo da irradiação média para diferentes azimutes.

## 2.5 Descrição do sistema

Os equipamentos principais, como painéis fotovoltaicos e inversor, assim como o cabeamento, dispositivos de proteção e estruturas utilizadas para fixação dos painéis ao telhado serão descritos neste tópico. Estes foram determinados com o objetivo de atender ao consumo médio de 1.493,40 kWh mensal menos o valor do custo de disponibilidade que para a UC em estudo é de 100 kWh.

### 2.5.1 Painéis fotovoltaicos

Serão utilizados painéis fotovoltaicos Canadian, modelo CS6P-255P, com as seguintes características em condições STC:

- Potência máxima nominal: 255 Wp,;
- Eficiência de conversão: 15,85 %
- Classe de aplicação: A;
- Tensão de operação em máxima potência: 30,2V;
- Corrente de operação em máxima potência: e 8,43 A;

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



- Dimensões físicas: 982 mm x 1638mm x 40 mm.

Para atender as condições impostas, será necessário utilizar 34 painéis, totalizando um sistema de 8,67 kWp.

## 2.5.2 Determinação do inversor

Será utilizado no sistema de geração o inversor grid-tie modelo Fronius Symo 12.5-3-M Light, fabricado pela Fronius, com potência máxima de entrada CC de 18,8 kWp, potência máxima de saída CA de 12,5 kW, conexão à rede 3-NPE 380V/220V, 60 Hz, corrente máxima de entrada CC de 43.5 A e corrente máxima de saída CA de 18 A. O inversor conta, ainda, com funções de proteção de sub e sobtensão, de sub e sobrefrequência, anti-ilhamento e sincronismo.

## 2.5.3 Estruturas

Os 34 painéis fotovoltaicos serão instalados em estruturas adequadas sobre telhado convencional em telhas cerâmicas. As estruturas escolhidas dispõem de terminais para apropriado aterramento e resistência especialmente projetada para suportar as condições de exposição ao tempo.

## 2.5.4 Proteção

De forma a garantir a completa proteção dos equipamentos, e promover maior segurança operacional ao sistema, foi considerado a instalação de proteções tanto no lado CC quanto no lado CA.

A proteção CC do sistema, será composta por um disjuntor Scheineider C60NA-DC, com corrente nominal de descarga de 25 A, visando-se proteger os cabos localizados entre as *strings* de painéis e inversor, contra sobrecargas e curto circuitos, além de servir como elemento de seccionamento durante a manutenção no inversor.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Adicionalmente, optou-se pela instalação de um DPS Sheineider PRD-DC40r 600PV, a fim de se proteger os equipamentos na ocorrência de surtos na rede, tal como descargas atmosféricas.

Já para a proteção CA do sistema, considerou-se a instalação de um disjuntor tripolar STECK, modelo SDZ63C25, com corrente nominal de 25 A, a ser instalado na saída do inversor, fornecendo uma proteção adicional contra curto circuitos e sobrecarga (haja visto que o inversor também apresenta tais proteções), além de fornecer a função de elemento de seccionamento entre o inversor e o quadro geral da instalação.

Todos os equipamentos de proteção serão instalados em um quadro elétrico (*string box*) com proteção IP40, embutido em parede de alvenaria, e devida sinalização de segurança.

### 3. Resultados e Discussão

Para a análise de viabilidade técnico-econômica, foi elaborado um orçamento (Tabela 3) contemplando todos os equipamentos necessários a concretização do projeto, incluindo a mão de obra e custos adicionais com transporte. O referido orçamento foi elaborado a partir de pesquisa nas principais lojas de comércio eletrônico do setor no Brasil, tomando-se como base os preços vigentes na data de 29 de junho de 2016.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Tabela 3: Orçamento do projeto.

<b>Equipamento</b>	<b>Qty.</b>	<b>Valor unitário</b>	<b>Total</b>
Painel Solar Foto. Canadian CS6p- 255P	34	R\$ 815,04	R\$ 27.711,36
Inversor Fronius Symo 12.5-3-M Light	1	R\$ 21.974,40	R\$ 21.974,40
Conector MC4 - Multibrach (par)	1	R\$ 86,40	R\$ 86,40
Kit Thesan para telha cerâmica p/4 painéis	8	R\$ 1.055,04	R\$ 8.440,32
Kit Thesan para telha cerâmica p/3 painéis	1	R\$ 829,00	R\$ 829,00
Parafuso p/madeira 5/16"x75mm	162	R\$ 2,99	R\$ 484,38
Cabo flexível vermelho 4 mm <sup>2</sup> 750V - 1 m	35	R\$ 2,00	R\$ 70,00
Cabo flexível preto 4 mm <sup>2</sup> 750V - 1 m	35	R\$ 2,00	R\$ 70,00
Cabo flexível verde e amarelo 2.5mm <sup>2</sup> 750V - 1 m	35	R\$ 1,00	R\$ 35,00
Eletroduto PVC rosqueável 3/4"x3 m	10	R\$ 3,94	R\$ 39,40
Curva 90g PVC 90mm rosqueável 90 mm 3/4"	5	R\$ 1,76	R\$ 8,80
DPS Schneider PRD-DC40r 600PV	1	R\$ 527,04	R\$ 527,04

