

# SIMULAÇÃO DE UM SISTEMA SOLAR COMBINADO EM UM HOSPITAL LOCALIZADO NO SEMIÁRIDO DO NORDESTE BRASILEIRO

*SIMULATION OF A COMBINE SOLAR SYSTEM IN A HOSPITAL LOCATED IN THE SEMI-ARID REGION OF BRAZILIAN NORTHEAST*

*SIMULACIÓN DE UN SISTEMA SOLAR COMBINADO EN UN HOSPITAL UBICADO EN LA REGIÓN SEMIÁRIDA DEL NORDESTE BRASILEÑO*

Diego Santos Correia de Melo<sup>1</sup>, Antonio Gabriel Souza Almeida<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento Acadêmico de Tecnologia Mecânica, Instituto Federal da Bahia, Salvador, Bahia, Brasil

*\*Correspondência: Campus Salvador, Instituto Federal da Bahia, Rua Emídio dos Santos, s/n, Barbalho, Salvador, Bahia, Brasil. CEP:40.301-015. e-mail gabrielalmeida@ifba.edu.br.*

Artigo recebido em 03/02/2022 aprovado em 30/09/2022 publicado em 28/02/2023.

## RESUMO

A energia solar é um recurso renovável e de alta disponibilidade. Com a crescente crise energética e os impactos ambientais causados pela emissão de gases do efeito estufa, a sua utilização se torna cada vez mais importante. A região Nordeste do Brasil, principalmente no semiárido, apresenta o mais elevado nível de irradiação solar do país e pouca nebulosidade, características vantajosas para sistemas com base nesse recurso. Apesar disso, a região sofre com altas temperaturas e crise hídrica, o que afeta o conforto térmico das pessoas e a geração de eletricidade, fazendo do Nordeste referência para aplicação de sistemas de poligeração. Utilizando simulação computacional, este estudo analisa a viabilidade de um sistema de geração combinada, climatização e eletricidade com energia solar, como fonte única, realizando um projeto piloto para instalação desse tipo de sistema em um hospital na cidade de Buritirama, no sertão baiano. O estudo desenvolvido demonstra viabilidade técnica para utilização do sistema, com ambas as demandas energéticas sendo totalmente fornecidas apenas por fonte solar, produzindo 145,6 MWh/a para o sistema térmico 53,49 MWh/a para o fotovoltaico, ambos acima da demanda.

**Palavras-chave:** energia solar, ar-condicionado, absorção solar, poligeração.

## ABSTRACT

*Solar energy is a renewable and highly available resource. With the growing energy crisis and the environmental impacts caused by the emission of greenhouse gases, its use becomes increasingly important. The Northeast region of Brazil, mainly in the semiarid region, has the highest level of solar irradiation in the country and little cloudiness, advantageous characteristics for systems based on this resource. Despite this, the region suffers from high temperatures and a water crisis, which affects people's thermal comfort and electricity generation, making the Northeast a reference for the*

*application of polygeneration systems. Using computer simulation, this study analyzes the feasibility of a combined generation system, air conditioning and electricity with solar energy as a single source, carrying out a pilot project to install this type of system in a hospital in the city of Buritirama, in the interior of Bahia. The study developed demonstrates the technical feasibility of using the system, with both energy demands being fully supplied only by solar source, producing 145.6 MWh/y for the thermal system 53.49 MWh/a for the photovoltaic system, both above demands.*

**Keywords:** solar energy, air conditioning, solar absorption, polygeneration.

## **RESUMEN**

*La energía solar es un recurso renovable y de alta disponibilidad. Con la creciente crisis energética y los impactos ambientales provocados por la emisión de gases de efecto invernadero, su uso cobra cada vez más importancia. La región Nordeste de Brasil, principalmente en la región semiárida, tiene el nivel más alto de irradiación solar del país y poca nubosidad, características ventajosas para los sistemas basados en este recurso. A pesar de ello, la región sufre altas temperaturas y una crisis hídrica, que afecta el confort térmico de las personas y la generación eléctrica, convirtiendo al Nordeste en un referente para la aplicacionais de sistemas de poligeneración. Mediante simulación por ordenador, este estudio analiza la viabilidad de un sistema combinado de generación, climatización y electricidad con energía solar como única fuente, realizando un proyecto piloto para instalar este tipo de sistema en un hospital de la ciudad de Buritirama, en el interior. de Bahía. El estudio desarrollado demuestra la viabilidad técnica de utilizar el sistema, siendo ambas demandas de energía totalmente abastecidas solo por fuente solar, produciendo 145,6 MWh/a para el sistema térmico 53,49 MWh/a para el sistema fotovoltaico, ambos por encima de la demanda.*

**Descritores:** energía solar, aire acondicionado, absorción solar, poligeracion.

## **INTRODUÇÃO**

A geração de energia no Brasil tem como principal provedor a planta hidroelétrica, sistema considerado de fonte renovável, com baixo custo de operação e baixa emissão de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Em 2013, 79,3% de toda eletricidade gerada no país foi de origem renovável, onde 64,9% foi produto de hidroelétricas (CARVALHO *et al.*, 2020). No entanto, as hidroelétricas apresentam algumas limitações, sendo a principal delas o impacto ambiental causado pela sua instalação e operação. Diante disso, com o objetivo de manter um baixo custo de produção energética e atender as demandas do país, tem sido encorajado o uso de outros tipos de fontes renováveis, como a eólica e a solar, por exemplo.

A região Nordeste do Brasil abarca a maior quantidade de plantas de geração de energia com fontes renováveis de todo o país (FICHTER *et al.*, 2017), destacando-se principalmente pelo seu potencial de produção de energia eólica, devido ao grande número de plantas instaladas em relação as demais regiões do país (RUFFATO-FERREIRA *et al.*, 2017). Dos 619 parques eólicos instalados no país, 523 estão localizados nesta região. Quase 90% da energia consumida no Nordeste é oriunda dessa fonte renovável e a região é responsável por gerar, hoje, 86% de toda energia eólica produzida no país (NEOENERGIA, s/d).

O potencial brasileiro de produção elétrica de fonte eólica pode chegar a mais de 500GW, e a região Nordeste já tem uma capacidade próxima de 16GW no seu parque eólico instalado. Esse número ainda pode variar positivamente, devido ao aumento da velocidade média dos ventos causado pelas mudanças climáticas.

Uma das características mais marcantes do Nordeste é a longa duração dos períodos de seca, o que dificulta projetos de instalação de plantas hidroelétricas. Contudo, especificamente durante as secas, nota-se um aumento considerável do potencial de produção de energia eólica, o que torna esse sistema de geração uma alternativa ainda mais segura para a região (AQUILA *et al.*, 2020).

Em relação a geração de energia de fonte solar, seja fotovoltaica ou térmica pesquisas evidenciaram que a região Nordeste do Brasil apresenta vantagens climáticas para o seu aproveitamento, quando comparada com as outras regiões do país, combinando os maiores valores de produção e as menores variações sazonais de irradiação média diária. Além disso, a média anual de irradiação solar por dia no Nordeste brasileiro é maior do que as médias observadas em países como Alemanha e Península Ibérica, onde os projetos de energia solar estão em fase mais avançada de desenvolvimento (PORFIRIO *et al.*, 2017).

