

## **SIMULADOR DE RADIAÇÃO SOLAR. RESULTADOS, FUNCIONAMENTO E TESTES EM UM EQUIPAMENTO CONSTRUÍDO**

### **Marcelo Bezerra Grilo**

Doutorando em Engenharia Elétrica. UFPB/COPELE – Campina Grande, Paraíba.

[grilo@nerg.ufpb.br](mailto:grilo@nerg.ufpb.br) / [www.nerg.ufpb.br/~grilo](http://www.nerg.ufpb.br/~grilo) fone (083) 333 2967

### **Francisco Ilo Bezerra Cardoso**

Universidade de Pernambuco UPE/FESP. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica. Recife, PE, Brasil. (081) 9979 5898

**RESUMO.** O simulador de radiação solar é um equipamento que substitui a radiação solar, que chega a nível do solo, por uma radiação equivalente, porém de fonte artificial. O equipamento permite a pesquisa em sistemas que utilizam a radiação solar como fonte energética, possibilitando seu funcionamento para localidades com latitude e longitude diferentes, bem como de condições meteorológicas e de potência solar abrangentes. O simulador de radiação construído será utilizado na pesquisa em andamento que trata do desenvolvimento de um sistema para bombeamento de água usando energia solar, em um ciclo a absorção. É possível também sua utilização como fonte de energia para se estudar a influência da qualidade espectral da energia solar e da sua intensidade para o desenvolvimento morfológico de determinadas plantas. Neste trabalho, apresentam-se o projeto, as características construtivas e os resultados obtidos nos testes de um protótipo construído que utiliza material simples e de baixo custo.

**Palavras-chave:** Energia Solar, Radiação Solar, Baixo Custo, Simulador Solar

## **1. INTRODUÇÃO**

Este trabalho apresenta dados de projeto, características construtivas e os resultados dos testes de um equipamento, que substitui a radiação solar por uma radiação equivalente porém de fonte artificial, utilizando-se lâmpadas incandescentes.

Ele é caracterizado por produzir radiação com um espectro equivalente a radiação solar que chega a nível do solo, com comprimentos de ondas na faixa de 0,100 a 2,500  $\mu\text{m}$ .

A radiação solar, suas características e propriedades, será apresentada em um breve estudo com a finalidade de familiarizar o leitor com a terminologia adotada. Também são apresentados alguns dados geográficos e meteorológicos da cidade de Campina Grande, na Paraíba, onde o equipamento foi construído e testado. Estes estudos preliminares justificam-se pela necessidade de se chamar a atenção para certos cuidados que devem ser observados ao se construir um equipamento desse tipo.

O equipamento testado tem baixo custo de fabricação e apresenta facilidade para manutenção e operação. Foi construído com material de baixo custo e disponível na região.

Este equipamento será utilizado para os testes, em laboratório, de funcionamento de um coletor solar bifásico. Este coletor especial, utiliza como fluido de trabalho uma mistura de

água e amônia, e sua finalidade é funcionar como um gerador em um ciclo termodinâmico de absorção, onde o vapor de amônia produzido é usado para acionar um mecanismo de bombeamento de água.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

Antes de dar início a caracterização da parte experimental do simulador de radiação, apresenta-se um estudo resumido sobre o tema radiação e particularmente radiação solar. Esta apresentação contribui para familiarizar o leitor com a terminologia utilizada no trabalho, bem como dar aos iniciantes no tema uma visão panorâmica sobre o assunto.

Radiação solar é a radiação térmica com uma forma particular de comprimento de onda. A intensidade desta radiação depende basicamente das condições atmosféricas, da época do ano, do local ( latitude e longitude ) e da hora. A radiação térmica é a radiação eletromagnética emitida por um corpo em função de sua temperatura. Sabe-se que todo corpo com  $T \neq 0 \text{ K}$ , emite radiação.

O mecanismo de propagação da radiação é dado pela equação:  $c = \lambda \nu$ . Onde  $c$  é a velocidade de propagação da luz no vácuo,  $\lambda$  é o comprimento de onda e  $\nu$  é a frequência. Na tabela 1, apresentam-se alguns tipos de radiação e suas respectivas faixas espectrais de comprimento de onda.