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



		R\$	R\$
Disjuntor Scheneider 1000DC 25 A	1	306,24	306,24
		R\$	R\$
Disjuntor Tripolar 25A 400 V STECK	1	58,90	58,90
		R\$	R\$
Caixa de distribuição 12 Disjuntores STECK	1	57,80	57,80
		R\$	R\$
Diária pedreiro	1	100,00	100,00
		R\$	R\$
Diária eletricista montador	2	180,00	360,00
		R\$	R\$
Frete dos equipamentos	1	3.612,39	3.612,39
			<b>R\$</b>
<b>Total</b>			<b>64.771,43</b>

Conforme apresentado na Tabela 3, obteve-se um custo total estimado em R\$ 64.771,43, excluindo-se custos com a elaboração do projeto, que normalmente encontra-se entre 10 a 15% do valor do orçamento do projeto.

Na Figura 5, é apresentado resumidamente a distribuição percentual dos custos no projeto. Como pode ser visto, os painéis fotovoltaicos constituem a maior participação no custo, compondo cerca de 43% do custo do projeto, seguido dos expressivos 34% do inversor *grid-tie* e 14% das estruturas de montagem. Devido a indisponibilidade local da maioria dos equipamentos, obteve-se uma contribuição de cerca de 6% do custo final em frete de equipamentos. Os demais equipamentos de proteção e cabeamento apresentam uma pequena contribuição de 2%. Já a mão de obra, avaliada considerando-se um tempo de execução de 3 dias, corresponde a cerca de 1% do custo final.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016

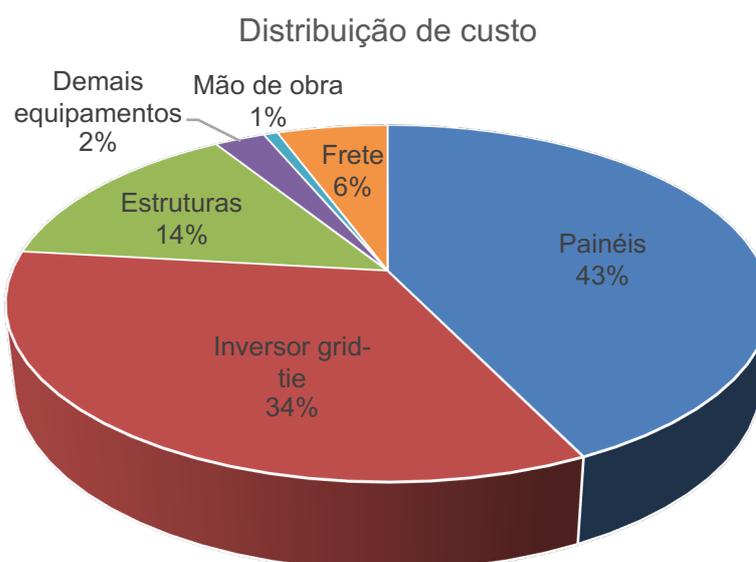


Figura 5: Distribuição percentual de custos no projeto.

A Figura 6 apresenta o comparativo entre a geração estimada e o consumo da unidade consumidora, apresentando, ainda, o consumo com geração distribuída e o crédito acumulado.

Uma breve análise das referidas curvas, revelam que nos meses de maior consumo, entre junho e novembro, o sistema de geração é capaz de reduzir em média 82% o consumo de energia. Já durante os meses de menor consumo de energia (período de férias escolares), entre dezembro e fevereiro, observa-se a ocorrência de um acúmulo da geração excedente, estendendo-se até o mês de maio, a qual a partir deste, o consumo passa novamente a ser superior a geração, de forma a consumir entre maio e março, todo o crédito acumulado até o período. Logo, verifica-se que, de maneira geral, o sistema apresenta um desempenho satisfatório ao longo do ano,

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



sendo capaz de possibilitar, apesar da sazonalidade do consumo, um balanço anual razoavelmente equilibrado entre geração e consumo, sem geração excessiva de créditos, proporcionando durante 7 meses do ano, uma tarifa correspondente apenas ao custo de disponibilidade (100 kWh).

