



COMUNICADO  
TÉCNICO

15

Brasília, DF  
Junho, 2021



# Construção de concen- trador solar de baixo custo para aplicações simples

Fernanda Medeiros e Silva  
Wellington Rangel dos Santos  
Emerson Léo Schultz  
Felipe Brandão de Paiva Carvalho  
Larissa Andreani  
Leonardo Fonseca Valadares

# Construção de concentrador solar de baixo custo para aplicações simples <sup>1</sup>

## Introdução

O sol é a maior fonte de energia da Terra. A energia térmica proveniente do sol pode ser utilizada para tarefas simples, como aquecimento de água, de alimentos ou secagem, sem qualquer uso de combustível (Acaatinga, 2021).

Entre as formas de aproveitamento da energia térmica solar, a energia heliotérmica concentra os raios solares e transforma a energia radiante em energia térmica, que, por sua vez, pode ser transformada em outras formas de energia úteis para a humanidade. Entretanto, esse tipo de energia é gerada apenas em dias ensolarados. Os concentradores solares são ferramentas utilizadas para coletar os raios solares, projetando-os em um ponto focal, onde é colocado o recipiente com o material que será aquecido. É um equipamento já bastante conhecido e desenvolvido, e atualmente existe uma diversidade de concentradores solares com diferentes portes, desde fornos solares simples (Kalogirou, 2009) até geradores de

grande porte, conhecidos como torres solares (*solar power tower*), capazes de fornecer energia elétrica (Nrel, 2021).

De modo geral, os concentradores solares podem ser construídos com espelhos ou lentes, sendo os espelhos normalmente utilizados. Os concentradores feitos com espelhos planos podem ser fabricados com materiais de uso cotidiano e de baixo custo.

Este Comunicado Técnico apresenta as etapas para a construção de um concentrador solar de boa eficiência e baixo custo (Cuce; Cuce, 2013), com exemplificação de uso para aquecimento de água. Contudo, ressalta-se que o concentrador solar pode ser utilizado para aquecer refeições, cocção, secagem de alimentos, entre outras aplicações (Ringelsen et al., 2014).

## Materiais

Para construir o concentrador solar, foram selecionados materiais simples. A Tabela 1 descreve os materiais necessários para a construção do equipamento.

---

<sup>1</sup> Fernanda Medeiros e Silva, engenheira civil, mestranda em Engenharia Civil pela Universidade de Brasília, Brasília, DF. Wellington Rangel dos Santos, cientista da computação, mestre em Educação Física, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF. Emerson Léo Schultz, engenheiro químico, doutor em Engenharia Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF. Felipe Brandão de Paiva Carvalho, engenheiro bioquímico, mestre em Tecnologias Química e Biológica, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF. Larissa Andreani, química, doutora em Físico-Química, analista da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF. Leonardo Fonseca Valadares, químico, doutor em Físico-Química, pesquisador da Embrapa Agroenergia, Brasília, DF.

**Tabela 1.** Lista de materiais necessários para a construção de concentrador solar de 1 m<sup>2</sup>. Os materiais listados aqui são apenas sugestões. As cotações de valores foram realizadas em 2020.

Material	Quantidade	Especificações unitárias	Valor (R\$)
Espelhos	25 unidades	20 cm x 20 cm	240,50
Compensado marítimo	1 unidade	18 mm x 2 m <sup>2</sup>	140,00
Barra de aço perfil quadrado (4 x 4 cm)	7 metros	4 cm x 4 cm	185,33
Barra de aço perfil “L” (dimensões)	4 metros	1” x 1/8”	15,39
Barra de aço de perfil chato	4 metros	20 mm x 3 mm	38,44
Barra de aço de perfil chato	1,4 metros	33 mm x 3 mm	9,92
Rodas com travas	4 unidades	7,5 cm de diâmetro	20,00
Parafusos sextavados	75 unidades	10 cm x 6 mm	39,00
Porcas sextavadas	75 unidades	para o parafuso	8,25
Porcas sextavadas largas	75 unidades	para o parafuso	9,00
Parafusos Phillips para madeira	150 unidades	1 cm	19,50
Cola para espelhos	1 tubo	400 g	16,00
Chapa de aço para confecção da cartola	1 unidade	20 cm x 20 cm	1,92
Panela com tampa <sup>(1)</sup>	1 unidade	22 cm de diâmetro	206,00 <sup>(1)</sup>
Lona de plástico	1 unidade	2 m <sup>2</sup>	17,73
Tinta para acabamento	1 tubo	400 mL	23,23
Parafuso para eixo da plataforma			~5,00
Eletrodos de solda			10,00
Valor total <sup>(1)</sup>			799,21

<sup>(1)</sup>O valor do material utilizado como receptor não foi incluído no valor total.

