

Análise para implantação de sistemas fotovoltaicos *off-grid* em hospitais de campanha do Exército Brasileiro

Analysis for the implementation of off-grid photovoltaic systems in Brazilian Army field hospitals

Análisis para la implementación de sistemas fotovoltaicos fuera de la red en hospitales de campaña del Ejército Brasileño

Hugo Oliveira * 

Universidade de São Paulo; Construlnova –
Inovação na Construção Civil.
São Paulo (SP), Brasil.
hugoos@usp.br

Daniel Setrak Sowmy 

Universidade de São Paulo; Instituto de Pesquisas
Tecnológicas.
São Paulo (SP), Brasil.

* Autor correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Concepção, Coleta de Dados, Metodologia, Redação – rascunho original: OLIVEIRA, H.; Concepção; Redação – revisão e edição: SNOWMY, D. S.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Não se aplica.

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Andreza Kalbusch (Editora Convidada); Ricardo P. A. Reis (Editor Convidado); Heber M. de Paula (Editor Convidado); Simone B. Brandão (Assistente editorial); Pedro G. Cardoso (Assistente editorial).

Resumo

O presente artigo tem por objetivo avaliar a viabilidade técnico-operacional de um sistema fotovoltaico *off-grid* para atender hospitais de campanha do Exército Brasileiro. Para fazê-lo, deve-se avaliar a sua demanda de energia, destacando os equipamentos utilizados e o seu perfil de utilização ao longo do dia. Os equipamentos internos foram subdivididos em três grupos: equipamentos hospitalares, equipamentos não-hospitalares e sistema de climatização. As simulações foram realizadas tomando como base a região de Pacaraima, que abriga uma operação humanitária da qual o Exército faz parte e colabora no apoio à saúde. A partir do dimensionamento realizado, foram definidas três estratégias para o sistema de *back-up* do arranjo fotovoltaico, o que possibilitou compará-las com a alternativa existente a partir do consumo de diesel: uma composta totalmente por baterias, uma por um gerador para o período noturno ou uma com gerador apenas para o sistema de climatização. Nos dois primeiros casos, o tempo superior à dois meses torna a solução fotovoltaica logisticamente mais vantajosa, enquanto no último esse tempo sobe para três meses.

Palavras-Chave: Fotovoltaico; Energia; Demanda; *Off-grid*.

Abstract

The present article aims to assess the technical-operational feasibility of an off-grid photovoltaic system to meet the needs of Brazilian Army field hospitals. To do so, it is necessary to evaluate their energy demand, highlighting the equipment used, and their usage profile throughout the day. Internal equipment was subdivided into three groups: hospital equipment, non-hospital equipment, and air conditioning systems. Simulations were carried out based on the Pacaraima region, which hosts a humanitarian operation in which the Army participates, contributing to health support. From the conducted sizing, three backup system strategies for the photovoltaic array were defined, allowing for comparison with the existing alternative based on diesel consumption: one composed entirely of batteries, one with a generator for nighttime use, or one with a generator solely for the air conditioning system. In the first two cases, the solution with photovoltaics becomes logistically more advantageous for periods exceeding two months, while in the latter, this time frame extends to three months.

Keywords: Photovoltaic; Energy; Demand; Off-grid.

Resumen

El presente artículo tiene como objetivo evaluar la viabilidad técnico-operativa de un sistema fotovoltaico fuera de la red para satisfacer las necesidades de hospitales de campaña del Ejército Brasileño. Para hacerlo, es necesario evaluar su demanda de energía, destacando los equipos utilizados y su perfil de uso a lo largo del día. Los equipos internos se subdividieron en tres grupos: equipos hospitalarios, equipos no hospitalarios y sistemas de climatización. Las simulaciones se llevaron a cabo en base a la región de Pacaraima, que alberga una operación humanitaria en la que el Ejército participa, contribuyendo al apoyo de la salud. A partir del dimensionamento realizado, se definieron tres estrategias para el sistema de respaldo del arreglo fotovoltaico, lo que permitió compararlas con la alternativa existente basada en el consumo de diesel: una compuesta totalmente por baterías, una con un generador para el período nocturno o una con generador solo para el sistema de climatización. En los primeros casos, la solución fotovoltaica resulta logisticamente más ventajosa para períodos superiores a dos meses, mientras que en el último, este período se extiende a tres meses.

Palabras clave: Fotovoltaico; Energía; Demanda; *Off-grid*.

1 Introdução

Conforme apresentado pela Constituição Federal (Brasil, 1988), o Exército Brasileiro é uma instituição de Estado, cujas missões são, além de defender o território nacional, garantir os poderes constitucionalmente criados, a lei e a ordem, prestando apoio aos demais órgãos de segurança pública ou em atuado em operações de ajuda humanitária.

Para cumprir sua missão constitucional, o Exército deve estar presente em todo o território nacional. No entanto, é possível que situações emergenciais, que demandem a atuação das Forças Armadas, aconteçam em localidades afastadas de unidades do Exército ou que precisem de uma infraestrutura indisponível em quartéis próximos.

Com intuito de atender essa demanda, o Exército possui estruturas padronizadas que podem ser transportadas e implantadas ao longo de todo o território nacional, garantindo uma atuação eficiente. Dentre essas estruturas, destaca-se os hospitais de campanha, que pode ser utilizado tanto para atender os militares, como a população civil, principalmente em casos de desastres naturais (Duarte, 2019).