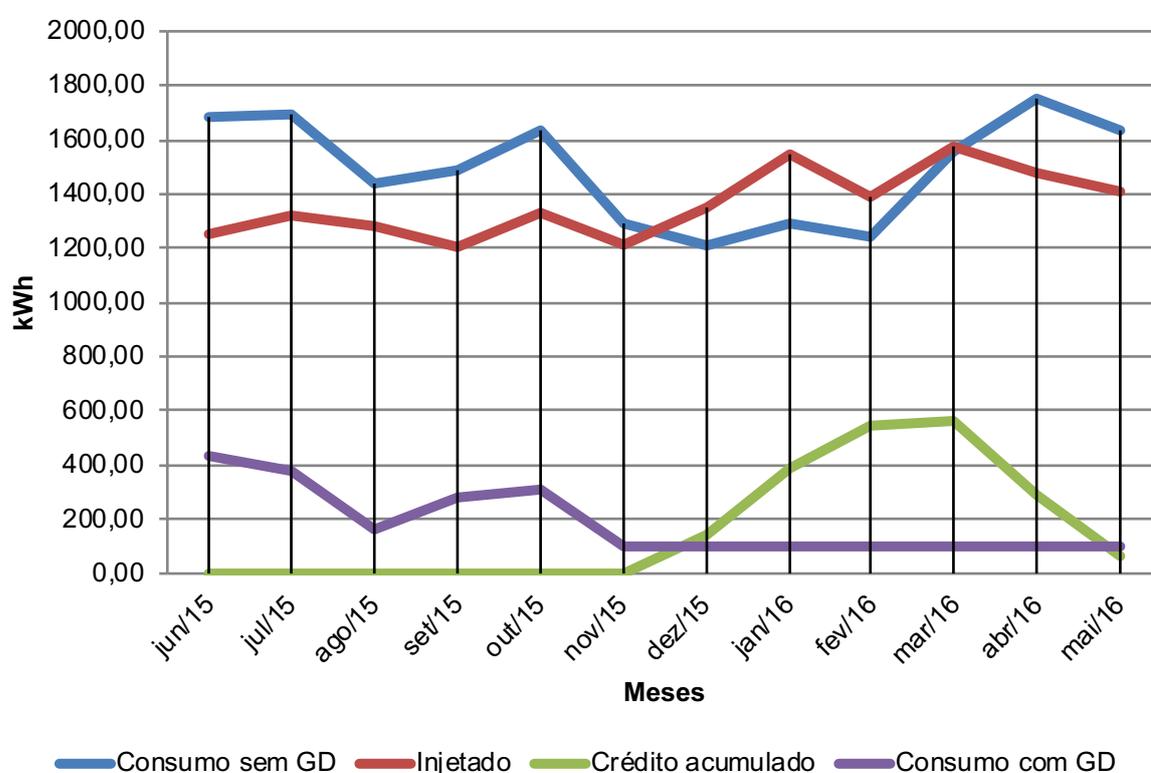


Figura 6: Comparativo entre geração com GD e sem GD.

O orçamento do projeto permite quantificar o investimento necessário para implementação do sistema proposto, porém, é necessário avaliar em quanto tempo haveria retorno financeiro do que foi investido. A Figura 7 apresenta o comparativo do custo acumulado sem geração distribuída e com geração distribuída em função do tempo, dado em anos. A interseção das duas fornece o tempo em que o sistema se auto pagará (7,95 anos), bem inferior ao tempo de vida útil dos equipamentos da usina solar fotovoltaica.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016

