



**XXIV SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/29

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO – 2**

**GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS - GPT**

**CONFIGURAÇÕES OTIMIZADAS DE UMA PLANTA SOLAR COM CONCENTRAÇÃO DO TIPO TORRE CENTRAL NA ÁREA LIMITADA DO TERRENO DESTINADO À PLATAFORMA EXPERIMENTAL DE ENERGIA SOLAR**

**Ana Paula Cardoso Guimarães(\*)  
CEPEL**

**Leonardo dos Reis Vieira  
CEPEL**

**Pablo de Abreu Lisboa  
CEPEL**

**RESUMO**

Este trabalho tem como objetivo avaliar as configurações possíveis de uma planta heliotérmica com tecnologia de torre central para ser instalada numa determinada área do terreno destinado à Plataforma Experimental de Energia Solar, localizado nas proximidades de Petrolina. Neste terreno já estão previstas as instalações de duas plantas com tecnologias distintas: heliotérmica (1MWe) e fotovoltaica (3MWe). Desta forma, foram avaliadas diversas alternativas para instalação de um sistema com e sem armazenamento térmico na área disponível, variando-se o tamanho da torre, o tamanho do campo solar, a potência do gerador e o tempo de armazenamento. Entre as alternativas avaliadas, foram selecionadas aquelas que resultam em maior geração de energia e menor custo de geração.

**PALAVRAS-CHAVE**

Planta heliotérmica, tecnologia de torre central, CSP, energia solar

**1.0 - INTRODUÇÃO**

No Brasil, na região do semiárido, a geração de energia elétrica a partir da energia solar de alta temperatura vem despertando um interesse crescente devido aos elevados valores de irradiação solar direta, comparáveis àqueles incidentes no sul da Espanha, onde se deu o desenvolvimento de projetos de geração de energia elétrica utilizando a tecnologia heliotérmica CSP (Concentrating Solar Power). No Brasil, decidiu-se avaliar a viabilidade deste tipo de tecnologia mediante a implantação de plantas piloto de geração heliotérmica com tecnologias distintas em local apropriado. Por este motivo, no final do ano de 2012, deu-se início ao Projeto Helioterm (Vieira(1)), que tem como objetivo a implantação pioneira no país de uma planta piloto com potência de 1 MWe sem armazenamento térmico, utilizando a tecnologia de cilindros parabólicos, na região do semiárido. Trata-se da primeira fase referente à construção de uma Plataforma de Pesquisa Experimental para o desenvolvimento da energia solar no país, abrangendo diversos tipos de tecnologia e seguindo os moldes de plataformas de pesquisa existentes no exterior. A planta piloto deverá ser construída em um terreno cedido pela Codevasf ao Cepel, próximo à cidade de Petrolina, no qual deverá ser instalada também uma planta solar fotovoltaica de 3,5 MWe, em outro projeto, coordenado pela Chesf.

Este trabalho tem como objetivo avaliar as configurações possíveis de uma outra planta piloto, também com tecnologia heliotérmica e do tipo torre central, para ser instalada na área disponível no mesmo terreno destinado aos projetos Helioterm e Fotovoltaico já previstos.

O programa computacional SAM (System Advisor Model) desenvolvido pelo NREL (National Renewable Energy Laboratory) foi utilizado para estimar o tamanho do campo solar, a produção anual de energia elétrica e o custo anualizado de produção de energia elétrica para o sistema com torre central e receptor do tipo externo. A escolha

(\*) Av. Horácio Macedo, 354 - Cidade Universitária - CEP 21941-911 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil - Tel.: 21 2598.6000 - Fax: 21 2260.1340 - Email: pcardoso@cepel.br

de melhor alternativa para maximização da quantidade de energia de uma planta CSP do tipo torre central sob condições de limitação de terreno é um processo complexo, em função das diversas variáveis que afetam custo e eficiência simultaneamente, entre elas, a altura da torre e a disposição dos heliostatos. Diversas alternativas de potência da planta, de tamanho da torre e de tamanho do campo solar foram avaliadas em conjunto com diferentes valores para o múltiplo solar (MS) e para diferentes períodos de armazenamento térmico.