Em função dessa necessidade de atuação em qualquer localidade, essas estruturas devem ser capazes de gerar sua própria energia, uma vez que o acesso à rede energia das concessionárias pode não existir em regiões mais afastadas. Atualmente, geradores são responsáveis por fazer essa função.

No entanto, conforme já pontuado por Ruther (2004), uma alternativa para a geração de energia em localidades remotas ou para unidades descentralizadas é o sistema fotovoltaico off-grid. Autônomos e independentes da rede elétrica local, esse sistema é capaz de gerar energia localmente a partir da energia solar e também pode ser transportado pelo território, devendo ser adequado a depender da região de implantação.

Em função de suas características, o sistema fotovoltaico off-grid pode ser uma alternativa possível para gerar energia aos hospitais de campanha do Exército Brasileiro, dada sua capacidade de descentralização, bem como pelo potencial de geração de energia solar existente no Brasil (Martins Pereira, 2011).

2 Objetivo

O presente artigo tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica e operacional de atender integralmente os hospitais de campanha do Exército Brasileiro por meio de um sistema fotovoltaico off-grid, substituindo os geradores à diesel como principal fonte de energia. Além disso, o artigo visa traçar o perfil de consumo de energia dessa unidade hospitalar, a partir de uma análise da demanda de energia dos equipamentos internos e do sistema de climatização.

3 Revisão Bibliográfica

3.1 Hospitais de campanha do Exército Brasileiro

Cada operação do Exército possui uma situação motivadora que enseja sua descentralização. A depender de sua gravidade e do tempo estimado de sua duração, o Exército pode deslocar uma maior quantidade de unidades para a localidade. Da mesma forma, caso, ao longo do tempo, a situação se agrave ou melhore, as estruturas devem

ser expandidas ou contraídas (Santos, 2017).

Essa característica modular das estruturas do Exército Brasileiro também é espelhada para os seus hospitais de campanha. Sua estrutura pode ser subdividida em módulos, que podem ou não ser utilizados em função das características da operação. A Figura 1 apresenta um desses hospitais de campanha.

Figura 1: Hospital de campanha institucional.



Fonte: Autores (2022).

Essa unidade semicilíndrica presente na Figura 1 possui oito metros de comprimento e raio igual a três metros (Weatherhaven, 2021).

Como destacado por Santos (2017), os hospitais de campanha podem ser constituídos por diversos módulos agrupados, como módulos de recepção, salas de atendimento e emergência ou módulos cirúrgicos, conforme pode ser observado na Figura 2. Mais específicos, os módulos cirúrgicos são menos utilizados que os demais. Uma unidade de atendimento genérica é capaz de acomodar cinco leitos de internação devidamente equipados para atendimento do público-alvo. No entanto, sua taxa de ocupação é de aproximadamente 73% (Pereira, 2022).

Figura 2: Interior dos módulos de um hospital de campanha.



Fonte: Autores (2022).

Deve-se considerar que sempre que o Exército é demandado, ele desloca uma macroestrutura capaz de atender temporariamente a situação que ensejou sua mobilização, bem como abrigar e fornecer os suprimentos mínimos para a continuidade da operação. Dessa forma, a mobilização de um hospital de campanha promove o deslocamento de outras estruturas voltadas para o atendimento dos militares empregados na operação, como, por exemplo, alojamentos, um almoxarifado para armazenamento de materiais e um refeitório. Essas estruturas adjacentes são deslocadas com base na necessidade de cada missão institucional.

Conforme apresentado por Pereira (2022), para suprir a demanda de energia elétrica dessas estruturas e, em particular dos hospitais de campanha, o Exército Brasileiro dispõe de geradores e utiliza, majoritariamente, um de 625 kVA, pesando, aproximadamente, seis toneladas. Esse equipamento é responsável por atender toda a infraestrutura que é construída para uma determinada operação a partir da conexão direta a um quadro geral de baixa tensão. Esse quadro é responsável pela distribuição de energia às demais estruturas, como exemplificado na Figura 3.

Figura 3: Estrutura de um hospital de campanha.



Fonte: Autores (2022).

3.2 Equipamentos elétricos internos

As unidades de atendimento dos hospitais de campanha são estruturadas para atender cinco leitos de internação. A partir da análise de um hospital de campanha padrão instalado em São Paulo, foi possível determinar seus equipamentos internos, listados na Tabela 1.

Tabela 1: Dados dos equipamentos elétricos do hospital de campanha.

Nº	Equipamento	Quantidade	Potência Total (W)
(1)	Monitores multiparamétricos	5	600
(2)	Bombas de infusão	2	60
(3)	Ventilador mecânico respiratório	2	300
(4)	Desfibrilador/cardioversor	1	240
(5)	Eletrocardiógrafo	1	264
(6)	Luminárias com lâmpadas fluorescentes	12	384
(7)	Computadores	2	130
(8)	Tomadas de uso geral	5	500
(9)	Sistema de Climatização	1	4628

Fonte: Autores (2022).

Dessa forma, conforme se infere da Tabela 1, a potência total instalada de um hospital de campanha padrão, obtida através da soma das potências individuais de todos os equipamentos, é de 7,11 kW.