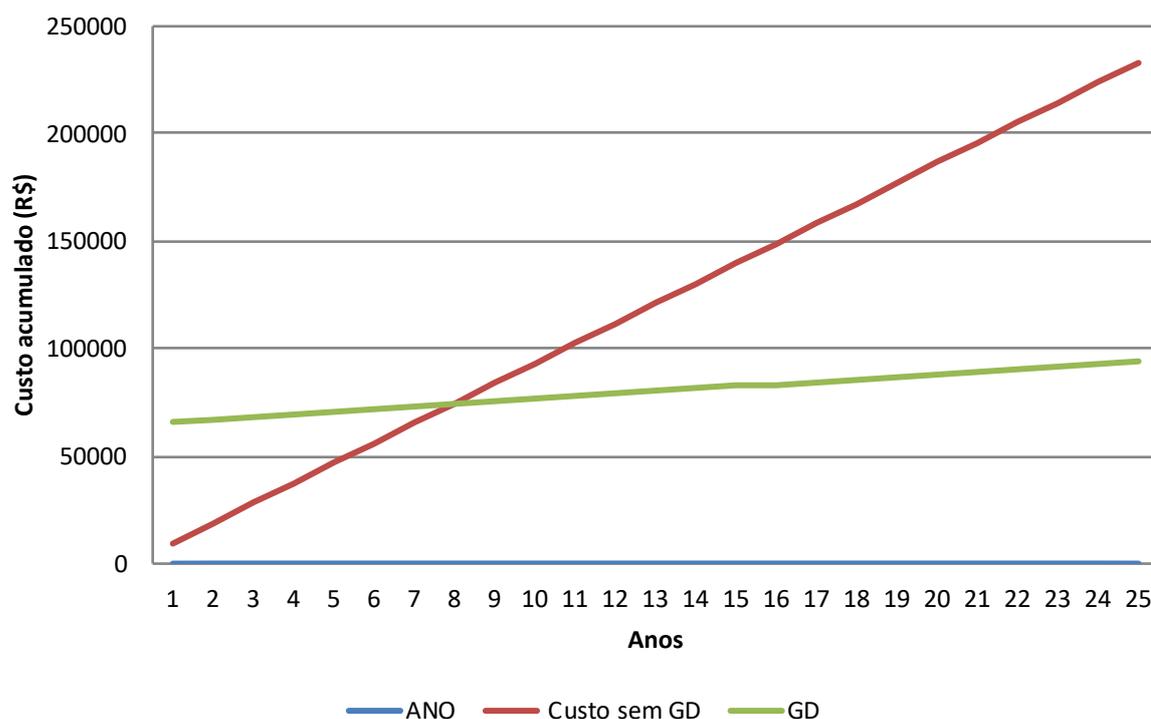


Figura 7: Comparativo de custo acumulado com e sem GD.

## 4. Conclusão

Neste trabalho, apresentou-se um projeto simulado de uma micro usina solar fotovoltaica conectada à rede de 8,67 kWp, destinada a abater, parcialmente, o consumo médio mensal de um condomínio residencial situado na cidade de Mossoró-RN. A metodologia empregada no dimensionamento do sistema foi baseada na técnica de levantamento do potencial solar da região, a partir do *software* RADIASOL.

Verificou-se que, de maneira geral, o sistema proposto apresenta um desempenho satisfatório ao longo do ano, sendo capaz de possibilitar, apesar da sazonalidade do consumo, um balanço anual razoavelmente equilibrado entre geração e consumo, sem geração excessiva de créditos, proporcionando durante 7 meses do ano, uma tarifa correspondente apenas ao custo de disponibilidade.

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



Para a concretização do projeto proposto, é requerido um investimento total estimado em R\$ 64.771,43, excluindo-se custos com a elaboração do projeto. Sendo assim, considerando-se o desempenho previsto para o sistema, obteve-se um tempo de retorno do investimento de 7,95 anos, que se mostra bem inferior ao tempo de vida útil dos equipamentos da usina, que é de cerca de 20 anos, comprovando-se assim a viabilidade de implementação do sistema.

## 5. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL**. 2ed. Brasília: ANEEL, 2005.

ALDABÓ, R. **Energia solar**. 1ed. São Paulo: Artliber Editora, 2002.

EPE. **ANÁLISE DA INSERÇÃO DA GERAÇÃO SOLAR NA MATRIZ ELÉTRICA BRASILEIRA**. Rio de Janeiro, 2012. Nota técnica. Ministério de Minas e Energia.

LOPEZ, R. A. **ENERGIA SOLAR PARA PRODUÇÃO DE ELETRICIDADE**. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2012.

MINHA CASA SOLAR. **Loja virtual**. Produtos. Disponível em: <<http://minhacasasolar.com.br/>>. Acesso em: 29 jun. 2016.

NEOSOLAR. **Loja virtual**. Produtos. Disponível em: <<http://www.neosolar.com.br/>>. Acesso em: 29 jun 2016.

SILVA, Marta Cristina da Costa. **ESTUDO COMPARATIVO DE UM PAINEL SOLAR FOTOVOLTAICO FIXO VS MÓVEL**. Portugal, 2012. Dissertação de mestrado. Universidade no Minho.

Workshop:

# Usinas Solares Fotovoltaicas: aliando tecnologia à sustentabilidade

UFERSA Mossoró, 27 e 28 de julho de 2016



VIEIRA, Romênia Gurgel. **ANÁLISE COMPARATIVA DO DESEMPENHO ENTRE UM PAINEL SOLAR ESTÁTICO E COM RASTREAMENTO NO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN.** 2014. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.