## Construção do concentrador solar

O concentrador solar de 1 m<sup>2</sup> foi construído de metal, madeira compensada, parafusos e espelhos. Este concentrador solar é formado por 25 espelhos montados sobre madeira com auxílio de parafusos de modo a regular a posição relativa de cada espelho a fim de refletirem os raios no receptor (forno).

O sistema concentra energia inferior à incidência de 25 sóis e pode alcançar 200 °C, sem conteúdo no receptor. Este concentrador não possui sistema automático de rastreamento solar, ou seja, a movimentação é feita manualmente. Uma fotografia do concentrador solar é mostrada na Figura 1. O equipamento tem três partes principais: a base com rodas, o painel de espelhos e o receptor. A base tem como função direcionar o painel, que, por sua vez, possui 25 espelhos que refletem a luz do sol no receptor, que aquece. O equipamento foi construído com R\$ 799,21 de investimento, o equivalente a US\$ 150,80, considerando a cotação do dólar a R\$ 5,30.

As fotografias mostram as partes de um concentrador solar construído com os materiais citados na Tabela 1.

Inicia-se pela base, onde são necessárias quatro barras de perfil quadrado de 1 m, que são soldadas, formando um quadrado (Figura 1). Também são soldadas quatro rodas com travas na parte inferior do quadrado, para locomoção da estrutura e auxiliar na operação



**Figura 1.** Concentrador solar de um metro quadrado com painela no receptor. Suas principais partes são: base com roda, painel de espelhos e receptor.

do equipamento. Nas extremidades do quadrado, são soldadas duas barras na diagonal, o que deve ser feito em todos os vértices do quadrado.

Na parte superior das barras diagonais, solda-se uma barra de perfil quadrado na posição horizontal (Figura 2), onde será colocado o eixo de rotação do painel de espelhos, com parafusos, porcas e arruelas (Figura 3).



**Figura 2.** Encaixe da base com o painel. Este eixo é utilizado para direcionar o painel ao sol, regulando as coordenadas de altitude ou zênite.



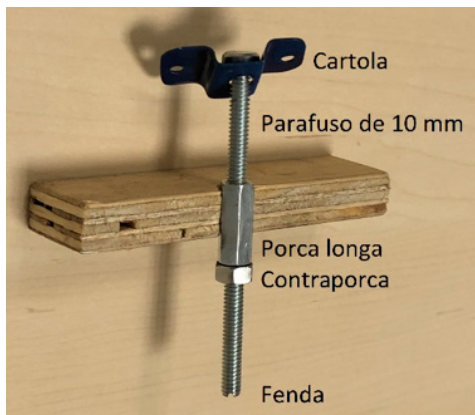
**Figura 3.** Parafuso que forma o eixo utilizado para direcionar o painel ao sol.

O painel de espelhos foi construído sobre quatro barras de aço de perfil L, também conhecidas como cantoneiras, soldadas nas pontas em formato de quadro. É necessário um suporte para fixar o eixo acima do painel de espelhos, para que o painel fique equilibrado. Sobre as cantoneiras, foi encaixado 1 m<sup>2</sup> de compensado.

Cada espelho foi colado em pedaço de madeira compensada de tamanho semelhante. Para o direcionamento do espelho, utilizaram-se três conjuntos formados por um parafuso sextavado de pelo menos 10 cm, uma porca longa que atravessa a madeira compensada e uma contraporca comum, para travar a posição (Figura 4).