**Tabela 1.** Espectro eletromagnético em função do comprimento de onda  $\lambda$ .

TIPO DE RADIAÇÃO	FAIXA DE $\lambda$ ( $\mu\text{m}$ )
Radiação térmica	0,100 a 100,000
UV - Ultravioleta	0,001 a 0,350
Radiação visível	0,350 a 0,750
IV - Infravermelho	0,750 a 1000,000
Radiação solar a nível do solo	0,100 a 2,500

No simulador de radiação solar nos interessa produzir o máximo de radiação na faixa espectral da radiação solar a nível do solo. Isto será obtido utilizando-se lâmpadas incandescentes comuns que tenham uma determinada temperatura de emissão no filamento e que portanto emitam radiação térmica com qualidade espectral nas faixas do ultravioleta longo, do visível e do infravermelho curto. Os fabricantes de lâmpadas produzem lâmpadas especiais que podem gerar radiação específica nas faixas espectrais desejadas, essas porém têm um custo muito elevado.

As propriedades mais usuais da radiação incidente sobre uma superfície são a Irradiação ( $G$ ), a Refletividade ( $\rho$ ), a Absortividade ( $\alpha$ ), a Transmissividade ( $\tau$ ), e a Emissividade. Aplicando-se um balanço de energia em um corpo, a soma de  $\rho + \alpha + \tau$  deve ser igual a 1 (100%). A constante solar é dada pelo termo  $G_{cs}$ , e vale  $1353 \text{ W/m}^2$ , este valor de irradiação é obtido em altitudes muito elevadas fora da influência da camada atmosférica da terra.

Na revisão bibliográfica sobre a utilização de equipamentos para simular radiação solar, constata-se a existência de poucos trabalhos e referências sobre o tema. Os trabalhos encontrados referem-se a equipamentos de alto padrão tecnológico e conseqüentemente custos muito elevados. VERNON (1979), apresenta o simulador utilizado pela NASA, e BISGAARD (1982), descreve as características de um simulador utilizado para testes de coletor solar na Universidade da Dinamarca. No Brasil, obteve-se a informação de que o laboratório de

energia solar da UFRGS, já construiu um equipamento para este fim, mas que está desativado. É possível que existam no Brasil outros equipamentos sendo utilizados, um dos resultados esperados com a publicação deste trabalho é estabelecer contato com esses usuários.

Na tabela 02, são apresentados alguns dados meteorológicos e geográficos para Campina Grande, cidade inserida na área conhecida como semi-árido nordestino, onde é possível se obter intensidade de radiação solar, a nível do solo, na faixa de 600 a 950 W/m<sup>2</sup>.

**Tabela 2.** Dados meteorológicos e geográficos da cidade de Campina Grande

Altitude	550	m
Latitude	7°	sul
Longitude	35°	W Gw
Temperatura Ambiente ( média máxima )	24,7	°C
Temperatura Ambiente ( média mínima )	21,5	°C
Irradiação ( média máxima )	950	W/m <sup>2</sup>
Irradiação ( média mínima )	600	W/m <sup>2</sup>

Apresentam-se, na tabela 3, algumas características construtivas e de custos do simulador de radiação solar de baixo custo, projetado e construído por GRILO (1999), na cidade de Campina Grande, Brasil, e algumas características do simulador de radiação construído por CASTRO (1994), na cidade de Toulouse, França.

Esta tabela tem a finalidade de comparar os materiais e o nível de caracterização tecnológica e de custos envolvidos em cada equipamento. Utilizando-se valores de março de 1999, data dos testes, verifica-se que o equipamento construído em Campina Grande representa um investimento de apenas 20% em relação ao simulador construído na França, sendo, entretanto, capaz de realizar com competência e qualidade as tarefas para as quais foi projetado.