A despeito dos diferentes tipos de clima e características ambientais, observa-se que a irradiação solar nessa região é bastante uniforme e o valor máximo, em torno de 2.200 KWh/m<sup>2</sup>, ocorre nos locais de clima semiárido (próximo de 10°S/43°O), caracterizados pela baixa precipitação anual de chuvas (em torno de 300 mm) e pela menor cobertura média de nuvens do país (LIMA *et al.*, 2016).

O objetivo de um sistema de resfriamento solar é utilizar a energia solar incidente em um edifício para o condicionamento de espaço útil para os ocupantes. Esta é amplamente considerada uma alternativa ecológica aos sistemas convencionais de ar-condicionado (SHIRAZI *et al.*, 2018).

O campo da energia eólica-solar experimentou um crescimento notável nas últimas duas décadas em seu uso generalizado e funcionam de forma autônoma ou conectados à rede (KHARE *et al.*, 2016).

A produção de dois ou mais serviços de energia a partir de um recurso comum é denominada de Poligeração. Os sistemas combinados normalmente têm eficiências mais altas e muitas combinações foram examinadas até agora. Alguns sistemas são combinados de duas funções como por exemplo, fotovoltaica e sistema de aquecimento, sistema duplo de aquecimento e resfriamento solar (MOSLEH *et al.*, 2019).

Um dos desafios para projetar um sistema combinado é realizar um estudo abrangente, considerando os recursos energéticos disponíveis (renováveis ou não), os produtos de energia demandados (eletricidade, água quente, água gelada, calor) e as opções de tecnologia acessíveis e os períodos de operação (PINA *et al.*, 2020).

Hospitais são edificações de uso intenso e variado de energia, devido aos processos inerentes ao setor. Independente do clima onde operam, os parâmetros de controle ambiental e de limpeza desses prédios são muito mais rígidos e isso faz com que o consumo de energia seja mais elevado (SHEN *et al.*, 2019). Esses locais apresentam o maior consumo de energia por unidade de área dentre os edifícios comerciais (ASCIONE *et al.*, 2021) e, no Brasil, são responsáveis por 10,6% da energia consumida no país.

A estrutura de consumo de energia dos edifícios hospitalares também é mais complexa do que a dos edifícios públicos comuns. Seu consumo diário de energia é principalmente elétrico, utilizado para iluminação, ar-condicionado e ventilação, além de diferentes tipos de equipamentos médicos. Gás ou óleo combustível são usados como a principal fonte de energia para vapor, água quente, desinfecção, lavagem e cozinhas (SHEN *et al.*, 2019). Hospitais demandam os produtos energéticos previamente citados de forma constante num período de 24 horas por dia, sistemas combinados tem performances de alto nível quando instalados nesse tipo de prédio público. Este setor apresenta uma relação térmica/elétrica favorável para aplicação desta tecnologia devido ao uso elevado de eletricidade, necessidade de climatização de ambientes e consumo de água quente sanitária (ASHRAE, 2015).

O objetivo deste artigo é apresentar os resultados da aplicação simulada de poligeração a hospital de pequeno porte, que também é maternidade, localizado na cidade de Buritirama, estado da Bahia. A proposta é simular o atendimento das principais demandas energéticas do prédio, elétrica e térmica, utilizando combinação entre fotovoltaica e solar térmica, agregados com sistemas de acumulação energética.

Os dados de consumo utilizados para embasar a simulação foram obtidos através de estimativas utilizando o software TRNSYS. A partir destas informações, foi possível verificar a viabilidade técnica desses sistemas na região especificada, o que caracteriza o objetivo do estudo realizado. Para isso foi utilizado o software *Greenius*.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Características ambientais

O estudo de caso foi realizado num hospital, classificado como de pequeno porte, e com área de construção total de aproximadamente 783 m<sup>2</sup>. Toda a área compreende um pavimento com 15 leitos e uma sala de parto. O hospital funciona 24 horas durante toda a semana, possui 17 colaboradores e recebe cerca de 15 pacientes por dia.

Para que a simulação de qualquer sistema térmico seja realizada de maneira adequada é necessário, antes de tudo, uma correta definição das características ambientais pertinentes – externas e internas – ao ambiente climatizado. Assim sendo, verifica-se que a região onde está localizada a cidade

de Buritirama apresenta baixa nebulosidade e nível elevado de irradiação solar, com pouca variação durante o ano. Na tabela 1 são apresentados dados obtidos através da plataforma *Energy plus*.

**Tabela 1.** Dados ambientais

<b>Coordenadas</b>	<b>-10,72N -43,65E</b>
<b>Altitude</b>	<b>502m</b>
<b>Radiação solar global GHI</b>	<b>2026 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Radiação solar direta (DNI)</b>	<b>925 kWh/m<sup>2</sup></b>
<b>Radiação solar difusa (Diff)</b>	<b>850 kWh/m<sup>2</sup></b>

Fonte: *Energy plus*

## 2.2 Carga térmica

A demanda térmica do hospital é basicamente para água quente sanitária e ar-condicionado. A climatização dos ambientes internos deve seguir a Norma Regulamentadora Brasileira (NBR) 7265/2005 (ABNT, 2000) que apresenta parâmetros de faixas de temperaturas para cada setor hospitalar. A estimativa da potência térmica direcionada ao ar-condicionado foi realizada com uso do software TRNSYS (*Transient System Simulation*), versão 17 (ALMEIDA, 2020).

Em relação à estimativa para aquecimento de água, que é basicamente para banhos, o consumo de água quente em hospitais possui características que tornam possível estimar a carga térmica necessária para sua produção (BUJAK *et al.*, 2010). Foram considerados os seguintes dados: resistência de 4.600 W (Catálogo Lorenzetti, 2020) para chuveiro elétrico, tempo aproximado para cada banho (10 minutos) e quantidade de banhos por dia (em média 30 banhos) (ALMEIDA, 2020).

As estimativas foram realizadas diária e mensalmente para água quente, a qual atingiu uma média diária de 23 kWh e 16,4 kWh nos finais de semana, que se mantêm estáveis durante o ano. Para o ar-condicionado, que foi estimado de hora em hora e mensalmente, o pico de potência foi de 31.66 kW e a maior demanda mensal, 11792,85 kWh, acontecendo em novembro. Os valores estimados são apresentados na Tabela 2 (ALMEIDA, 2020):

**Tabela 2.** Demanda energia térmica diária e mensal

<b>Mês</b>	<b>Potência de pico mês a mês (kW)</b>	<b>Carga térmica mensal (kWh)</b>	<b>Consumo mensal (kWh/mês)</b>	<b>Segunda a sexta (kWh/dia)</b>	<b>Sábado e domingo (kWh/dia)</b>
Janeiro	31,22	10967,64	713,00	24,80	18,60
Fevereiro	31,66	11319,99	644,00	24,77	18,58
Março	27,69	10212,45	713,00	25,44	19,93
Abril	23,00	8376,81	690,00	26,14	15,68
Mai	22,05	7578,27	713,00	26,41	15,84
Junho	20,97	6385,77	690,00	26,14	15,68
Julho	21,59	6538,20	713,00	26,02	15,61

Agosto	23,95	8366,67	713,00	25,65	15,39
Setembro	27,59	10750,98	690,00	26,95	16,17
Outubro	28,62	10044,21	713,00	26,28	14,98
Novembro	30,03	11792,85	690,00	26,85	15,30
Dezembro	29,41	10173,93	713,00	27,14	15,47

Fonte: Adaptado de ALMEIDA, 2020

### 2.3 Consumo de eletricidade

O hospital utiliza eletricidade da rede de distribuição para chuveiros elétricos, climatização, iluminação e equipamentos diversos, que podem ser médicos, de escritório e itens de cozinha. A partir de dados fornecidas pela administração do hospital sobre o histórico de consumo de energia, verificou-se os dados mensais de uso da energia elétrica durante um ano, entre 2018 e 2019, conforme está apresentado na Tabela 3. O consumo total anual consiste em 82.911 kWh, o que equivale a uma média mensal de 6.909,25 kWh e um valor de pico de 8.891 kWh (ALMEIDA, 2020).