Cada parafuso deverá ter sua cabeça esmerilhada para encaixe na cartola e sua ponta cortada com uma serra cegueta em formato de fenda, para manipular com chave de fenda, o que é útil

na calibração do equipamento (Figura 4). Três parafusos atravessam as cartolas, que são fixadas na parte de trás do compensado que segura cada espelho (Figura 5).



**Figura 4.** Peças que posicionam os espelhos. A cartola é uma peça feita de chapa de aço que é presa à madeira onde está o espelho. O parafuso de 10 mm deve ter uma fenda (feita com serra cegueta) e a cabeça esmerilhada na parte interna. Uma porca longa atravessa o compensado que forma o painel. Uma contraporca é utilizada para travar a posição do parafuso.



**Figura 5.** Mecanismo de direcionamento dos espelhos.

Para a construção do suporte do receptor, foram fixadas quatro barras chatas de cerca de 1 m, duas nas laterais (uma em cada lado) e duas no lado inferior do painel (Figura 6).



**Figura 6.** Suporte do receptor.

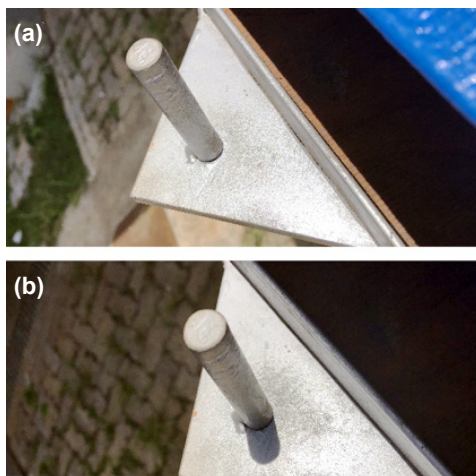
Acima das barras verticais do forno, foram soldadas duas barras chatas em sentido perpendicular, para fixar o suporte circular no qual se encaixa a panela (Figura 7), com um parafuso, para



**Figura 7.** Suporte para o receptor para encaixe da panela. Esta parte deve ser construída em aço para resistir ao calor.

adaptá-lo ao diâmetro do recipiente, travando a panela na posição desejada.

Ao painel fixou-se um tarugo de metal perpendicular ao plano formado pelo painel de espelhos. Esse tarugo de metal tem a função de indicar a posição do painel para melhor aproveitamento da radiação solar (Figura 8).



**Figura 8.** Posicionador do painel formado por tarugo de metal posicionado perpendicularmente ao plano do painel de espelhos. (a) A imagem mostra que o painel está corretamente posicionado, pois não há projeção de sombra. (b) A imagem mostra que o painel não está corretamente posicionado, pois há projeção de sombra.

Por fim, em cada extremidade do painel, fixou-se um parafuso no compensado para segurar uma lona. Essa lona serve para interromper o funcionamento do equipamento ou para sua preservação, quando não estiver sendo utilizado (Figura 9). O equipamento foi pintado para acabamento e resistência à corrosão.



**Figura 9.** Lona utilizada para interromper o funcionamento do concentrador solar. Esta lona deve ficar presa ao concentrador solar, para não ser arrastada pelo vento.

## Calibração e uso do forno solar

Inicialmente o equipamento deve ser calibrado de forma que cada espelho reflita a luz do sol no receptor. Para calibrá-lo, o painel deve ser apontado para o sol de modo que o tarugo de metal não apresente sombra (Figura 8a).

Com o equipamento apontado para o sol, lonas devem ser dispostas no painel a fim de tampar os espelhos, deixando apenas um espelho exposto ao sol. Este espelho deve ter sua posição ajustada com a chave de fenda, ajustando os três parafusos direcionadores. As contraporcas são utilizadas para travar a posição. Esse processo deve ser repetido para cada espelho.

Para utilizar o concentrador solar, coloque o equipamento em superfície plana. Carregue o forno e retire a lona, direcionando o equipamento para o sol

frequentemente, utilizando as rodas e o eixo de altitude. Antes de manipular o forno, o concentrador deve ser inativado com a lona.