## 2.0 - METODOLOGIA

A avaliação foi realizada utilizando-se o programa computacional SAM na versão 2015.6.30 e disponível em <https://sam.nrel.gov/download>. Este programa simula o desempenho e estima os custos de sistemas de energia renovável tais como: fotovoltaicos, energia solar com concentração, aquecimento solar de água, eólicos, geotérmicos e à base de biomassa. Em sistemas de energia solar com concentração do tipo torre, o programa efetua cálculos de otimização buscando uma configuração que possua o menor custo de geração de energia. O resultado da otimização inclui o número de heliostatos, a configuração do campo solar (distribuição dos heliostatos), a altura da torre e as dimensões do receptor. Dados de entrada tais como a potência de projeto, os custos capitais, as limitações do terreno e parâmetros de eficiência de vários componentes do sistema são fornecidos pelo usuário. Em uma segunda etapa, para o sistema otimizado, é realizada uma simulação ao longo do ano, considerando dados climáticos da região e diversos outros parâmetros de entrada característicos da planta. Os resultados dessa simulação são a produção de energia anual (e em base horária), os custos de geração de energia, o fator de capacidade, entre outros. Opções avançadas de simulação do SAM incluem parametrização, análises de sensibilidade e análises estatísticas.

O programa SAM foi utilizado para estimar o tamanho do campo solar, a produção anual de energia elétrica e o custo anualizado de produção de energia elétrica para sistemas com torre central e receptor do tipo externo. Diversas alternativas de potência de planta foram avaliadas em conjunto com diferentes valores para o múltiplo solar (MS)<sup>1</sup> e para diferentes tempos de armazenamento térmico. As simulações consideraram também como restrição a área disponível do terreno em questão, na região do Pontal Sul, em Petrolina, excluindo-se desta, as áreas já previstas para serem ocupadas pelos Projetos Helioterm (CSP – cilindro parabólico) e Fotovoltaico (ambos integrados à rede).

Em resumo, foi adotado o seguinte procedimento:

- a) identificação da área disponível
- b) avaliação da área do campo solar necessária, da energia a ser produzida e do custo de geração para diversas configurações de sistemas sem restrições no tamanho do terreno e, posteriormente, considerando a área disponível no terreno em Petrolina.

As simulações realizadas foram limitadas às seguintes variáveis:

- potência da planta: 1, 3 e 5 MWe
  - múltiplo solar: 1, 1,5 e 2
  - tempo de armazenamento: 0, 3 e 5 horas
  - altura da torre: entre 30 e 70 metros
- c) das simulações efetuadas de acordo com o item anterior foram escolhidas as configurações de maior energia anual gerada e/ou de menor custo de geração de energia, buscando-se identificar as instalações do tipo torre central e com receptor externo compatíveis com a disponibilidade de área no terreno.

Em todas as simulações foram considerados como dados de entrada os valores-padrão (“default”) do SAM para torre central com receptor externo e armazenamento térmico com sal fundido, com as seguintes exceções apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1 – Parâmetros adotados nas simulações diferentes dos valores-padrão do SAM.

Parâmetro	Valor	Justificativa
Eficiência total do ciclo de potência	0,25	Valor adotado no projeto básico da planta CSP-Helioterm, indicado para sistemas de pequeno porte
Dimensões dos espelhos	6 m x 6 m	Dimensão reduzida em função da limitação do terreno
DNI de projeto	850 W/m <sup>2</sup>	Valor adotado no projeto básico da planta CSP-Helioterm
Tamanho inicial do receptor para o processo de otimização	Altura: 5 m Diâmetro: 3m	Dimensões compatíveis com o tamanho da torre adotado nas simulações (SAM HELP (2))

<sup>1</sup> No SAM, para sistemas de torre central, o múltiplo solar é a relação entre a potência térmica na saída do receptor e a potência térmica na entrada do bloco de energia necessária para fornecer a potência nominal da turbina. Para sistemas com múltiplo solar igual a 1, a área do campo solar é a menor área capaz de suprir a potência nominal da turbina nas condições de projeto.

Os resultados são apresentados a seguir para cada um dos itens do procedimento (a até c), listados na seção anterior.