Importante destacar que a variação de consumo ocorre principalmente por influência das estações do ano e, em menor grau, em decorrência dos períodos de recesso, quando o número de colaboradores e pacientes é menor. Os dois casos alteram o uso dos aparelhos de ar-condicionado, resultando em intensidade reduzida durante o inverno e recessos prolongados.

**Tabela 3.** Consumo eletricidade mensal e total ao ano

Mês	Consumo (kWh)
Janeiro	7.646
Fevereiro	8.576
Março	8.922
Abril	6.086
Mai	5.411
Junho	5.230
Julho	4.627
Agosto	5.527
Setembro	6.814
Outubro	8.876
Novembro	8.614
Dezembro	6.965
Consumo Anual Total	83.294

Fonte: Adaptado de ALMEIDA, 2020

### 2.4 Uso de energia pelo hospital

A partir da potência térmica estimada para a climatização do hospital, foi calculado o consumo de energia elétrica devotado apenas para essa função. Os cálculos foram feitos considerando um COP de

3,0. Com estes dados e conhecendo o consumo energético total do hospital, foi possível definir o consumo de energia com iluminação e equipamentos. Na tabela 4 (a, b, c) estão elencadas as demandas e as porcentagens equivalentes para cada item (ALMEIDA, 2020).

**Tabela 4 (a, b, c).**Consumo de energia elétrica por atividade

**Tabela 4.a**

Mês	Ar-Cond. (kWh)	Ar-Cond. (%)
Janeiro	3655,88	47,82
Fevereiro	3773,33	44,00
Março	3404,15	38,16
Abril	2792,27	45,88
Mai	2526,06	46,68
Junho	2128,59	40,70
Julho	2179,40	47,10
Agosto	2788,89	50,46
Setembro	2583,66	52,59
Outubro	3348,07	37,72
Novembro	3930,95	45,64
Dezembro	3391,31	48,69

**Tabela 4.b**

Mês	Chuveiro Elétrico (kWh)	Chuveiro Elétrico (%)
Janeiro	731,00	9,56
Fevereiro	644,00	7,51
Março	713,00	7,99
Abril	690,00	11,34
Mai	713,00	13,18
Junho	690,00	13,19
Julho	713,00	15,41
Agosto	713,00	12,90
Setembro	690,00	10,13
Outubro	713,00	8,03
Novembro	690,00	8,01
Dezembro	713,00	10,24

**Tabela 4.c**

Mês	Iluminação e Equip. (kWh)	Iluminação e Equip. (kWh)
Janeiro	3259,12	42,62
Fevereiro	4158,67	48,49
Março	4804,85	53,85
Abril	2603,73	42,78
Mai	2171,91	40,14
Junho	2411,41	46,11
Julho	1734,60	37,49
Agosto	2025,11	36,64
Setembro	2540,34	37,28
Outubro	4814,93	54,25
Novembro	3993,05	46,35
Dezembro	2860,69	41,07

(Fonte: Adaptado de ALMEIDA, 2020)

## 2.5 Descrição do sistema solar térmico

Para este estudo de caso, foi considerada a demanda térmica do prédio com dois segmentos, o principal sendo o resfriamento para os ambientes hospitalares e o segundo o aquecimento de água para banhos de pacientes e colaboradores. Para atender ambas as necessidades, foi escolhida a tecnologia de absorção solar, pois após fornecer o calor necessário para a operação do *chiller*, a água ainda mantém energia suficiente para aquecer água para banhos. Além disso, sistemas desse tipo maximizam a utilização da energia solar coletada, o que demonstra utilização eficiente de energia primária, tornando-os mais econômicos do que os sistemas de resfriamento fotovoltaico (AYADI *et al.*, 2019).

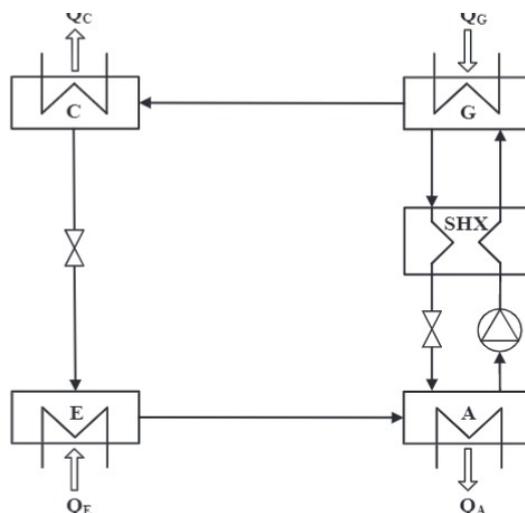
O coletor solar escolhido foi do tipo tubo evacuado (ETC), que se enquadra na categoria dos coletores não concentrados, cujas vantagens são: instalação mais fácil em relação aos coletores concentrados, não requerem um sistema de rastreamento mecânico, além de ter um bom custo-benefício.

A simplicidade desse sistema, no entanto, limita sua temperatura operacional a valores bem inferiores a 200 ° C. Semelhante aos coletores de placa plana, os coletores de tubo evacuado aproveitam tanto o feixe direto de luz quanto a radiação difusa. Todavia, eles têm perdas de calor menores em comparação com coletores de placa plana, devido ao isolamento a vácuo em torno dos tubos absorvedores de calor e à geometria cilíndrica dos absorvedores que tem menor dependência do ângulo de incidência solar.

Tal efeito permite aos ETCs atingirem temperaturas mais altas (até 150 ° C) com uma boa eficiência, tornando-os mais adequados para acionar um resfriador de absorção de efeito único (SHIRAZI *et al.*, 2018).

*Chiller* de efeito único é a configuração mais simples e amplamente utilizada para *chillers* de absorção. Consiste em um evaporador (E), um absorvedor (A), um trocador de calor de solução (SHX), uma bomba de solução, um gerador (G), um condensador (C) e duas válvulas de expansão. Esse tipo de equipamento opera na faixa de temperatura de condução de 80°C a 100°C, alcançando COP térmico entre 0,7 e 0,8 (SHIRAZI *et al.*, 2018).