3.3 Carga térmica

De acordo com Schiffer (2021), para obter a carga térmica obtida pela transferência de calor, deve-se considerar tanto a diferença de temperatura entre o ambiente externo e interno, bem como a capacidade de absorção de calor da estrutura. Dessa forma, utiliza-se a seguinte (Equação 1) para a composição dessa variável:

$$q = K \left(t_e + \frac{\alpha * I_g}{h_e} - t_i \right) = K * \alpha \frac{I_g}{h_e} + K * \Delta T \quad (1)$$

Na qual:

q = Calor transferido pela superfície;

K = Coeficiente global de transmissão térmica;

α = Coeficiente de absorção da radiação solar;

I_g = Intensidade de radiação solar na região de interesse;

h_e = Condutância externa na região de interesse;

t_e = Temperatura externa em °C;

t_i = Temperatura interna em °C; e

ΔT = Diferença de temperatura em °C.

Na Equação (1) é possível observar que a primeira parcela atinente ao calor transferido se refere à radiação solar incidente, ao passo que a segunda à diferença de temperatura entre os ambientes interno e externo.

As pessoas também são responsáveis por trocar calor com o ambiente em que estão posicionadas, contribuindo para o aumento da carga térmica. Dessa forma, a depender

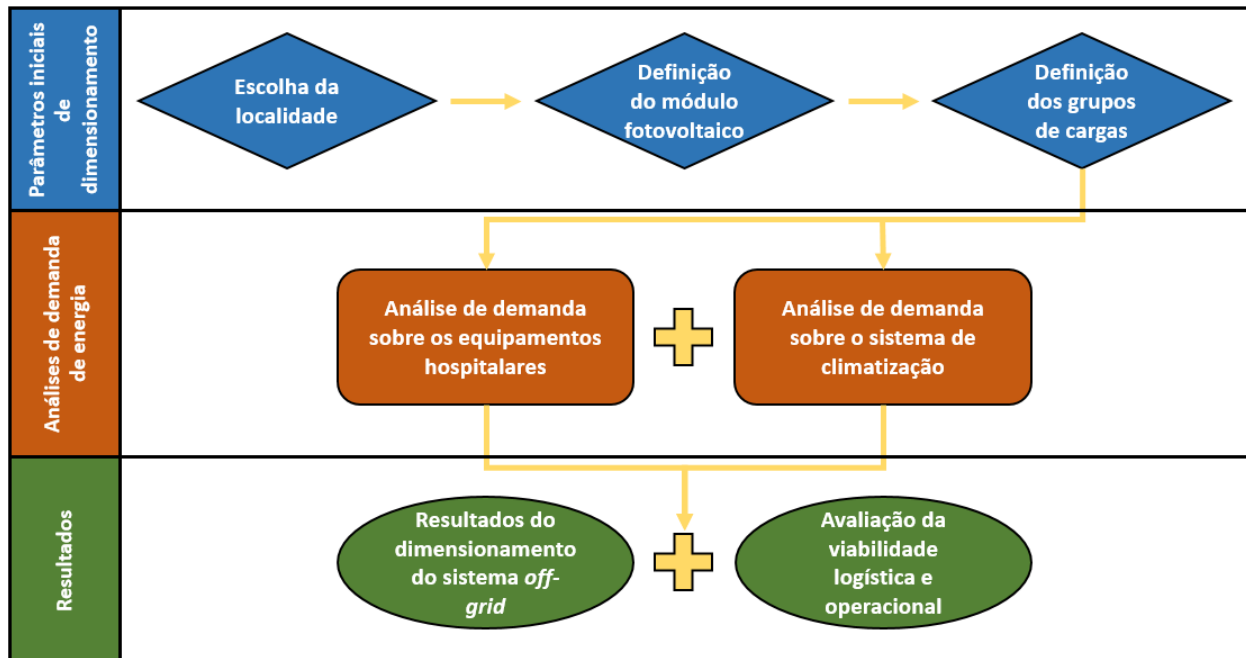
do tipo de trabalho realizado e de sua intensidade, a carga térmica das pessoas pode aumentar ou diminuir. Essa variável é obtida a partir da ABNT NBR 16401, norma que estabelece parâmetros básicos e requisitos mínimos de projeto para sistemas de ar-condicionado.

Equipamentos em utilização também podem ser considerados como fontes de calor dentro dos ambientes. Conforme apresentado pela AirPac (2005), a carga térmica dissipada pelos equipamentos é numericamente igual a carga elétrica.

4 Metodologia

Para que seja possível avaliar a viabilidade de técnica e operacional do sistema fotovoltaico *off-grid*, inicialmente, deve-se definir os parâmetros iniciais para o dimensionamento, seguido de uma análise de acerca da potência e da energia demanda pelos hospitais de campanha e, posteriormente, obtém-se os resultados do dimensionamento. A Figura 4 apresenta a metodologia do trabalho.

Figura 4: Sequência de procedimentos para a metodologia.



Fonte: Autores (2024).

Para que seja possível realizar o dimensionamento de um sistema fotovoltaico, o primeiro parâmetro a ser estipulado é a região de interesse. Essa variável será responsável por determinar a incidência de radiação solar, influenciando diretamente no potencial de geração de energia. Destaca-se que, em função de sua grande extensão territorial, essa incidência não é homogênea em todo o território brasileiro.