### 2.1 Identificação da área disponível

A Figura 1 mostra as áreas a serem ocupadas pelos projetos Helioterm e Fotovoltaico e a área disponível no terreno cedido pela Codevasf. A área a ser ocupada pelo Projeto Helioterm é de 9,45 ha, e a do projeto Fotovoltaico é de 5,06 ha. Acima da área do projeto Fotovoltaico e no lado esquerdo da área do Projeto Helioterm há uma disponibilidade de aproximadamente 13,2 ha, que poderia ser utilizada para a instalação de um campo solar em um projeto CSP com torre central. Para o tipo de receptor considerado (receptor externo), o formato do campo solar é aproximadamente circular. À esquerda da área disponível há um canal de drenagem, o que limitou a disponibilidade do terreno para a implantação de um campo solar nos limites apresentados. Por este motivo, neste trabalho será considerada disponível, a área relativa aos 13,2 ha, localizada acima daquela ocupada pelo projeto Fotovoltaico e no lado esquerdo da área do Projeto Helioterm. Nesta região disponível, o comprimento na direção norte sul é de aproximadamente 300 metros, o que limita o raio de um campo solar circular para um sistema com torre central com receptor externo no valor de aproximadamente 150 metros. Na direção leste oeste, o comprimento é de aproximadamente 430 metros. Nota-se que embora o terreno possua uma área disponível de 13,2 hectares, não é possível instalar um campo solar utilizando a totalidade da área devido ao formato do campo. Por exemplo, para um campo solar circular ao redor da torre, a área máxima que poderia ser ocupada pelo campo solar seria de aproximadamente 7 hectares, correspondente a um raio de 150 metros.



Figura 1 – Áreas dos projetos já existentes e área disponível.

### 2.2 Simulações com múltiplo solar unitário, sem armazenamento térmico

Foram realizadas diversas simulações variando-se a potência bruta de uma planta sem armazenamento com múltiplo solar igual a 1 e diversas alturas de torre. As Tabelas 2, 3 e 4 mostram, respectivamente para configurações de 1 MWe, 3 MWe e 5 MWe, os resultados das simulações indicando a altura da torre, o fator de capacidade, o custo nivelado de energia, a área do campo solar, a energia elétrica produzida, os afastamentos máximos em relação à torre dos heliostatos nas direções horizontal (x) e vertical (y), e a informação se o campo solar ultrapassa ou não a área disponível. Em cada uma destas tabelas, o custo nivelado da energia gerada foi adimensionalizado tomando como referência a configuração de menor custo nivelado que cabe dentro da área disponível. As configurações de menor custo nivelado que cabem no terreno encontram-se destacadas nas tabelas.

TABELA 2 – Resultados das simulações para plantas de potência de 1 MWe, com múltiplo solar igual a 1 e sem armazenamento térmico.

Potência (MWe)	Altura torre (m)	Fator de capac. (%)	Custo nivelado de energia (adim.)	Área do campo solar (hectares)	Energia anual gerada (kWh/e)	Maiores distâncias para a torre		Dentro da área disponível (sim/não)
						x (m)	y (m)	
1	33,9	11,3	1,044	2,51	858.286	100,0	109,3	sim
1	41,5	11,5	1,058	2,40	878.031	93,1	100,3	sim
1	49,6	11,1	1,189	2,51	845.477	94,5	105,8	sim
1	<b>37,7</b>	<b>11,8</b>	<b>1,000</b>	<b>2,43</b>	<b>900.968</b>	<b>90,9</b>	<b>91,7</b>	<b>sim</b>
1	42,6	11,7	1,050	2,39	888.310	92,4	93,6	sim

TABELA 3 – Resultados das simulações para plantas de potência de 3 MWe, com múltiplo solar igual a 1 e sem armazenamento térmico.

Potência (MWe)	Altura torre (m)	Fator de capac. (%)	Custo nivelado de energia (adim.)	Área do campo solar (hectares)	Energia anual gerada (kWh/e)	Maiores distâncias para a torre		Dentro da área disponível (sim/não)
						x (m)	y (m)	
3	<b>52,9</b>	<b>13,1</b>	<b>1,000</b>	<b>6,59</b>	<b>3.003.662</b>	<b>144,9</b>	<b>144,9</b>	<b>sim</b>
3	61,3	13,1	1,024	6,78	3.006.398	147,1	147,0	sim
3	70,1	12,8	1,108	6,78	2.929.895	150,7	151,0	sim
3	49,2	13,2	0,982	7,84	3.007.256	164,7	187,1	não
3	38,5	13,4	0,932	10,07	3.071.085	189,6	207,3	não
3	61,3	13,1	1,024	6,78	3.006.398	147,1	147,0	sim

TABELA 4 – Resultados das simulações para plantas de potência de 5 MWe, com múltiplo solar igual a 1 e sem armazenamento térmico.