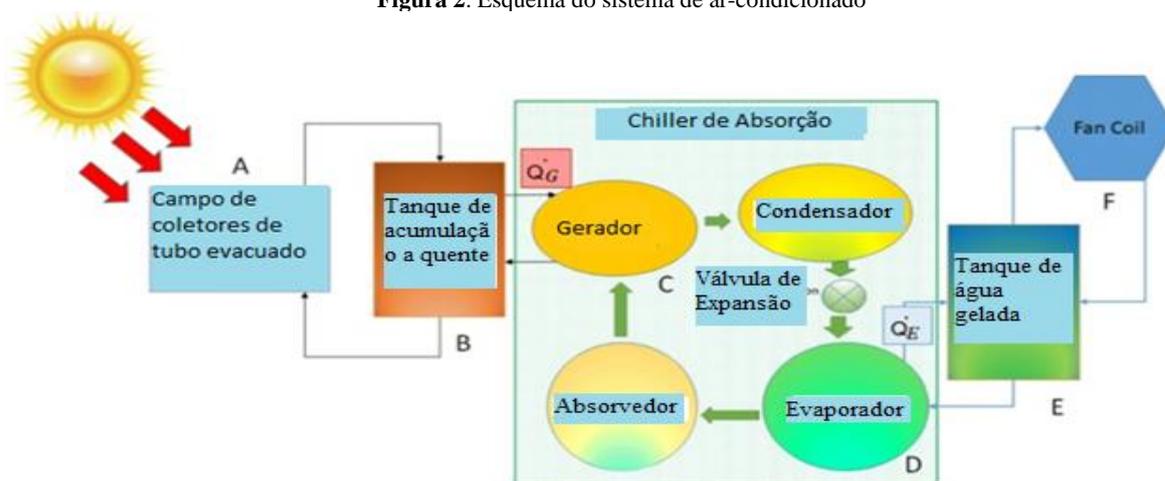
**Figura 1.** Esquema simplificado *chiller* de efeito único



Fonte: SHIRAZI *et al.*, 2018

A solução absorvedor-fluido refrigerante escolhida foi LiBr-H<sub>2</sub>O, por ser o par refrigerante utilizado para fins de sistemas de ar-condicionado, visto que o NH<sub>3</sub>-H<sub>2</sub>O é tóxico inviabilizando o seu uso nesse tipo de atividade. Além disso possui grande calor latente de vaporização e trabalha com menores pressões de operação (SARBU *et al.*, 2015).

**Figura 2.** Esquema do sistema de ar-condicionado



(Fonte: Adaptado de BELIZÁRIO *et al.*, 2020)

A tecnologia de armazenamento de energia tem ganhado, gradualmente, atenção mundial e tem sido amplamente utilizada em várias aplicações: armazenamento de alimentos, gelo, transporte de materiais sensíveis à temperatura e ar-condicionado, por exemplo. Neste estudo de caso, foram selecionados equipamentos de termoacumulação a quente e água gelada. Comparado com o ar-condicionado convencional, o ar-condicionado com armazenamento a frio tem um tanque de armazenamento de energia adicional, que é conectado em paralelo ao evaporador e ao trocador de calor (LI *et al.*, 2019).

Para sistemas de resfriamento solar, a estocagem de água gelada tem amplo potencial de aplicação: alivia a intermitência do sistema, compensa a incompatibilidade entre a produção solar diária e a demanda de resfriamento, além de permitir o fornecimento de resfriamento durante o período noturno (WANG *et al.*, 2019).

O tanque de acumulação a quente é conectado diretamente ao campo solar. Este tipo de armazenamento é o mais comum para sistemas de refrigeração de base solar e funciona estocando a energia extra gerada quando a radiação solar é abundante, para usar posteriormente quando a radiação solar é escassa ou não disponível (AL-UGLA *et al.*, 2015). A figura 2 apresenta um esquema do sistema proposto para o estudo de caso.

### 2.5.1 Modelagem do sistema

O sistema simulado, responsável pela climatização do hospital, é baseado em um *chiller* de absorção de água quente, provida por coletores do tipo tubo evacuado. A simulação foi realizada através do software *Greenius*, uma ferramenta de fácil utilização com grande capacidade e vasta aplicação.

Desenvolvido pelo Instituto de Pesquisa Solar do Centro Aeroespacial Alemão (DLR), oferece resultados rápidos, com análises técnicas e econômicas detalhadas o suficiente para análise de viabilidade de projetos de geração de energia renovável. O software abarca diversas formas de tecnologia, desde usina térmica solar, coletor solar não concentrado, usina solar fotovoltaica e parque eólico [DLR].

O procedimento de simulação segue uma ordem de três etapas que são: *Project Site*, *Technology* e *Results*. Os dois primeiros serão descritos a seguir e o último será apresentado no tópico 3.

#### 2.5.1.1 Project site

Nesta etapa são requeridos os dados geográficos, meteorológicos e a curva de carga do equipamento. Os dois primeiros são preenchidos automaticamente, utilizando um arquivo gerado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), que ao ser carregado no programa disponibiliza os dados da região.

O arquivo da região de Buritirama foi obtido através da plataforma *Energy Plus Weather Database*.

O terceiro componente da etapa, é a definição da potência de trabalho do equipamento e o seu período de funcionamento. No caso de um hospital, o ar-condicionado tem que funcionar 24 horas por dia todos os dias da semana. Sendo assim, foi estabelecida uma estratégia de operação na qual o *chiller* opera com 83% de sua potência (44,8kW) das 8:00 até às 17:00, nos meses de janeiro, fevereiro, setembro, outubro, novembro e dezembro, e das 8:00 até às 16:00 para os meses de março, abril, maio, junho, julho e agosto. Dessa forma foi possível reduzir o número de coletores e o tamanho do tanque de acumulação a quente e ainda assim atender as necessidades térmicas do hospital sem a utilização de fonte de calor auxiliar. Durante a operação, o *chiller* fornece água gelada para resfriamento direto e também para armazenamento em tanque de termoacumulação.

### 2.5.1.2 Technology

Nesta fase são definidos os modelos dos principais equipamentos do sistema, assim como os parâmetros de sua instalação. Todos foram escolhidos da lista fornecida pelo software e apenas questões técnicas foram consideradas.

O modelo de coletor solar selecionado foi o Augusta Solar AS 100 DF6, devido a sua eficiência e disponibilidade no mercado. Os ângulos de azimute ( $169^\circ$ ) e de elevação ( $17^\circ$ ) foram determinados de maneira empírica para aumentar o aproveitamento solar, foram testados ângulos entre  $100^\circ$  e  $180^\circ$  e entre  $10^\circ$  e  $30^\circ$  respectivamente.

Ao todo, foram especificados 300 coletores ocupando 43% da área total do telhado, deixando espaço livre para o trabalho de manutenção dos painéis fotovoltaicos.

O modelo do tanque de acumulação a quente utilizado foi um *Two Tank Molten Salt* com 1700 kW de capacidade e que é essencial para aumentar a efetividade do processo. As características mais importantes para o coletor e tanque de acumulação a quente estão listadas na próxima tabela.