Posteriormente, os módulos fotovoltaicos são escolhidos a partir de sua potência e tensão, que devem ser compatíveis com a demanda de energia e com a tensão das baterias, utilizadas como sistema de *back-up*. Para avaliar as questões logísticas, é importante considerar o seu peso e suas dimensões, tendo em vista que isso permitirá comparar a solução fotovoltaica proposta com o gerador à diesel responsável pela alimentação do sistema. Os demais equipamentos que compõem o sistema têm seu peso desconsiderado.

Por fim, as cargas apresentadas na Tabela 1 foram segregadas em três grupos: um grupo agregando os equipamentos de (1) à (5) – denominado equipamentos hospitalares –, outro grupo com os equipamentos (6), (7) e (8) – denominado equipamentos não-hospitalares –, e, por fim, o equipamento (9) – o sistema de climatização.

Após essas definições, a análise de potência e energia dos hospitais de campanha será é construída com base nas seguintes premissas:

- a. Grupo de equipamentos hospitalares: foi aplicado um fator de demanda aos equipamentos (1), (2) e (3), enquanto os equipamentos (4) e (5) (desfibrilador e eletrocardiógrafo, respectivamente), por serem equipamentos que devem estar plenamente carregados, foram considerados conectados durante todo o tempo. O fator de demanda construído é uma composição de dois parâmetros: taxa de utilização dos equipamentos, ou seja, quanto cada equipamento é utilizado dentro do total de atendimentos realizados pelo hospital de campanha, e taxa de ocupação do hospital de campanha.

Esses fatores compõem a avaliação de demanda da unidade hospitalar. Para a definição da energia total, deve ainda ser considerada a quantidade de horas que os equipamentos ficam ligados.

Os dados para o cálculo da taxa de utilização dos equipamentos e a quantidade de horas que cada um deles fica ligado foi obtido através da análise dos dados obtidos em um hospital de campanha instalado em São Paulo. A taxa de ocupação foi obtida através da média da razão entre a quantidade de leitos ocupados e disponíveis em cada uma das operações.

- b. Grupo de equipamentos não-hospitalares: a iluminação e as tomadas dos computadores ficam ligadas durante 24h. As tomadas de uso geral ficam ligadas durante 8h por dia, com base na duração de um expediente administrativo
- c. Sistema de climatização: inicialmente, deve-se estabelecer a carga térmica do hospital de campanha, que é a composição da carga térmica de três componentes distintos: a carga térmica das pessoas que ficam na unidade hospitalar, a carga térmica dos equipamentos instalados internamente e a carga térmica obtida pela incidência da radiação solar sobre a sua estrutura.

Para estimar a energia demanda pelo sistema de climatização da unidade hospitalar, deve-se, ainda, estimar suas horas de funcionamento. Dessa forma, considerou-se que o equipamento de ar-condicionado permaneceria ligado durante todo o dia, no entanto, à noite, a carga térmica referente à incidência da radiação solar seria desconsiderada, período estimado em 12 horas.

Após avaliação da carga térmica do hospital de campanha e com o COP (coeficiente de performance) do equipamento será possível converter a energia térmica demanda na energia elétrica necessária. Com isso, teremos a potência do sistema de climatização e, conseqüentemente, a energia demanda em função das horas de utilização.

Por fim, os dados definidos em cada um dos cenários serão inseridos no *software* PVSyst 7.2 e as simulações realizadas. A partir disso, será possível descobrir a quantidade de módulos fotovoltaicos que são necessários para atender o hospital de campanha, bem como a influência de cada um dos grupos de equipamentos no dimensionamento. O resultado do dimensionamento será comparado em com os dados do gerador existente,

avaliando questões de peso – que influencia na logística do sistema -, bem como a redução no consumo de diesel.

5 Resultados

5.1 Demanda de energia

Para realizar as simulações, foram adotados os seguintes parâmetros iniciais:

- a. Localidade: Foi escolhida a cidade Pacaraima, Roraima – no Norte do país -, para ser instalado o sistema fotovoltaico *off-grid* e realizada a avaliação. Atualmente, a região é o cenário de uma operação humanitária que acolhe venezuelanos egressos de seu país e que conta com o apoio do Exército Brasileiro para ajudar a recepcionar essa população civil, seja com alimentos, seja com os primeiros socorros por meio de seus hospitais de campanha.
- b. Módulo fotovoltaico: os parâmetros de potência e tensão são iguais a 540Wp e 26V, respectivamente. A respeito de suas características físicas, possui 1,0m de largura e 2,5m de comprimento, ocupando uma área de 2,5m² e pesa 32 kg

Posteriormente, para obter a carga térmica das pessoas, foram utilizados os dados constantes na ABNT NBR 16401 e adotadas as seguintes premissas:

- c. Uma pessoa era responsável pela recepção dos enfermos – carga térmica igual a 130 W/pessoa;
- d. Uma pessoa prestaria o atendimento médico – 235 W/pessoa; e
- e. Os leitos seriam ocupados conforme a taxa de ocupação e os enfermos possuem uma carga térmica é de 130 W/pessoa. Dessa forma, a partir do produto entre a quantidade de leitos (cinco), a taxa de ocupação (0,725) e a carga térmica (130 W/pessoa), obtém-se o 471,25W.