## Experimentos de aquecimento

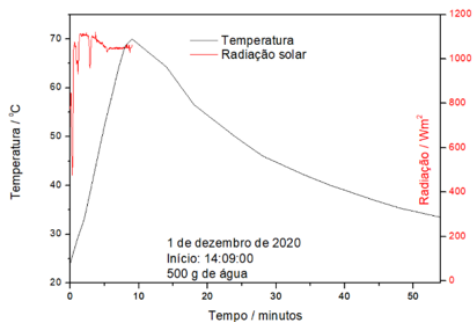
Para verificar a capacidade do concentrador solar para o aquecimento de água, foram conduzidos experimentos com quantidade predeterminada de água destilada adicionada ao forno, que foi ajustado no foco do concentrador solar. Acompanhou-se o aquecimento da água utilizando um termopar (IncoTerm). A intensidade da radiação solar foi acompanhada com um solarímetro com registro automático (Instrufiber, modelo MES-200). A massa inicial e final das amostras foi aferida em balança semianalítica (Sartorius).

## Resultados

A Figura 10 mostra um ensaio de aquecimento e resfriamento de 500 g de água. A radiação difusa medida na sombra, perto do local de operação, atingiu cerca de  $60 \text{ W/m}^2$ .

A Figura 10 mostra a evolução da temperatura ao longo do tempo de exposição ao sol até 9 minutos, quando a água atingiu  $70 \text{ }^\circ\text{C}$ , e o sistema foi inativado com lona e colocado na sombra para resfriar. Após o aquecimento, em 45 minutos o sistema resfriou a  $33,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Portanto, uma velocidade de

aquecimento de  $5,1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e resfriamento de  $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ .

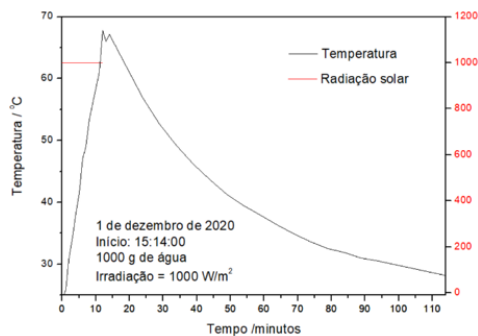


**Figura 10.** Aquecimento e resfriamento de 500 g de água em concentrador solar. A partir de 9 minutos o sistema foi inativado e colocado na sombra para resfriar.

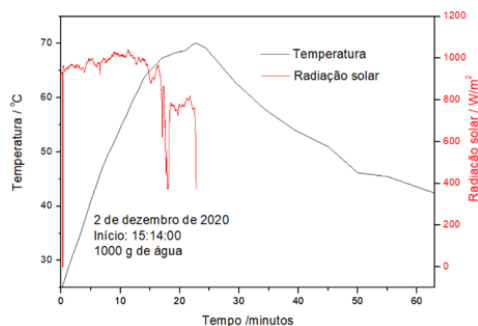
Ao fim do experimento, verificou-se uma redução de 25,88 gramas, ou seja, 5,17%, que se deu por meio da evaporação da água.

A Figura 11 mostra experimento de aquecimento e resfriamento utilizando 1000 g de água. O aquecimento se deu até  $67,8\text{ }^{\circ}\text{C}$  em 12 minutos, quando nuvens bloquearam o sol. Após 14 minutos o concentrador foi inativado. Foi medido aquecimento de  $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e resfriamento de  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Neste experimento houve redução de 30,21 g de massa, 3,02%, devido à evaporação.

O experimento realizado no dia 02/12/2020 foi feito em dia com nuvens leves, iniciando com temperatura de  $24,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  e massa de água de 1000 g (Figura 12).



**Figura 11.** Aquecimento e resfriamento de 1000 g de água em concentrador solar. A partir de 14 minutos o sistema foi inativado e colocado na sombra para resfriar.



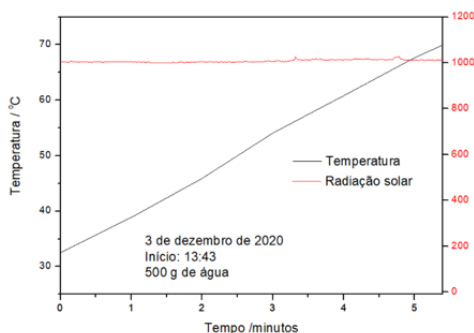
**Figura 12.** Aquecimento e resfriamento de 1000 g de água em concentrador solar medido no dia 01/12/2020. O clima estava nublado. A partir de 22 minutos e 40 segundos, o sistema foi inativado e colocado na sombra para resfriar.