**Tabela 5.** Características coletor, instalação e tanque acumulação a quente.

<b>Coletor solar: Augusta Solar AS 100 DF6</b>	
Área de abertura	1,11 m <sup>2</sup>
Área total	1,51 m <sup>2</sup>
Eficiência óptica	75,3%
<b>Campo de coletores</b>	
Número de coletores	300
Área ocupada	333,60 m <sup>2</sup>
Área total do telhado	783,00 m <sup>2</sup>
Ângulo de Azimute	$169^\circ$
Ângulo de elevação	$17^\circ$
Potência nominal	210,7 kW

Temperatura de trabalho	90°C
<b>Tanque de acumulação a quente</b>	
Tipo	<i>Two Tank Molten Salt</i>
Capacidade	1700 kWh
Horas de carga total	24,0

(Fonte: biblioteca Greenius 4.5.0)

O *chiller* escolhido foi o *EAW Wegracal 50* com potência nominal de 54kW e que com temperatura de trabalho de 86°C. O mesmo foi selecionado por possuir uma potência que, apesar de superior, atende às necessidades do projeto dentre os modelos disponíveis na biblioteca do *Greenius*.

Como a potência nominal (54kW) do *chiller* é superior em relação ao pico de carga térmica requerida (31,66kW), foi possível incluir um tanque de acumulação de água gelada, abastecido com o excedente da produção do *chiller* durante o período de funcionamento do equipamento. Após o cessar da operação do *chiller*, o tanque de água gelada passa a ser a fonte de refrigeração do sistema, possibilitando que a demanda térmica noturna seja fornecida da fonte solar. Este equipamento, no entanto, não faz parte das simulações possíveis no software *Greenius*, logo a sua capacidade (400kW) foi baseada na produção em excesso do *chiller* e numa perda estimada em 6%. As características técnicas mais importantes do *chiller* estão listadas na Tabela 6.

**Tabela 6.** Características Chiller.

<b>Chiller de absorção: EAW Wegracal 50</b>	
<b>Tabela 6.</b> Características principais do <i>chiller</i> de absorção.	
Potência de entrada	71 kW
Potência nominal	54 kW
COP	0,81
Fonte de calor	Água quente
Temperatura da água quente	86°C
Temperatura da água gelada	9°C

(Fonte: biblioteca *Greenius* 4.5.0)

## 2.6 Descrição sistema fotovoltaico

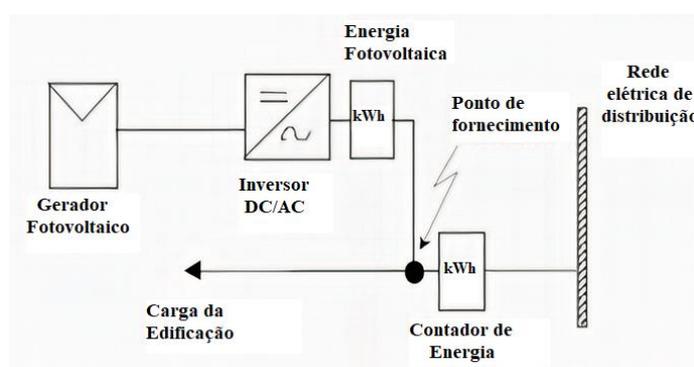
Considerando-se o alto preço dos componentes para geração eólica de energia, bem como a pouca disponibilidade dos itens para instalações de pequeno e médio porte (ALVES DOMINGOS *et al.*, 2021), optou-se pelo uso da geração fotovoltaica na aplicação do projeto. O recente crescimento no uso desta tecnologia facilitou a aquisição dos componentes em termos de disponibilidade e custos.

Sistemas baseados em energia solar necessitam ter estratégias de segurança para que os serviços não sejam prejudicados, devido a variabilidade que o recurso apresenta. Os tanques de acumulação térmica podem assumir essa função em relação aos sistemas de ar-condicionado, enquanto para o

fotovoltaico foi decidido por ligar o sistema à rede elétrica, garantindo ao hospital o fornecimento da energia necessária para a realização das suas atividades.

Para este estudo de caso foi utilizada a configuração de um inversor de frequência central e de único estágio, devido ao seu custo-benefício, sendo a melhor aplicável para pequenas instalações. O inversor de frequência desempenha um papel muito importante, pois permite a sincronização com a rede elétrica. Esse tipo de instalação opera com potência nominal superior a 30kW.

**Figura 3.** Diagrama de sistema fotovoltaico conectado à rede elétrica



(Fonte: JANNUZZI *et al.*, 2009)

### 2.6.1 Modelagem do sistema

O sistema simulado é responsável por fornecer energia elétrica para utilização de equipamentos e iluminação, com uma demanda, pós instalação e início de operação do sistema térmico, de 37,4 MWh/a.

Ele se configura conectado à rede elétrica com inversor de frequência de simples estágio e um campo de módulos fotovoltaicos do tipo não concentrado.

O procedimento de simulação também obedece a uma ordem de três etapas, apresentadas nos subtópicos que seguem:

#### 2.6.1.1 Project Site

Nesta etapa são requeridos apenas dados geográficos e meteorológicos, que são os mesmos utilizados anteriormente. A potência de trabalho depende tão e somente do modelo dos equipamentos escolhidos e da qualidade e duração da incidência solar.

#### 2.6.1.2 Technology

Da mesma forma que o sistema térmico, nessa fase são definidos os modelos dos principais equipamentos utilizados, bem como os parâmetros de sua instalação. Todos foram escolhidos da lista fornecida pelo software e apenas questões técnicas foram consideradas.

Foi utilizado o módulo solar TSM-DC80.08 da fabricante Trina Solar, que foi preferido por sua eficiência e por ser de fácil aquisição para instalação.

O campo de módulos foi composto por um total de 220 módulos, que somados aos coletores térmicos, ocupam 79% da área total do telhado, deixando espaço livre para trabalho de manutenção e instalação de outros equipamentos. Os ângulos de azimute e a elevação solar foram mantidos os mesmos do sistema térmico, 169° e 17°, respectivamente.

Os parâmetros técnicos principais para o módulo e o campo instalado estão listados na tabela 7.

**Tabela 7.** Características técnicas dos módulos e campo de instalação

<b>Módulo fotovoltaico:</b>	
<b>Trina solar TSM-DC80.08</b>	
Área	1,28 m <sup>2</sup>
Peso	14,90 kg
Eficiência nominal	16,4%
MPP Power	210 W
Voltagem	38,8 V
Corrente	5,41 A
<b>Campo de módulos</b>	
Número de módulos	220
Área ocupada	281,39 m <sup>2</sup>
Área total telhado	783 m <sup>2</sup>
Ângulo de Azimute	169°
Ângulo de elevação	17°
Potência nominal DC	46,2 kWp
Potência nominal AC	43,8 kVA

(Fonte: biblioteca Greenius 4.5.0)

O inversor de frequência utilizado foi o Fronius CL 60.0 do fabricante Fronius, selecionado por atender as necessidades do projeto, além de ser facilmente encontrado no mercado, o que possibilita a instalação em projeto real. As características técnicas mais importantes do equipamento estão listadas na tabela 8.