Potência (MWe)	Altura torre (m)	Fator de capac. (%)	Custo nivelado de energia (adim.)	Área do campo solar (hectares)	Energia anual gerada (kWh/e)	Maiores distâncias para a torre		Dentro da área disponível (sim/não)
						x (m)	y (m)	
5	51,8	4,8	1,341	6,59	1.837.940	144,9	144,8	sim
5	<b>60,8</b>	<b>6,5</b>	<b>1,000</b>	<b>6,77</b>	<b>2.469.358</b>	<b>146,9</b>	<b>146,7</b>	<b>sim</b>
5	71,8	4,3	1,570	6,01	1.644.259	138,4	138,4	sim
5	78,6	7,8	0,939	7,62	2.977.567	155,8	155,6	não
5	49,7	13,9	0,520	15,60	5.279.569	237,2	254,9	não
5	54,0	13,7	0,539	14,40	5.219.765	230,6	244,5	não

A Tabela 2 mostra que todas as configurações avaliadas para a potência de 1 MWe cabem na área disponível do terreno. Entre as diversas alturas de torre, a que forneceu menor custo de energia foi a torre de 37,7 metros. No entanto, o mesmo não acontece para as potências de 3 MWe e 5 MWe, como evidenciado nas Tabelas 3 e 4, respectivamente. Para 3 MWe, o tamanho de torre que apresentou melhores resultados foi de 38,5 metros, porém para esta configuração, o tamanho do campo solar é maior do que a área disponível. Fato semelhante ocorre para a configuração com potência de 5 MWe. Observa-se que a planta de 5 MWe de potência com torre de 49,7 metros apresenta o maior valor de energia produzida e o menor valor do custo nivelado de energia, resultando no melhor custo/benefício entre as configurações em questão. Entretanto, esta planta ultrapassa os limites do terreno disponível.

As Figuras 2, 3 e 4 mostram as informações de custo nivelado da energia e a energia produzida em função da altura da torre para as configurações de 1, 3 e 5 MWe, respectivamente. Como nas Tabelas 2, 3 e 4, nestes gráficos os custos apresentados foram normalizados, considerando como referência o menor custo nivelado obtido entre as configurações que cabem dentro do terreno. Porém, a informação da energia produzida também foi adimensionalizada, tomando-se como referência a mesma configuração adotada para normalização do custo. Nestas figuras, é mais fácil comparar as diferenças percentuais do custo e da energia produzida entre as diversas alternativas.

Na Figura 2 fica mais evidente que a configuração de menor custo coincide com a configuração de maior energia produzida e corresponde à torre de altura de, aproximadamente, 38 metros.

A Figura 3 mostra que a configuração de menor custo e maior energia, para a potência de 3 MWe, considerando a limitação de área do terreno corresponde à altura de torre de aproximadamente 53 metros. Caso seja admitido um campo solar maior, a Figura 3 indica que o custo de geração pode ser reduzido em, aproximadamente, 7%, utilizando-se uma torre com altura próxima a 38 metros, fornecendo, ainda, um pequeno aumento da quantidade de energia gerada.

A Figura 4 mostra que a configuração de menor custo e maior energia, para a potência de 5 MWe, considerando a limitação de área do terreno corresponde à altura de torre de, aproximadamente, 62 metros. Caso seja admitido um

campo solar maior, a Figura 4 indica que o custo de geração pode ser reduzido em, aproximadamente, 50%, utilizando-se uma torre com altura próxima de 50 metros, com aumento considerável da quantidade de energia gerada.