**Tabela 3.** Principais características dos simuladores de GRILO e de CASTRO

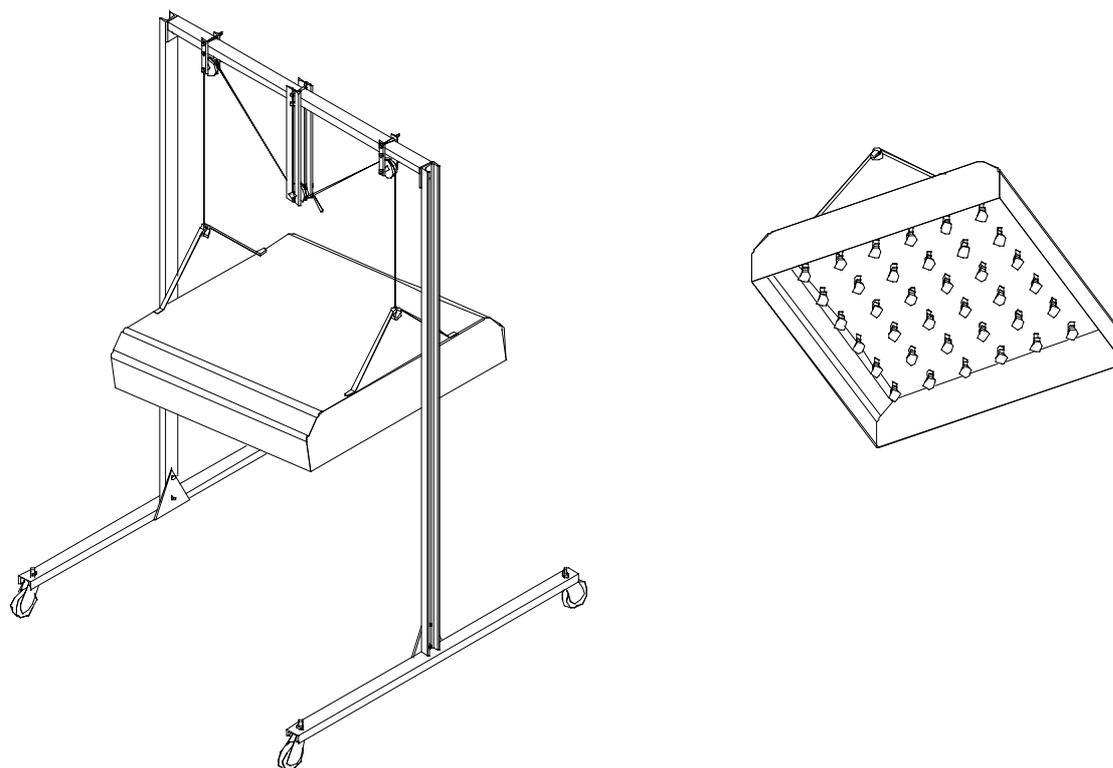
<b>CARACTERÍSTICAS</b>	<b>SIMULADOR DE BAIXO CUSTO CAMPINA GRANDE - BRASIL</b>	<b>SIMULADOR DE CASTRO TOULOUSE - FRANÇA</b>
Largura ( m )	1,40	0,50
Comprimento ( m )	1,40	2,00
Área ( m <sup>2</sup> )	1,96	1,00
Número de lâmpadas	36	10
Potência cada lâmpada ( W )	200	500
Tipo de lâmpada	Incandescente	Halogênio
Material do simulador	Chapa galvanizada	Aço Inox
<b>Custo aproximado ( US\$ )</b> Taxa do dia, US\$ 1.00 = R\$ 1,80	<b>132</b>	<b>660</b>

**Tabela 4.** Valores dos componentes do simulador solar de baixo custo

COMPONENTES	INVESTIMENTO ( US\$ )
Chapa galvanizada	15
Lâmpadas / Soquetes / Fios / Chaves	72
Madeira	12
Chapa de alumínio / parafusos	26
Tinta	07
<b>Total</b>	<b>132</b>

O equipamento construído e a experimentação realizada têm as seguintes características. A base do simulador de radiação é constituída por uma chapa de ferro galvanizada com dimensões de 1,40 m por 1,40 m, no interior do equipamento estão 36 pontos de luz, apropriadamente posicionados com soquetes de porcelana para resistir as altas temperaturas existentes.