**Tabela 8.** Características principais do inversor de frequência

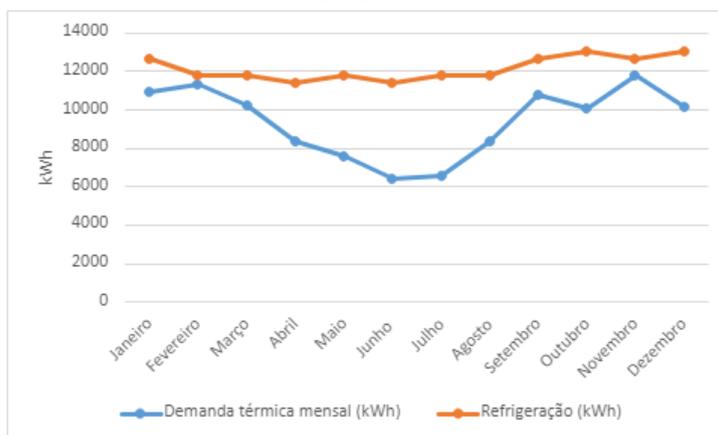
<b>Inversor de Frequência: Fronius CL 60.0</b>	
Potência DC nominal	63,29 kW
Potência AC nominal	60,00 kVA
Corrente	223,4 A
Intervalo de voltagem	230 V até 600 V
Eficiência nominal	94,85

(Fonte: biblioteca Greenius 4.5.0)

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após finalizadas as simulações para o sistema solar térmico e para o fotovoltaico, que reproduzem um ano comum de operação, os resultados foram obtidos como demonstram os gráficos das figuras 4 e 5.

Ambos os sistemas atenderam às respectivas demandas de 112,5' MWh/a e 37,5 MWh/a, o sistema térmico produziu 145,6 MWh/a e o fotovoltaico forneceu 53,49 MWh/a alcançando margem confortável de segurança para o funcionamento do hospital, sem em momento algum necessitar de fontes auxiliares de energia.

**Figura 4.** Gráfico comparativo demanda térmica e refrigeração mensal (Fonte: autoria própria dados simulação *Greenius*)

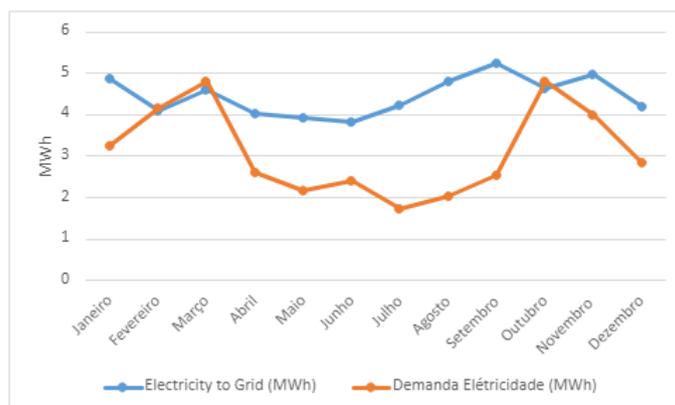
O gráfico da figura 4 ilustra a comparação entre a demanda térmica e a refrigeração produzida. Para o cálculo dessa refrigeração foi considerado 6% de perdas, por conta do sistema de armazenamento de água gelada utilizado.

É possível notar que a curva de refrigeração é sempre superior a demanda térmica, demonstrando que a estratégia de operação funcionou de maneira satisfatória, fornecendo a energia térmica requerida com segurança. Isso foi possível devido a estratégia operacional estabelecida.

Durante os meses de fevereiro, setembro e novembro onde a demanda chega aos níveis de 11319,99, 10750,98 e 11792,85 kWh, respectivamente, verifica-se uma maior proximidade com a refrigeração produzida, qual seja: 11797, 12639,24 e 12639,24 kWh. Contudo, essa situação não serve de indício de insegurança, pois ao observar a figura 7 os níveis de armazenamento a quente, constata-se que ainda seria possível aumentar o período de operação do *chiller* de absorção sem a necessidade de fonte de calor auxiliar.

O gráfico da figura 5 ilustra o comparativo entre a demanda por energia elétrica e a geração fotovoltaica. É notável que nos meses de fevereiro, março e outubro a produção não atinge os níveis de utilização de energia pelo hospital. Contudo, o fornecimento não foi prejudicado, uma vez que o sistema é ligado à rede elétrica, possibilitando a manutenção de consumo durante a noite e o dia no hospital.

**Figura 5.** Gráfico comparativo eletricidade gerada e a demanda hospitalar (Fonte: autoria própria dados simulação *Greenius*)



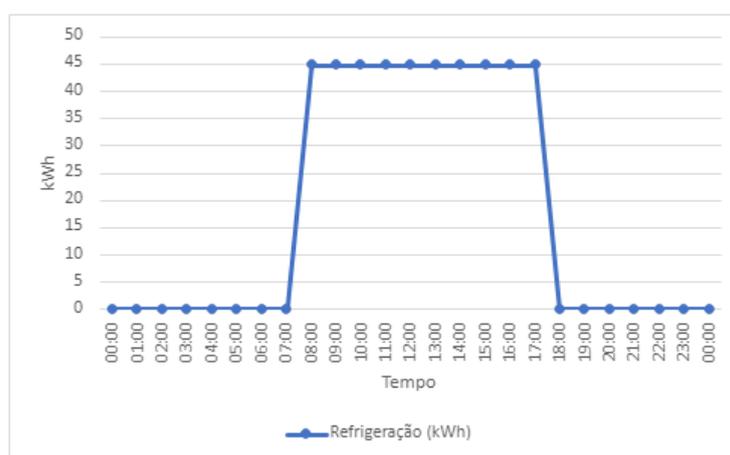
Além disso, há compensação com créditos obtidos com a produção superior a demanda em outros meses. Destaca-se que durante o dia, o sistema fotovoltaico injeta a sua produção na rede elétrica, sendo realizado pela operadora uma compensação entre a quantidade de energia injetada pela quantidade de energia consumida durante o período, podendo o excedente ser aproveitado nos meses subsequentes, caso não haja um abatimento mensal integral.

O gráfico da figura 6 ilustra um dia de funcionamento do sistema térmico sem tanque de água gelada. A refrigeração acontece entre o período das 8:00 às 17:00, quando a demanda térmica é maior, deixando os outros horários sem o serviço de climatização. Essa característica deixa clara a incompatibilidade entre disponibilidade solar e a climatização noturna.

Para esse estudo de caso, as potências de refrigeração alcançadas (44,8 kWh) durante o período de operação do equipamento excediam a carga térmica durante o período das 8:00 às 17:00. Esse excesso

produzido foi suficiente para ser acumulado em tanque de água gelada, dessa forma é possível climatizar o período noturno, que tem demanda térmica muito inferior e torna esse procedimento viável.

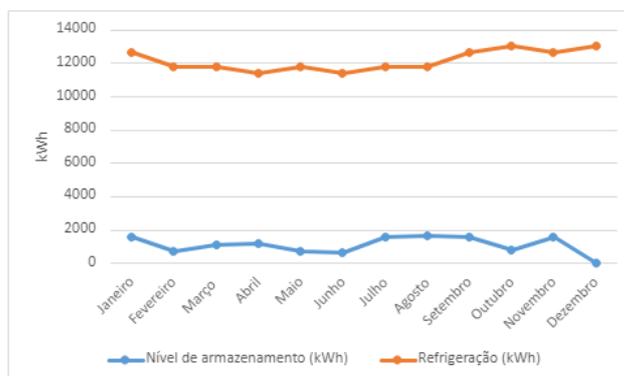
**Figura 6.** Refrigeração sem tanque de água gelada (Fonte: autoria própria dados simulação *Greenius*)



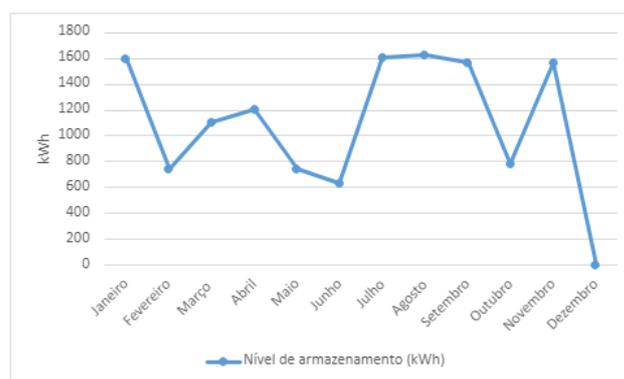
O funcionamento do sistema de acumulação térmica a quente é ilustrado nos gráficos das figuras 7 e 8. Assim como os anteriores, o período é também de um ano de operação.