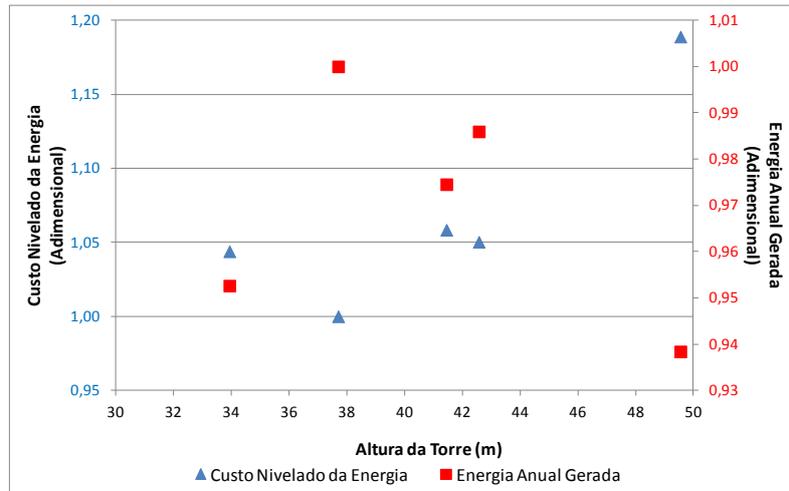


Figura 2 – Custo nivelado da energia e energia produzida para plantas com potência de 1 MWe, sem armazenamento e com múltiplo solar igual a 1.

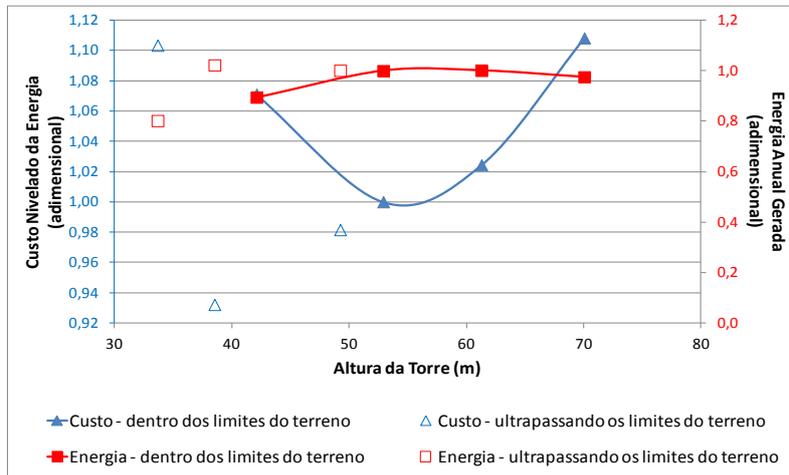


Figura 3 – Curvas do custo e da energia produzida para plantas com potência de 3 MWe, sem armazenamento e com múltiplo solar igual a 1.

A Figura 5 mostra uma comparação entre as melhores configurações obtidas nos casos anteriores, listados nas Tabelas 2, 3 e 4. As duas curvas indicam, respectivamente, as configurações nas quais o campo solar é menor do que a área disponível e as configurações nas quais o campo solar ultrapassa a área disponível. O parâmetro de comparação é o custo da energia e este valor foi adimensionalizado tendo como referência a configuração de 1 MWe de potência.

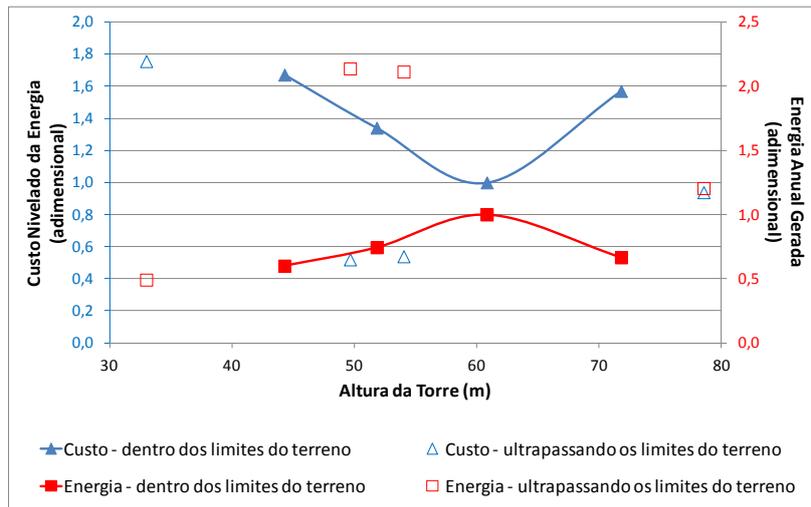


Figura 4 – Curvas do custo e da energia produzida para plantas com potência de 5 MWe, sem armazenamento com múltiplo solar igual a 1.