Neste experimento o aquecimento da água durou 22 minutos e 40 segundos, atingindo os  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ , obtendo aquecimento de  $3,88\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Já o resfriamento foi observado até chegar à temperatura de  $42,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  com taxa de  $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{min}$ . Houve uma redução de 28,54 g, totalizando 2,85%.



No dia 3/12/2020 foram realizados 3 experimentos de aquecimento de 500 g de água. As medidas são mostradas nas Figuras 13, 14 e 15.

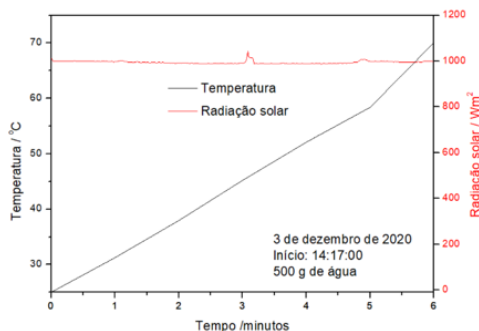
A Figura 13 mostra taxa de aquecimento de 6,9 °C/min em tempo ensolarado até 70 °C. Após o aquecimento, verificou-se perda de 86,05 g de água: 17,19% da massa inicial.



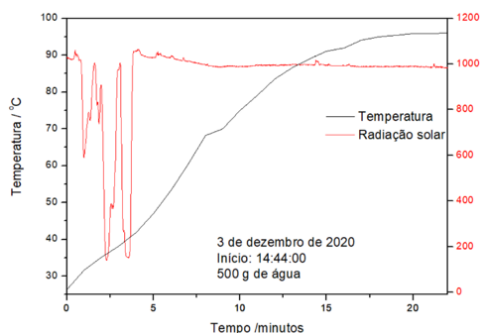
**Figura 13.** Aquecimento de 500 g de água em função do tempo de exposição no concentrador solar.

A Figura 14 mostra taxa de aquecimento de 7,5 °C/min em dia ensolarado até 70 °C. Após o aquecimento, verificou-se perda de 64,18 g de água: 12,85% da massa inicial.

A Figura 15 mostra taxa de aquecimento de 3,2 °C/min. O clima apresentou nuvens e brisa no início do experimento, mas o tempo ficou ensolarado a partir de 4 minutos de medida. O experimento foi conduzido até a estabilização da temperatura em 96 °C, ou seja, variação de 69,6 °C.



**Figura 14.** Aquecimento de 500 g de água em função do tempo de exposição no concentrador solar.



**Figura 15.** Aquecimento de 500 g de água em função do tempo de exposição no concentrador solar.

Para a determinação da potência do equipamento e da eficiência do concentrador solar (Nahar, 2003) em transformar a radiação solar em aquecimento da água, foi aplicada a Primeira Lei da Termodinâmica, resultando na Equação 1:

$$P = \frac{q}{t} = \frac{\Delta H}{t} = \frac{(m_{\text{água}} \cdot C_{p,\text{água}} + m_{\text{alum}} \cdot C_{p,\text{alum}}) \cdot \Delta T}{t} \quad (1)$$

em que

$P$  = potência (W)

$q$  = calor transferido (J)

$t$  = tempo de aquecimento (s)

$\Delta H$  = variação de entalpia (J)

$m$  = massa dos materiais (g)

$C_p$  = calor específico dos materiais (J/g·°C)

$\Delta T$  = variação da temperatura (°C) no intervalo de tempo  $t$ .