Os meses críticos da operação são definidos através do comportamento do tanque. Assim sendo, a operação é crítica nos meses de fevereiro, junho e dezembro quando o tanque chega aos níveis de 741, 631 e 0,044kWh, respectivamente. No mês de dezembro foi utilizada praticamente, toda reserva do tanque de acumulação a quente e, mesmo assim, o sistema funcionou sem fonte auxiliar de calor.

Durante os meses de julho, agosto, setembro e novembro o tanque permanece próximo a sua capacidade máxima (1700kWh), chegando a estocar 1626 kWh no mês de agosto. Quando comparada com a produção do *chiller* gráfico da figura 7, é observado correlação entre menor utilização das reservas e menor produção, sendo indício de que, apesar de menor incidência solar, o período de inverno é o mais brando para a operação.

**Figura 7.** Nível de armazenamento a quente e refrigeração mensal

(Fonte: autoria própria dados simulação Greenius)

**Figura 8.** Nível de armazenamento a quente

(Fonte: autoria própria dados simulação Greenius)

Além da geração energética com baixo custo de operação para ambos os sistemas é importante salientar: a quantidade de CO<sub>2</sub> que se deixa de colocar na atmosfera com a combinação dos dois sistemas é de 102,4 t ao ano, 70,3 t para o sistema solar térmico e 32,1 t com o sistema fotovoltaico.

Outros resultados-chave para ambos os sistemas são listados na Tabela 9.

**Tabela 9.** Resultados chave ambos sistema  
(Fonte: Greenius 4.5.0)

<b>Sistema solar térmico</b>	
Calor produzido pelo campo de coletores	286,31 MWh
Calor de fonte auxiliar	0 MWh
Participação solar	100%
<b>Sistema fotovoltaico</b>	
Fator de rendimento anual	1157,8 kWh/kWp
A relação de desempenho anual	0,707

(Fonte: autoria própria dados simulação Greenius)

## CONCLUSÃO

Em conformidade com as informações expostas neste artigo, a estrutura e equipamentos utilizados no projeto e adotando como fundamento os resultados das simulações efetuadas por meio do software *Greenius*, torna-se plausível confirmar que o sistema combinado proposto apresenta desempenho capaz de atender as necessidades energéticas do hospital. O sistema térmico produziu 145,6 MWh/a de frio para uma carga térmica requerida de 112,5 MWh/a, sem utilização de fonte de calor auxiliar, e o fotovoltaico gerou 53,49 MWh/a de eletricidade para uma demanda, pós instalação sistema térmico, de 37,38 MWh/a, portanto, o sistema combinado demonstrou-se tecnicamente viável.

O sistema apresenta confiabilidade operacional utilizando somente energia solar, e apenas para os meses de fevereiro, março e outubro, a produção fotovoltaica foi menor do que a demanda por energia elétrica, sendo compensado, no entanto, pelo sistema de créditos.

A utilização da termoacumulação a quente e água gelada proporcionou um melhor uso da energia captada pelos coletores solares, possibilitando seu uso nos momentos de pouca ou nenhuma incidência solar.

Importante destacar que a utilização do sistema de absorção solar permite reduzir drasticamente a demanda de energia elétrica, já que os maiores consumidores na configuração atual são, justamente, ar-condicionado e chuveiros elétricos, variando entre 46,15% e 60,36% do total, conforme extraído da tabela 4 alhures.

Nesses termos, pode-se afirmar que a configuração do sistema combinado proposto é tecnicamente adequada, sendo possível a sua implementação no hospital de Buritirama/BA.

---

Todos os autores declararam não haver qualquer potencial conflito de interesses referente a este artigo.

---

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Franciele. ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ENERGIA EM UM HOSPITAL NO NORDESTE DO BRASIL. 2020 ARTIGO (Graduação em Engenharia Industrial Mecânica) - Instituto Federal da Bahia, Bahia, 2020.

AL-UGLA, A.A.; EL-SHAARAWI, M.A.I.; SAID, S.A.M. *Alternative designs for a 24-hours operating solar-powered LiBr–water absorption air-conditioning technology. International Journal of Refrigeration*, [s. l.], v. 53, p. 90-100, may 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2015.01.010>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700715000237>. Acesso em: 17 mar. 2021.

ALVES DOMINGOS, Renata Mansuelo; RUTTKAY PEREIRA, Fernando Oscar. *Comparative cost-benefit analysis of the energy efficiency measures and photovoltaic generation in houses of social interest in Brazil. Energy and Buildings: Supports open access*, [s. l.], v. 243, 13 abr. 2021. DOI

<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111013>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778821002978>. Acesso em: 15 maio 2021.

AQUILA, G.; QUEIROZ, A.R.de; BALESTRASSI, P.P.; ROTELLA JUNIOR, P.; ROCHA, L.C.S.; PAMPLONA, E.O.; NAKAMURA, W.T. *Wind energy investments facing uncertainties in the Brazilian electricity spot market: A real options approach. Sustainable Energy Technologies and Assessments*, [s. l.], v. 42, dezembro 2020. DOI 10.1016/j.seta.2020.100876. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213138820313035>. Acesso em: 20 fev. 2021

ASCIONE, Fabrizio; BIANCO, Nicola; MAURO, Gerardo Maria; NAPOLITANO, Davi de Ferdinando; VANOLI, Giuseppe Peter. *Building heating demand vs climate: Deep insights to achieve a novel heating stress index and climatic stress curves. Journal of Cleaner Production*, Volume 296, 10 May 2021, 126616, [s. l.], v. 296, 10 maio 2021. DOI 10.1016/j.jclepro.2021.126616. Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621008362](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652621008362). Acesso em: 20 fev. 2021.

AYADI, Osama; AL-DAHIDI, Sameer. *Comparison of solar thermal and solar electric space heating and cooling systems for buildings in different climatic regions. Solar Energy*, [s. l.], v. 188, p. 545-560, 08 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.solener.2019.06.033>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X19306085>. Acesso em: 10 jan. 2021.

BELIZÁRIO, Adenilson; SIMÕES-MOREIRA, José Roberto. *Evaluation of a solar-powered absorption cooling system to a data center. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, [s. l.], v. 42, 25 abr. 2020. DOI <https://doi.org/10.1007/s40430-020-02343-0>. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40430-020-02343-0#citeas>. Acesso em: 13 jul. 2021.