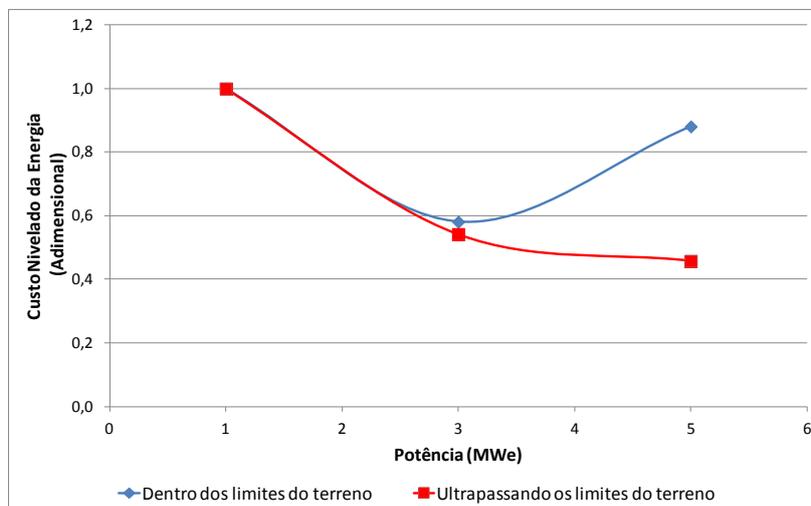


Figura 5 – Menores custos para as configurações com MS=1, sem armazenamento.

Nesta Figura fica evidente que sistemas maiores que 3 MWe e sem armazenamento térmico têm custo maior quando o campo solar é limitado à área disponível, o que comprova a inadequação de sistemas maiores que 3 MWe no terreno disponível.

Dentre todas as simulações estudadas até aqui, a configuração que apresentou o melhor custo/benefício, sem extrapolar os limites do terreno disponível, foi a planta de 3 MWe com altura de torre de 52,9 metros.

### 2.3 Simulações com potência bruta de 1,0 MWe, com armazenamento térmico

A partir do resultado obtido anteriormente, o qual indica a configuração de uma planta de 3 MWe de potência bruta sem armazenamento térmico como o melhor custo/benefício para a área disponível, foram realizadas novas simulações utilizando valores menores de potência para avaliar a inclusão de um sistema de armazenamento. Desta forma, diversos casos foram estudados em três níveis de potência: o primeiro utilizando a potência de 1,0 MWe (nesta seção), o segundo utilizando 1,5 MWe (ver seção 2.4) e o terceiro utilizando 2,0 MWe (ver seção 2.5). Foram também incluídas variações nos parâmetros referentes ao múltiplo solar (de 1 a 2) e às horas de armazenamento térmico (3 e 5h).

Na Tabela 5 são apresentados os resultados obtidos para a simulação de uma planta com potência bruta de 1,0 MWe. Nesta tabela, o custo da energia gerada foi adimensionalizado tomando-se como referência a configuração de menor custo que cabe dentro da área disponível.

TABELA 5 – Resultados das simulações para planta de 1,0 MWe, com múltiplos solares iguais a 1,5 e 2, com armazenamento térmico de 3 e 5 horas.

Potência (MWe)	Múltiplo solar	Armaz. (horas)	Altura torre (m)	Fator de capac. (%)	Custo nivelado de energia (adim.)	Área do campo solar (hectares)	Energia anual gerada (kWhe)	Maiores distâncias para a torre		Dentro da área disponível (sim/não)
								x (m)	y (m)	
1	1,5	3	37,4	20,0	1,076	3,92	1.522.562	118,5	128,7	sim
1	1,5	3	53,5	19,0	1,260	3,47	1.449.495	113,5	120,8	sim
1	2	3	39,4	27,5	0,735	9,82	3.149.252	188,0	204,6	não
1	2	3	60,2	26,1	0,852	6,88	2.982.989	154,9	172,0	não
1	1,5	5	37,4	19,7	1,108	3,92	1.500.248	118,5	128,7	sim
1	1,5	5	53,5	18,7	1,296	3,47	1.427.748	113,5	120,8	sim
1	2	5	30,2	29,2	0,811	7,86	2.224.668	167,4	185,9	não
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>55,2</b>	<b>26,7</b>	<b>1,000</b>	<b>4,54</b>	<b>2.033.663</b>	<b>129,0</b>	<b>143,8</b>	<b>sim</b>

A Tabela 5 indica que a configuração de menor custo e de maior produção de energia é aquela referente aos valores do MS de 2 e com 3 horas de armazenamento, com uma torre de 39,4 metros, porém ela não cabe na área disponível do terreno. Entre as configurações que cabem no terreno, a de menor custo é a de MS igual a 2, com 5 horas de armazenamento e torre de altura igual a 55,2 metros, opção destacada na tabela.