Com base nisso, a carga térmica de todo o grupo de pessoas que estão dentro da estrutura do hospital de campanha foi avaliada em 836 W aproximadamente.

Para os equipamentos, foi utilizada a aproximação de que a carga térmica dissipada por eles é numericamente igual a carga elétrica. Nesse quesito, deve-se lembrar que o sistema de climatização é externo à estrutura, portanto, não teve sua carga considerada nesse cálculo. Dessa forma, a partir dos dados constantes na Tabela 1, a carga térmica dissipada pelos equipamentos é de 1790W.

A carga térmica obtida pela troca calor promovida entre a estrutura e o ambiente externo, fruto da radiação solar incidente e da diferença de temperatura, foi obtida a partir da utilização da Equação 1, na qual:

q = Calor transferido pela superfície – variável a ser calculada;

$K = 3,08 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$;

$\alpha = 0,8$ (adimensional);

$I_g = 458 \text{ W/m}^2$;

$h_e = 8,5 \text{ W/m}^2$;

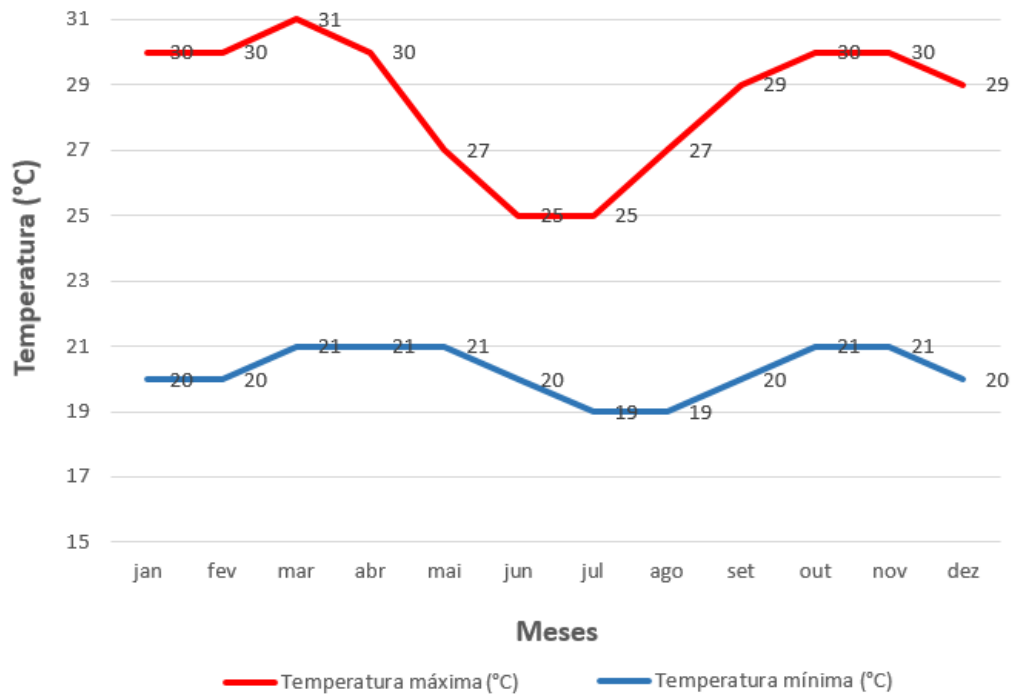
t_e = Temperatura externa em $^\circ\text{C}$ – a ser definida;

t_i = Temperatura interna em °C – a ser definida;

ΔT = Diferença de temperatura em °C.

Deve-se definir a diferença de temperatura entre o ambiente externo e o ambiente interno. Para o conforto térmico dos usuários e profissionais do hospital de campanha, foi definida como temperatura interna o valor de 24°C. Para o ambiente externo, utilizou-se a média histórica para a região, como descrito na Figura 5.

Figura 5: Perfil de temperatura na região de Pacaraima.



Fonte: Adaptada Meteoblue (2024).

Com base nos dados apresentados, verifica-se que a consideração mais desfavorável está presente no mês de março, com as médias de temperatura mais altas. Por conta disso, adotou-se como temperatura externa o valor de 31°C. Esse valor fixado faz com que a diferença de temperatura promovida pelo sistema de climatização seja igual a 7°C.

Substituindo os dados apresentados na Equação 1, obtém-se a carga térmica 11.636 W, considerando que a troca de calor é feita na área da superfície da estrutura. Importante também distinguir as parcelas referentes à incidência da radiação solar e à diferença de temperatura, uma vez que essa existe ao longo de todo o dia, enquanto aquela apenas no período diurno. Dessa forma, os valores são obtidos são, respectivamente, 10.010W e 1626W.

Adotando o COP do equipamento de ar-condicionado utilizado no hospital de campanha igual a 3,5, foi possível construir a Tabela 2 para obter a potência elétrica demandada do sistema de climatização ao longo do dia, dividindo-a em dia e noite (12 horas cada).

Tabela 2: Distribuição da carga térmica ao longo do dia.