BUJAK, Janusz. *Heat consumption for preparing domestic hot water in hospitals. Energy and Buildings Supports*, [s. l.], v. 42, ed. 7, p. 1047-1055, 25 jan. 2010. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.01.017>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778810000241>. Acesso em: 10 abr. 2021.

CARVALHO, Diego B.; PINTO, Bárbara L.; DLR. Greenius - *The Green Energy System Analysis Tool*. <[https://www.dlr.de/sf/en/desktopdefault.aspx/tabid-11688/20442\\_read-44865/](https://www.dlr.de/sf/en/desktopdefault.aspx/tabid-11688/20442_read-44865/)>. Accessed in april 2021.

*Energy Plus Weather Data*. Salvador 866780 (INMET). <[https://energyplus.net/weather-location/south\\_america\\_wmo\\_region\\_3/BRA/BRA\\_BA\\_Buritirama.AP.866090\\_INMET](https://energyplus.net/weather-location/south_america_wmo_region_3/BRA/BRA_BA_Buritirama.AP.866090_INMET)>. Acesso em fevereiro de 2021.

FICHTER, Tobias; SORIA, Rafael; SZKLO, Alexandre; SCHAEFFER, Roberto; LUCENA, Andre F.P. *Assessing the potential role of concentrated solar power (CSP) for the northeast power system of Brazil using a detailed power system model. Energy*, [s. l.], v. 121, p. 695-715, 6 jan. 2017. DOI 10.1016/j.energy.2017.01.012. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544217300129>. Acesso em: 20 mar. 2021.

GUARDIA, Eduardo C.; LIMA, José W. Marangon. *Economic impact of anticipations or delays in the completion of power generation projects in the Brazilian energy market. Renewable Energy*, [s. l.], v. 147, n. 1, p. 1312-1320, março 2020. DOI 10.1016/j.renene.2019.09.074. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119314053>. Acesso em: 22 mar. 2021.

JANNUZZI, Gilberto de Martino; VARELLA, Dra. Fabiana K. de O. M.; GOMES, Rodolfo Dourado Maia. *Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica no Brasil: Panorama da Atual Legislação. International Energy Initiative*, [s. l.], outubro 2009. Disponível em:

[http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO\\_PROJETO\\_2\\_FINAL.pdf](http://www.fem.unicamp.br/~jannuzzi/documents/RELATORIO_PROJETO_2_FINAL.pdf). Acesso em: 13 jul. 2021.

LI, Shuang-Fei; LIU, Zhen-hua; WANG, Xue-Jiao. *A comprehensive review on positive cold energy storage technologies and applications in air conditioning with phase change materials*. *Applied Energy*, [s. l.], v. 255, 26 ago. 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113667>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919313546>. Acesso em: 20 maio 2021.

LIMA, Francisco J.L.; MARTINS, Fernando R.; PEREIRA, Enio B.; LORENZ, Elke; HEINEMANN, Detlev Heinemann. *Forecast for surface solar irradiance at the Brazilian Northeastern region using NWP model and artificial neural networks*. *Renewable Energy*, [s. l.], v. 87, n. 1, p. 807-818, março 2016. DOI [10.1016/j.renene.2015.11.005](https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.005). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148115304249>. Acesso em: 18 fev. 2021.

MOSLEH, Hassan Jafari; HAKKAKI-FARD, Ali; DAQIQSHIRAZI, Mohammad reza. *A year-round dynamic simulation of a solar combined, ejector cooling, heating and power generation system*. *Applied Thermal Engineering*, Volume, [s. l.], v. 153, p. 1-14, 5 maio 2019. DOI [10.1016/j.applthermaleng.2019.02.114](https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.02.114). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431118342753>. Acesso em: 17 fev. 2021.

PINA, Eduardo A.; LOZANO, Miguel A.; RAMOS, José C.; SERRA, Luis M. *Tackling thermal integration in the synthesis of polygeneration systems for buildings*. *Applied Energy*, [s. l.], v. 269, 1 jul. 2020. DOI [10.1016/j.apenergy.2020.115115](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115115). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261920306279>. Acesso em: 12 mar. 2021.

PORFIRIO, Anthony C.S.; CEBALLOS, Juan C. *A method for estimating direct normal irradiation from GOES geostationary satellite imagery: Validation and application over Northeast Brazil*. *Solar Energy*, [s. l.], v. 155, p. 178-190, outubro 2017. DOI [10.1016/j.solener.2017.05.096](https://doi.org/10.1016/j.solener.2017.05.096). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X17305182>. Acesso em: 20 fev. 2021.

RUFFATO-FERREIRA, Vera; BARRETO, Renata da Costa; OSCAR JÚNIOR, Antonio; SILVA, Wanderson Luiz; VIANA, Daniel de Berrêdo; NASCIMENTO, José Antonio Senado; FREITAS, Marcos Aurélio Vasconcelos de. *A foundation for the strategic long-term planning of the renewable energy sector in Brazil: Hydroelectricity and wind energy in the face of climate change scenarios*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 72, p. 1124-1137, maio 2017. DOI [10.1016/j.rser.2016.10.020](https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.10.020). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032116306748>. Acesso em: 20 fev. 2021.

SARBU, Ioan; SEBARCHIEVICI, Calin. *General review of solar-powered closed sorption refrigeration systems*, [s. l.], v. 105, p. 403-422, 15 nov. 2015. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2015.07.084>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890415007438>. Acesso em: 30 mar. 2021.

SHEN, Chenyao; ZHAO, Kang; GE, Jian; ZHOU, Qingli. *Analysis of Building Energy Consumption in a Hospital in the Hot Summer and Cold Winter Area*. *Energy Procedia*, [s. l.], v. 158, p. 3735-3740, fevereiro 2019. DOI [10.1016/j.egypro.2019.01.883](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.883). Disponível em: [sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219309270](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610219309270). Acesso em: 20 fev. 2021.

SHIRAZI, Ali; TAYLOR, Robert A.; MORRISON, Graham L.; WHITE, Stephen D. *Solar-powered absorption chillers: A comprehensive and critical review*. *Energy Conversion and Management* Volume, [s. l.], v. 171, p. 59-81, 1 set. 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.091>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890418305752>. Acesso em: 1 jan. 2021.

WANG, Xiaolin; DENNIS, Mike; ZHOU, Lei; ZHAI, Xiaoqiang; LIPÍŃSKI, Wojciech. *Performance of a novel cold thermal storage material in an emulated air conditioning system using different storage strategies. International Journal of Refrigeration*, [s. l.], v. 104, p. 259-269, August 2019. DOI <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2019.05.038>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700719302397>. Acesso em: 20 maio 2021.

KHARE, Vikas; EMA, Savita; BAREDAR, Prashant. Solar–wind hybrid renewable energy system: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, [s. l.], v. 58, p. 23-33, 9 jan. 2016. DOI <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.223>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032115016068>. Acesso em: 5 jul. 2021.

TRNSYS 17. (2014). A TRaNsient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory. University of Wisconsin. Madison.

LORENZETTI (2020). Catálogo de duchas, chuveiros, torneiras e aquecedores elétricos de água. Recuperado em 03 de julho de 2020 de <https://www.lorenzetti.com.br/docs/default-source/cat%C3%A1logos/ad.pdf>