Na figura 1, apresenta-se um desenho do equipamento construído.



**Figura 1.** Desenho do simulador no suporte e detalhe do posicionamento das lâmpadas

O critério para escolha da lâmpada utilizada como fonte emissora é aquele que contemple o binômio baixo custo e máxima eficiência. Elege-se a lâmpada incandescente de bulbo transparente de 200 W, porque ela tem uma temperatura no filamento irradiador em torno de

3 673 K. Aplicando-se a lei de Planck para este tipo de lâmpada, como pode ser visto em HOLMAN (1983), obtêm-se as características de radiação que este tipo de emissor tem:

- ✓ 0,4 % é irradiação no UV Ultravioleta
- ✓ 21,8 % é irradiação no V Visível
- ✓ 77,8 % é irradiação no IV Infravermelho

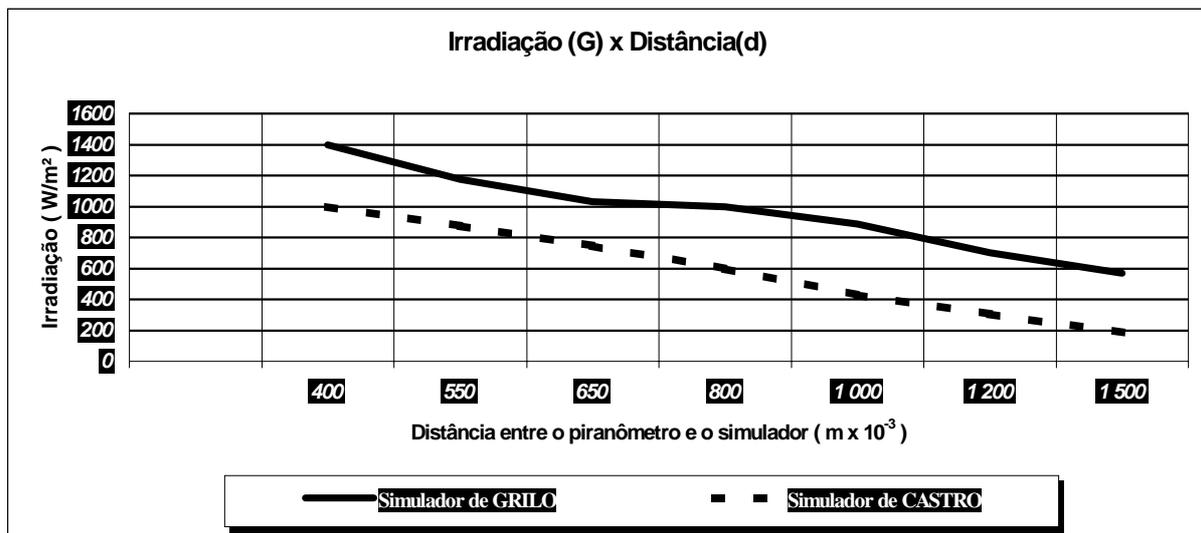
Para realizar os testes e medições, foi utilizado um piranômetro *Eppley*, modelo PSP referência número 28232F-3 com constante igual a  $8,75 \times 10^{-6} \text{ J/Wm}^2$ . Acoplado ao piranômetro utilizou-se um sistema de aquisição de dados *Zix Micrologger* fabricado pela *Campbell Scientific* com número de série 8461, do tipo RJV.

No Núcleo de Energia da UFPB tem um vídeo e um conjunto de fotografias do equipamento em teste, onde é possível observar a geometria, as proporções e demais características do equipamento testado, estas fotos foram obtidas com uma máquina fotográfica especial e digitalizadas diretamente no computador sem necessidade de revelação.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram realizadas dez baterias de testes, que geraram aproximadamente cem planilhas. A seqüência de testes foi estabelecida com a finalidade de medir a irradiação obtida no piranômetro, essa irradiação é função da distância entre o simulador e o piranômetro e da potência que sai das lâmpadas no simulador. Espera-se com este tipo de teste determinar qual a distância correta entre o emissor e o receptor da radiação. Por exemplo, qual a distância necessária entre o simulador e um receptor para que este receba uma irradiação de  $950 \text{ W/m}^2$ ?