Sistema de Climatização	Transferência de calor na superfície (W)	Carga térmica das pessoas e equipamentos(W)	Carga térmica total (W)	COP	Potência Elétrica (W)
Diurno	11.636		14.262		4.075
Noturno	1.626	2.626	4.252	3,5	1.215

Fonte: Autores (2024).

Assim, construiu-se a Tabela 3 para estimativa do consumo de energia nesse cenário.

Tabela 3: Estimativa de potência e energia demandada pelo hospital de campanha.

Equipamentos	Potência (W)	Taxa de ocupação	Taxa de utilização	Horas de utilização (h)	Energia (kWh)
Monitores	600	0,725	40%	1,5	0,26
Bombas de Infusão	60	0,725	90%	1,5	0,06
Ventilador Mecânico	300	0,725	30%	1,5	0,10
Desfibrilador/Cardioversor	240	1	100%	24	5,76
Eletrocardiógrafo	264	1	100%	24	6,34
Luminárias com lâmpadas	384	1	100%	24	9,22
Computadores	130	1	100%	24	3,12
Tomadas de uso geral	500	1	100%	8	4,00
Sistema de Climatização diurno	4.075	1	100%	12	48,90
Sistema de Climatização noturno	1.215	1	100%	12	14,58
Total	-	-	-	-	92,34

Fonte: Autores (2024).

Com base no exposto, é possível observar que a demanda de energia do hospital de campanha é de, aproximadamente, 92,34 kWh.

5.2 Simulações

A partir dos dados apresentados para cada um dos cenários acima e do perfil de carga desenhado, esses foram inseridos no software PVSyst para construir a solução fotovoltaica para a unidade hospitalar. Além disso, estipulou-se que o sistema deveria ser capaz de funcionar de forma autônoma por dois dias e com baterias cujo peso é de 125 kg a unidade. Assim, os resultados obtidos estão apresentados na Tabela 4.

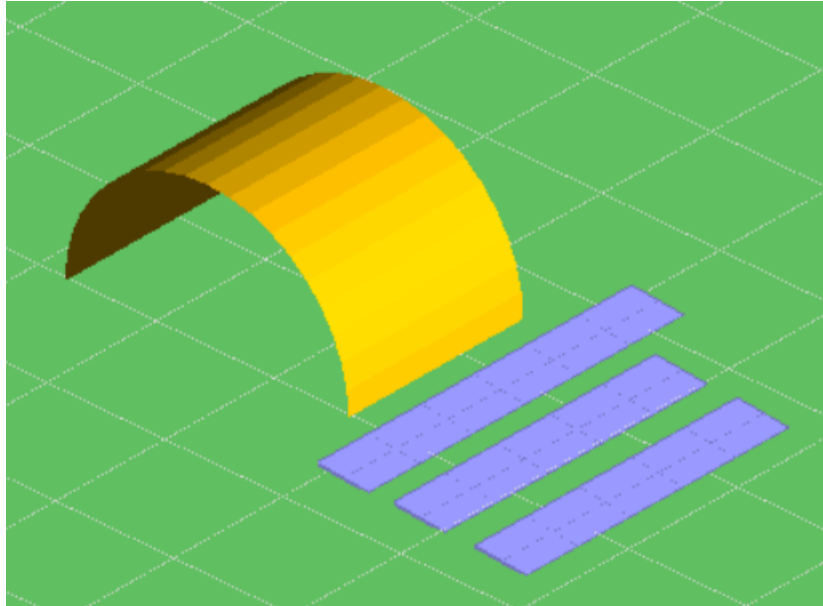
Tabela 4: Resultado da simulação por cenário.

Parâmetros avaliados	Simulação
Quantidade de módulos (un)	32
Número de strings (un)	2
Número de baterias (un)	15
Área Ocupada (m ²)	87
Peso dos módulos (kg)	1024
Peso total (kg)	2899

Fonte: Autores (2024).

Os resultados obtidos apresentados na Tabela 4 foram utilizados para a construção da Figura 6, que evidencia a área necessária para atender o hospital de campanha, promovendo uma comparação com o seu tamanho.

Figura 6: Implantação dos módulos fotovoltaicos na região.



Fonte: Adaptada PVSyst (2024).

Além dessas informações apresentadas, também é importante apresentar a influência de cada um dos grupos de equipamentos no dimensionamento total do sistema, considerando a quantidade de placas necessárias para atender cada um. A Figura 7 apresenta esse comparativo.

Figura 7: Quantidade de módulos necessários por grupo de equipamento.



Fonte: Autores (2024).

6 Discussões

Para avaliar a viabilidade da substituição dos geradores à diesel pelo sistema fotovoltaico *off-grid*, devem ser comparados dois aspectos: a capacidade logística da substituição, a ser calculada em função do peso das alternativas propostas, e a capacidade operacional, avaliando o desempenho das soluções no atendimento das cargas. É importante destacar que o estudo de outras alternativas do ponto de vista operacional, impactam o estudo logístico.

Do ponto de vista da logística, é possível verificar que o sistema fotovoltaico *off-grid* é mais leve que o gerador existente. No entanto, deve ainda ser considerado o sistema de *back-up* – no caso, um banco de baterias. Mesmo assim, a adição desse banco ainda mantém o sistema fotovoltaico mais vantajoso em termos de peso, uma vez que esse pesa em torno de três toneladas contra seis toneladas do gerador.