Nos cálculos foi considerada a massa de 597 g do receptor de alumínio, a massa de água no interior do receptor (500 g), o calor específico ( $c$ ) do alumínio de 0,92 J /g.°C e o  $c$  da água de 4,19 J/g.°C. Assim, foi possível calcular a eficiência do equipamento (Equação 2).

$$\eta = \frac{P}{P_{\text{solar}}} \times 100 \quad (2)$$

em que

$\eta$  = eficiência solar no painel (%)

$P$  = potência calculada (W)

$P_{\text{solar}}$  = potência solar medida pelo solarímetro (W)

Com a radiação solar média de 1000 W/m<sup>2</sup>, o equipamento apresentou eficiência ( $\eta$ ) de 33% para aquecimento de água com radiação solar e consegue fornecer potência de 330 W, considerando a taxa de aquecimento de 7,5 °C/min medida na Figura 14.

## Conclusões

É possível construir um concentrador solar de 1 m<sup>2</sup> com R\$ 799,21 e mão de obra especializada.

O equipamento pode ser redimensionado ou personalizado para diferentes tarefas.

O equipamento mostrado aqui é capaz de fornecer cerca de 330 W em momentos ensolarados (~1000 W/m<sup>2</sup>), sem qualquer consumo de energia elétrica ou gás. O concentrador solar apresenta eficiência máxima de 33% para transformar radiação solar em calor.

## Agradecimentos

Ao técnico Juarez Lopes da Silva, pela montagem das estruturas e calibrações do equipamento.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Distrito Federal (FAP-DF), pelo apoio financeiro (Processo 0193.001631/2017 – TOA 1628/2017).

## Referências

ACAATINGA. **Forno solar**. Disponível em: <https://www.acaatinga.org.br/wp-content/uploads/cartilha-forno-solar.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2021.

CUCE, E.; CUCE, P. M. A comprehensive review on solar cookers. **Applied Energy**, v. 102, p. 1399-1421, Feb. 2013. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2012.09.002>.

KALOGIROU, S. A. **Solar energy engineering: processes and systems**. Burlington: Academic Press, 2009. 778 p.

NAHAR, A. Performance and testing of a hot box storage solar cooker. **Energy Conversion and Management**, v. 44, n. 8, p. 1323-1331, 2003. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0196-8904\(02\)00113-9](https://doi.org/10.1016/S0196-8904(02)00113-9).

NREL. **Concentrating solar power projects**. Disponível em: <https://solarpaces.nrel.gov/>. Acesso em: 16 jan. 2021.

RINGEISEN, B.; BARRETT, D. M.; STROEVE, P. Concentrated solar drying of tomatoes. **Energy for Sustainable Development**, v. 19, p. 47-55, Apr. 2014. DOI <https://doi.org/10.1016/j.esd.2013.11.006>.

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Agroenergia**  
**Unidade Responsável**  
Parque Estação Biológica (PqEB), s/nº  
Ed. Embrapa Agroenergia  
Caixa Postal 40315  
CEP 70770-901, Brasília, DF  
Fone: +55 (61) 3448-1581  
Fax: +55 (61) 3448-1589  
[www.embrapa.br/agroenergia](http://www.embrapa.br/agroenergia)  
[www.embrapa.br/fale-conosco/sac/](http://www.embrapa.br/fale-conosco/sac/)

**1ª edição**  
Publicação digital (2021)

**Embrapa**

MINISTÉRIO DA  
AGRICULTURA, PECUÁRIA  
E ABASTECIMENTO



Comitê Local de Publicações  
da Embrapa Agroenergia

Presidente  
*Patrícia Verardi Abdelnur*  
Secretária-Executiva  
*Lorena Costa Garcia Calsing*

Membros  
*Adilson Kenji Kobayashi, André Pereira Leão,  
Dasciana de Sousa Rodrigues, Emerson Léo  
Schultz, Felipe Brandão de Paiva Carvalho,  
Thais Fabiana Chan Salum,  
Wesley Gabriel de Oliveira Leal*

Supervisão editorial e revisão de texto  
*Luciane Chedid Melo Borges*

Normalização bibliográfica  
*Rejane Maria de Oliveira*

Tratamento das ilustrações  
*Maria Goreti Braga dos Santos*

Projeto gráfico da coleção  
*Carlos Eduardo Felice Barbeiro*

Editoração eletrônica  
*Maria Goreti Braga dos Santos*

Fotos  
*Leonardo Fonseca Valadares*

Foto da capa  
*André Scofano Maia Porto*