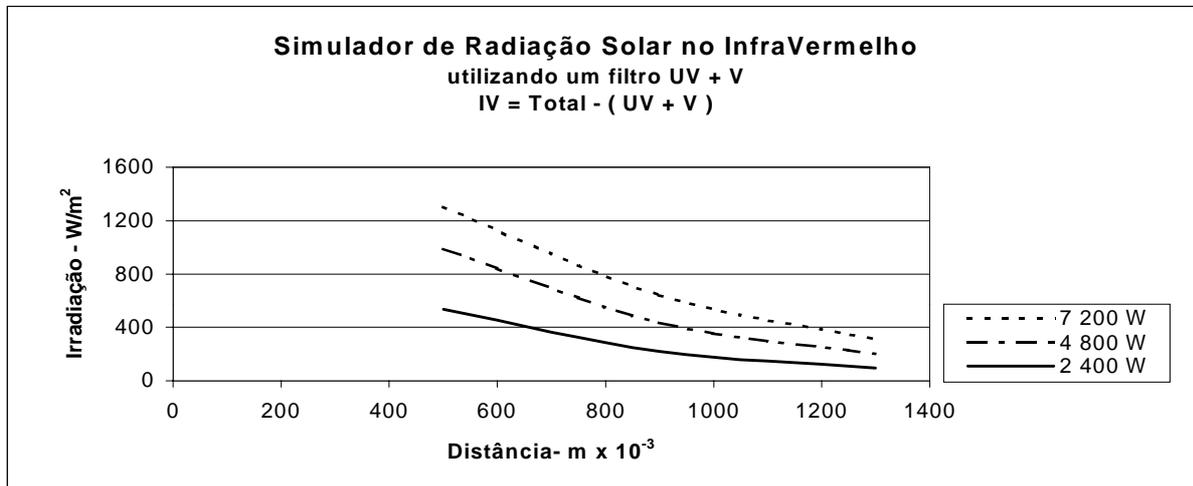
A figura 2, mostra os resultados obtidos no receptor, neste caso o piranômetro, quando se varia a distância entre este e o simulador. Na figura também é mostrada esta mesma relação para o simulador de CASTRO e que serve de comparativo entre os dois equipamentos. É possível observar que o simulador de GRILO tem capacidade de produzir irradiação na faixa equivalente a que realmente existe no Nordeste brasileiro, e até  $1 500 \text{ W/m}^2$ .



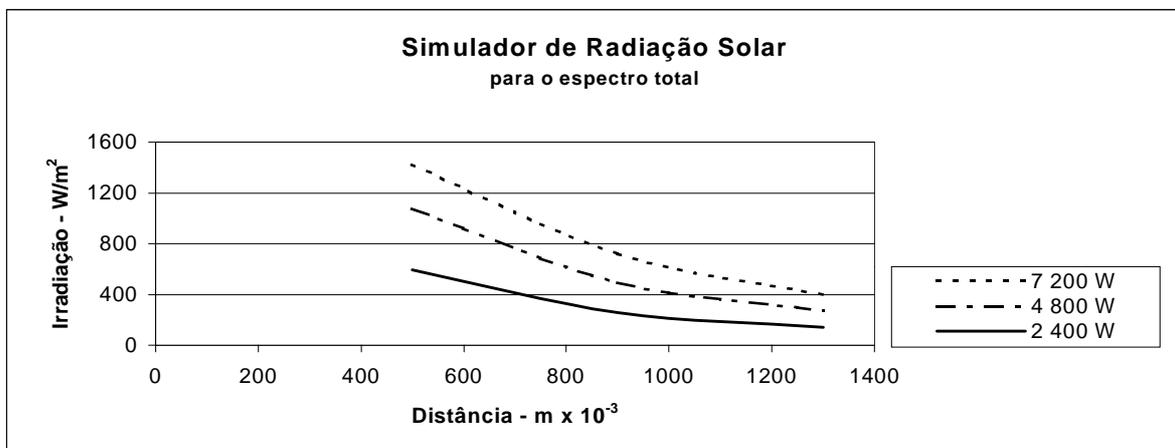
**Figura 2.** Irradiação obtida quando se varia a distância entre o simulador e o piranômetro

Os testes servem também para verificar a qualidade da radiação que chega no receptor, ou seja, a radiação deve estar na faixa espectral de  $0,100$  a  $2,500 \mu\text{m}$ , equivalente a que chega na superfície da terra quando proveniente do sol.