Outro fator importante a ser considerado na logística é o consumo de diesel dos geradores – além do impacto ambiental causado pela sua utilização, o diesel demanda um fluxo contínuo de abastecimento a depender da duração da operação. Nesse sentido, considerando um gerador de 10 kVA, mais ajustado para a carga do hospital de campanha, seu consumo, conforme fabricante, é de aproximadamente, 2,7 L/h.

Por conta disso, para cada mês de operação, são necessários cerca de 1944 litros de diesel para o funcionamento do hospital (ou 1658 kg, considerando sua densidade). Dessa forma, além do deslocamento contínuo de combustível para manter seu funcionamento, deve-se considerar o abastecimento recorrente necessário em função da capacidade do tanque do gerador.

No entanto, deve-se lembrar que a operação conta com um gerador de maior capacidade, cujo consumo de diesel aumenta caso seja utilizado apenas para atendimento apenas do hospital de campanha. Contudo, esse gerador também é responsável por atender a demanda de outras edificações da operação, de forma que, apesar de superdimensionado para o hospital, ele não é utilizado com a finalidade supri-lo exclusivamente.

Essa consideração é importante pois, ao comparar o peso do gerador existente e a solução alternativa, verifica-se que, apesar dessa opção ser mais leve, ela atende apenas parcialmente a estrutura montada para a operação, ao passo que o gerador, embora mais pesado, atende-a em sua integralidade.

Do ponto de vista operacional, é importante que a operação do hospital de campanha seja ininterrupta, devendo estar apto para funcionamento durante todo o dia. Por conta disso, a estratégia tradicional dos sistemas fotovoltaicos *off-grid* é o sistema de *back-up* ser composto exclusivamente por baterias. Nesse cenário, em momentos de queda na produção de energia elétrica, as baterias passam a suprir a demanda por energia elétrica, com autonomia para fazê-lo de forma ininterrupta por dois dias.

No dimensionamento realizado, o sistema necessita de quinze baterias para funcionamento adequado, cada uma pesando 125 kg, perfazendo um total de 1875 kg. Conforme já explicitado, essa alternativa, juntamente com o peso das placas fotovoltaicas, reputa-se mais leve do que a estratégia existente, apesar de atender apenas hospital de campanha – parte de um todo maior.

Adicionalmente, pode-se comparar a substituição dos bancos de baterias por um gerador de 10 kVA (mais ajustado a carga) e para funcionamento apenas no período noturno. Dessa forma, constrói-se a Tabela 5, a partir da Tabela 3, com as considerações de potência apenas à noite.

Tabela 5: Estimativa de potência e energia demandada pelo hospital de campanha no período noturno.

Equipamentos	Potência (W)	Taxa de ocupação	Taxa de utilização	Horas de utilização (h)	Energia (kWh)
Monitores	600	0,725	40%	1,5	0,26
Bombas de Infusão	60	0,725	90%	1,5	0,06
Ventilador Mecânico	300	0,725	30%	1,5	0,10
Desfibrilador/Cardioversor	240	1	100%	24	5,76
Eletrocardiógrafo	264	1	100%	24	6,34
Luminárias com lâmpadas	384	1	100%	24	9,22
Computadores	130	1	100%	24	3,12
Tomadas de uso geral	500	1	100%	8	4,00
Sistema de Climatização diurno	4.075	1	100%	12	48,90
Sistema de Climatização noturno	1.215	1	100%	12	14,58
Total	3.193-	-	-	-	39,44

Fonte: Autores (2024).

Nesse momento, as tomadas de uso geral e o sistema de climatização seriam parcialmente desconsiderados: as primeiras porque são utilizadas apenas no horário de expediente (horário diurno) e o segundo teve a parte diurna do consumo excluída. Nesse cenário, o consumo gerador de 10 kVA seria de aproximadamente 1,5 L/h (50% da carga e peso de 650 kg – dados do fabricante) e apenas durante doze horas de funcionamento – perfazendo um consumo total de 540 L de diesel – cerca de 460 kg – por mês.

Nesse caso, avaliando apenas em termos de peso, operações prolongadas por mais de dois meses e meio fazem com que o transporte de diesel e do gerador exijam um esforço superior ao transporte das baterias. No entanto, deve-se ponderar que nem sempre será possível estimar previamente a duração de uma operação, de forma que, por vezes, a escolha mais adequada será avaliada durante a própria operação.

Por fim, sob a ótica operacional, como os grupos de cargas analisados podem ser segregados no momento da instalação, é possível optar por atender apenas alguns deles pelo sistema fotovoltaico *off-grid*. Como sistema de climatização responde pela maior potência e demanda de energia do hospital de campanha, pode-se escolher mantê-lo alimentado pelo gerador, ao passo que os equipamentos hospitalares e não hospitalares seriam atendidos pelo sistema fotovoltaico. Essa estratégia pode ser útil em situações com restrição de espaço. Nesse cenário, a Tabela 6 apresenta os resultados obtidos.

Tabela 6: Avaliação dos parâmetros em solução com estrição de espaço.

Quantidade de módulos (un)	Área de implantação (m ²)	Peso (kg)	Quantidade de baterias (un)	Peso total (kg)
12	30	384	5	1.009

Fonte: Autores (2024).