A configuração de menor custo e de maior produção de energia para a potência de 1,0 MWe, considerando a limitação de área do terreno, corresponde à altura de torre de, aproximadamente, 55 metros. Caso seja admitido um campo solar maior, o custo de geração pode ser reduzido em, aproximadamente, 25%, utilizando-se uma torre com altura próxima de 40 metros, com aumento da quantidade de energia gerada em mais de 50%.

#### 2.4 Simulação com potência bruta de 1,5 MWe, com armazenamento térmico

Nesta seção foi adotada a potência de 1,5 MWe, variando-se o múltiplo solar entre os valores de 1 a 2 e as horas de armazenamento entre os valores de 3 a 5 horas.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados obtidos para a simulação de uma planta com potência bruta de 1,5 MWe. Nesta tabela, o custo da energia gerada foi adimensionalizado tomando-se como referência a configuração de menor custo que cabe dentro da área disponível.

A Tabela 6 indica que a configuração de menor custo e de maior produção de energia é aquela referente aos valores do MS de 2 e com 3 horas de armazenamento, com uma torre de 39,4 metros, porém ela não cabe no terreno. Entre as configurações que cabem no terreno, a de menor custo é a de múltiplo solar igual a 2, com 3 horas de armazenamento e torre de altura igual a 41,6 metros.

TABELA 6 – Resultados das simulações para planta de 1,5 MWe, com múltiplos solares iguais a 1,5 e 2, com armazenamento térmico de 3 e 5 horas.

Potência (MWe)	Múltiplo solar	Armaz. (horas)	Altura torre (m)	Fator de capac. (%)	Custo nivelado de energia (adim.)	Área do campo solar (hectares)	Energia anual gerada (kWhe)	Maiores distâncias para a torre		Dentro da área disponível (sim/não)
								x (m)	y (m)	
<b>1,5</b>	<b>1,5</b>	<b>3</b>	<b>41,6</b>	<b>21,1</b>	<b>1,000</b>	<b>6,10</b>	<b>2.409.758</b>	<b>147,5</b>	<b>159,1</b>	<b>sim</b>
1,5	1,5	3	32,8	21,7	0,950	7,97	2.480.092	169,0	185,1	não
1,5	1,5	3	47,8	20,7	1,054	5,51	2.368.683	141,2	155,1	sim
1,5	2	3	39,4	27,5	0,851	9,82	3.149.252	188,0	204,6	não
1,5	2	3	60,2	26,1	0,986	6,88	2.982.989	154,9	172,0	não
1,5	1,5	5	41,6	20,8	1,030	6,10	2.381.435	147,5	159,1	sim
1,5	1,5	5	32,8	21,5	0,977	7,97	2.453.544	169,0	185,1	não
1,5	2	5	39,4	29,9	0,798	9,82	3.415.164	188,0	204,6	não
1,5	2	5	60,2	28,4	0,919	6,88	3.248.419	154,9	172,0	não

Conforme já mencionado a configuração de menor custo e de maior produção de energia, para a potência de 1,5 MWe, considerando a limitação de área do terreno corresponde à altura de torre de, aproximadamente, 41,6 metros. Caso seja admitido um campo solar maior, o custo de geração pode ser reduzido em, aproximadamente, 20%, utilizando-se uma torre com altura um pouco inferior a 40 metros. Nesta configuração, o aumento da quantidade de energia gerada é de cerca de 40%.

## 2.5 Simulação com potência bruta de 2 MWe, com armazenamento térmico

Nesta seção foi adotada a potência de 2 MWe, com múltiplo solar de 1,5 e considerando 3 horas de armazenamento.

Na Tabela 7 são apresentados os resultados obtidos para a simulação de uma planta com potência bruta de 2,0 MWe. Nesta tabela, o custo da energia anual gerada foi adimensionalizado tomando como referência a configuração de menor custo que cabe dentro da área disponível.