As figura 3 e 4, mostram os valores de irradiação obtidos no piranômetro para a faixa do espectro Infravermelho e para o espectro total. Comparando-se estas duas figuras observa-se que a radiação obtida para uma potência de partida de 7 200 W nas lâmpadas, apenas 1 200 W chega no receptor na faixa espectral do Infravermelho e 1 500 W chega no espectro total. Isto mostra que a radiação infravermelho é aproximadamente 80% da radiação total, o que está de acordo com o valor esperado teoricamente. Estas duas figuras mostram também que esta proporção de 80% se mantém quando a potência do emissor é de 4 800 W e 2 400 W.



**Figura 3.** Irradiação obtida na faixa do IV, variando-se a potência do simulador



**Figura 4.** Irradiação obtida para espectro total, variando-se a potência do simulador

#### 4. CONCLUSÕES

A figura 2, mostra que para se produzir irradiação entre 600 e 950  $W/m^2$ , basta variar a distância entre o simulador e o coletor solar entre 1,50 m e 0,70 m, e que essa irradiação pode chegar até 1 500  $W/m^2$  quando a distância entre o emissor e o receptor é de 0,50 m.

Para se utilizar um equipamento deste tipo, é necessário apenas que se conheça a faixa de irradiação incidente na localidade, e determinar, através da figura 2, qual a distância necessária entre o simulador e o coletor solar.

As figuras 3 e 4, mostram que o simulador construído produz radiação de qualidade, nas faixas espectrais esperadas.

Da análise dos dados obtidos nas medições, conclui-se que o equipamento construído e testado, apresenta resultados compatíveis com os esperados teoricamente.

Pode-se, portanto, afirmar que é possível e é viável, a construção e operação do simulador de radiação solar proposto.

### *Agradecimentos*

Ao Banco do Nordeste do Brasil - BNB, que apoia financeiramente o projeto Desenvolvimento de um Sistema para Bombeamento de Água usando Energia Solar, com Ciclo a Absorção, do qual este trabalho é parte.

## 5. REFERÊNCIAS

- BISGAARD, C., SVENDSEN, S.** 1982. Testing the efficiency of solar collectors at the Technical University of Denmark. SunWorld. Vol. 6 (4). pp. 112–113.
- CASTRO, Moema Soares.** 1994. Système de pompage de l'eau utilisant une pompe gás-lift et alimenté par énergie solaire. Thèse de Docteur. Toulouse, France. 145p.
- GRILO, Marcelo Bezerra.** 1999. Projeto, construção e testes de um simulador de radiação solar. Copele. UFPB, Campina Grande, Brasil. 57p.
- HANNA, G. B.** 1980. Investigation of a flat-plate solar collector performance with the use of a solar simulator. J. Eng. Sci. Riyadh. Vol. 6 (2). pp. 199-209.
- HOLMAN, Jack Philip.** 1983. Transferência de Calor. Tradução de Luiz Fernando Milanez, Editora McGraw-Hill do Brasil, São Paulo, Brasil. 639p.

## SOLAR RADIATION SIMULATOR

**Abstract.** This paper is about the development of a radiation solar simulator. The solar radiation simulator is a device that substitutes the solar radiation by an equivalent artificial radiation in the laboratory. A well designed solar simulator allows the research of equipments that use the solar radiation as energy source, facilitating its operations at places with different latitude and longitude, as well as different meteorological conditions and including solar potencial. This paper presents the project and the characteristics of a solar radiation simulator, that uses simple and low cost materials, what makes its construction feasible in another laboratories of poor areas as the demi-arid area in the Brazilian Northeast.

**Keywords.** Solar Energy, Solar Radiation, Solar Radiation Simulator