Como se pode observar, na hipótese de atendimento parcial do hospital de campanha pelo sistema fotovoltaico, o peso total do sistema passa a ser de uma tonelada. Considerando que o equipamento de climatização responde por, aproximadamente,

metade da carga instalada, e seu consumo seria de 1,5 L/h – similar ao apresentado anteriormente –, o consumo mensal dessa solução seria da ordem 921 kg de diesel – funcionamento durante as 24 horas.

A Tabela 7 resume os resultados verificados.

Tabela 7: Comparação entre as possíveis alternativas e consumo do gerador existente.

Cenário avaliado	Peso total (kg)	Consumo de diesel mensal (kg)	Tempo para ser a alternativa mais vantajosa (meses)
Sistema existente - gerador	-	1.658	-
Sistema fotovoltaico + baterias	2.899	-	1,7
Sistema fotovoltaico + gerador à noite	1.674	460	1,4
Sistema fotovoltaico + gerador para a climatização	1.659	921	2,25

Fonte: Autores (2024).

Dessa forma, pode-se perceber que, para qualquer cenário considerado, deixar de atender o hospital de campanha com o gerador existente passar a ser vantajoso sempre que o tempo da operação supera três meses, momento em que deslocar o diesel para atender consumo do gerador passa a exigir maior esforço do que todo o peso da infraestrutura alternativa e o seu respectivo consumo de diesel, se existir.

Além disso, é importante destacar que todas as alternativas propostas não retiram a característica modular e descentralizada do hospital de campanha, permitindo sua expansão e deslocamento ao longo do território.

7 Conclusão

A partir das informações coletadas, é possível verificar que é possível atender os hospitais de campanha com sistemas fotovoltaicos *off-grid*. As variáveis que podem influenciar na decisão são o tempo de duração da operação e o peso da estrutura a ser construída, uma vez que, atualmente, a instituição já dispõe de geradores para atender o hospital.

Os sistemas de *back-up* influenciam diretamente essa avaliação uma vez que também podem ser responsáveis pelo consumo de diesel. No entanto, em todas as considerações avaliadas, o tempo superior à três meses é suficiente para que o sistema fotovoltaico exija menos esforço logístico do que a solução existente.

Contudo, deve-se avaliar que o estudo sobre a demanda apresenta limitações: quando se avaliam o estudo de demanda sobre as cargas hospitalares, situações excepcionais podem pressionar o sistema de saúde e promover uma maior demanda sobre os hospitais de campanha, elevando a taxa de ocupação estimada e alterando os fatores de utilização dos equipamentos. Essas modificações podem tornar o estudo de demanda sobre os equipamentos hospitalares defasado para a real necessidade.

Além disso, o estudo sobre o sistema de climatização toma como base uma região específica na qual o sistema está instalado. Essa consideração restringe a capacidade de replicação da solução para diversas localidades, uma vez que as características meteorológicas de Pacaraima podem ser substancialmente diferentes de outras regiões.

Referências

- AIRPAC. **Rental cooling guide for tents & shelters: taking you a step closer to cool.** [S. l.: s. n.], 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16401-1:** Instalações de ar-condicionado – Sistemas centrais e unitários. Parte 1: Projeto das instalações. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- BRASIL. **Constituição de 1988.** Das forças armadas. Brasília: 1988. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm. Acesso em: 2 fev. 2023.
- DUARTE, Mariana de Oliveira Barbosa. **Hospitais de campanha – estrutura e emprego em campanha e em situações de emergência.** [S. l.: s. n.], 2019. Disponível em: https://bdex.eb.mil.br/jspui/bitstream/123456789/5220/1/MONO_MARIANA%20DUARTE_CFO.pdf. Acesso em: 28 abr. 2023.
- GRUPOS GERADORES, Tivea. **Informações técnicas.** [S. l.: s. n.], 2024. Disponível em: <https://www.tiveageradores.com/wp-content/uploads/2023/01/GDT-10.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2024.
- PEREIRA, E. B.; MARTINS, F. R.; GONÇALVES, A. R.; COSTA, R. S.; LIMA, F. L.; RÜTHER, R.; ABREU, S. L.; TIEPOLO, G. M.; PEREIRA, S. V.; SOUZA, J. G. **Atlas brasileiro de energia solar.** 2. ed. São José dos Campos: INPE, 2017. 80 p. Disponível em: <http://doi.org/10.34024/978851700089>. Acesso em: 5 jun. 2022.
- PEREIRA, Ocilene Vargas. **Informações sobre hospitais de campanha.** Destinatário: Comissão Regional de Obras da 2a Região Militar. [S. l.], 26 fev. 2022. [Documento interno do Exército].
- RUTHER, Ricardo. Edifícios Solares Fotovoltaicos. [S. l.: s. n.], 2004.
- SANTOS, Lara Monalisa Alves dos. **Hospital militar de campanha: móvel, modular e autônomo,** 2017. Arquitetura de Sistemas de Saúde. Brasília: Universidade Católica de Brasília, 2017. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/hospital_militar_de_campanha.pdf. Acesso em: 28 abr. 2023.
- SCHIFFER, Sueli Ramos. **Manual de conforto térmico.** 5. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.
- WHEATHERHAVEN. **Corridor tent module 8.** [S. l.: s. n.], 2021.