TABELA 7 – Resultados das simulações para planta de 2,0 MWe, com múltiplo solar igual a 1,5 com armazenamento térmico de 3 horas.

Potência (MWe)	Múltiplo solar	Armaz. (horas)	Altura torre (m)	Fator de capac. (%)	Custo nivelado de energia (adim.)	Área do campo solar (hectares)	Energia anual gerada (kWhe)	Maiores distâncias para a torre		Dentro da área disponível (sim/não)
								x (m)	y (m)	
2	1,5	3	41,5	19,6	1,000	6,84	2.981.757	147,6	147,7	sim
2	1,5	3	61,3	21,6	1,009	6,78	3.295.589	147,1	147,0	sim
2	1,5	3	74,9	20,6	1,191	6,62	3.132.945	153,7	153,6	não
2	1,5	3	39,4	22,0	0,924	9,82	3.359.699	188,0	204,6	não
2	1,5	3	60,2	21,1	1,050	6,88	3.223.596	154,9	172,0	não
2	1,5	3	68,1	20,9	1,099	6,73	3.180.956	157,1	172,9	não

A Tabela 7 indica que a configuração de menor custo nivelado de energia e maior energia produzida é aquela referente aos valores do MS de 1,5 e com 3 horas de armazenamento, com uma torre de 39,4 metros, porém ela não cabe no terreno. Entre as configurações que cabem no terreno, a de menor custo é a com múltiplo solar igual a 2, com 3 horas de armazenamento e torre de altura igual a 41,5 metros.

Conforme já mencionado a configuração de menor custo e de maior produção de energia, para a potência de 2,0 MWe, considerando a limitação de área do terreno corresponde à altura de torre um pouco superior a 40 metros. Caso seja admitido um campo solar maior, o custo de geração pode ser reduzido em, aproximadamente, 7%, utilizando-se uma torre com altura um pouco inferior a 40 metros, com aumento da quantidade de energia gerada de cerca de 10%.

## 3.0 - CONCLUSÃO

Foram analisadas diversas configurações de uma planta com tecnologia de torre central para ser instalada na área disponível do terreno destinado à Plataforma Experimental de Energia Solar. Os resultados mostram que, considerando os valores de menor custo nivelado de energia e de maior produção de energia (melhor custo/benefício), a área disponível é adequada para a implantação de uma das seguintes configurações:

- i) potência bruta de 3 MWe, sem armazenamento térmico, com múltiplo solar igual a 1;
- ii) potência bruta de 1,5 MWe, com armazenamento térmico de 3 ou 5 horas, com múltiplo solar igual a 1,5 e
- iii) potência bruta de 2 MWe, com armazenamento térmico de 3 horas, com múltiplo solar igual a 1,5.

A área disponível no terreno em questão não comporta, adequadamente, sistemas com valores de potências superiores a 3 MWe ou com valores de múltiplos solares maiores ou iguais a 2.

## 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Vieira, L. S. Reis, Guimarães, A.P.C., Bezerra, L. B., Serra, E.T., 2012. Projeto Básico de uma Central Heliotérmica de 1MW em Petrolina – PE. In: IV Congresso Brasileiro de Energia Solar e V Conferência Latino-Americana da ISES – São Paulo, 18 a 21 de setembro de 2012

(2) SAM Help - System Advisor Model - NREL (<https://sam.nrel.gov/sites/default/files/content/help/sam-help-2015-5-30.pdf>)

## 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

- Pablo de Abreu Lisboa;
- Nascimento: Rio de Janeiro, 16/05/1980;

- Formação: graduação em engenharia mecânica pela UERJ em 2004 / mestrado em engenharia mecânica pela UERJ em 2012;

- Ana Paula Cardoso Guimarães;

- Nascimento: Uberlândia, MG, 09/04/1964;

- Formação: graduação em engenharia mecânica pela PUC Minas em 1990 / mestrado em engenharia mecânica pela UFMG em 1995 / doutorado em engenharia mecânica pela COPPE/UFRJ em 2003.



- Leonardo dos Santos Reis Vieira;

- Nascimento: Rio de Janeiro, 16/06/1962;

- Formação: graduação em engenharia mecânica pelo IME em 1984 / mestrado em engenharia mecânica pela PUC-RJ em 1993 / doutorado em engenharia mecânica pela COPPE/UFRJ em 2003.