



SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS

AUTORES: Matheus de Oliveira **Fortes** – Cad BM
Paulo Victor Azevedo **Soares** – Cad BM
Daniel Mendonça Dantas de **Matos** – Cad BM

**ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA
FOTOVOLTAICA EM OPERAÇÕES DE DESASTRE**



Rio de Janeiro
2024

AUTORES: Matheus de Oliveira **Fortes** – Cad BM
Paulo Victor Azevedo **Soares** – Cad BM
Daniel Mendonça Dantas de **Matos** – Cad BM

ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DO GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA
FOTOVOLTAICA EM OPERAÇÕES DE DESASTRE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência da disciplina de Metodologia da Pesquisa do Curso de Formação de Oficiais da Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II.

Rio de Janeiro
2024

**SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

Autores: Matheus de Oliveira Fortes – Cad BM, Paulo Victor Azevedo Soares – Cad BM e Daniel Mendonça Dantas de Matos – Cad BM

TÍTULO: ANÁLISE DO GERADOR DE ENERGIA ELÉTRICA FOTOVOLTAICA EM OPERAÇÕES DE DESASTRE

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aprovado em ____ de _____ de 2024

Banca de Avaliação

Presidente

Avaliador 1

Avaliador 2

RESUMO

INTRODUÇÃO: O estado do Rio de Janeiro frequentemente enfrenta eventos que necessitam de geradores elétricos para fornecer energia nos locais dos incidentes. O gerador a combustão, atualmente utilizado, apresenta desvantagens como ruído, emissão de gases poluentes e picos de energia. Este trabalho investiga a utilização de geradores fotovoltaicos como alternativa, considerando suas vantagens em termos de segurança e sustentabilidade em operações de desastre.

MÉTODOS: O presente estudo avaliou de forma empírica o desempenho de um gerador fotovoltaico em ocorrências de desastres, com foco na capacidade de alimentar equipamentos específicos utilizados nessas situações, além de sua performance em diversas condições climáticas. Para isso, foram pesquisadas as autonomias dos equipamentos utilizados nessas operações e com base nas demandas energéticas identificadas, foi estabelecido um parâmetro mínimo que o gerador fotovoltaico deveria atender para assegurar que as necessidades energéticas impostas nas operações fossem adequadamente correspondidas.

RESULTADOS: Os resultados indicam que a capacidade energética do gerador fotovoltaico é um fator limitante, já que ele não possui autonomia suficiente para operar durante uma noite inteira, dependendo do consumo de energia dos equipamentos. Além disso, fatores como a incidência solar e condições meteorológicas, como a presença de nuvens, afetam significativamente a potência gerada pelas placas solares.

CONCLUSÃO: Conclui-se que o gerador fotovoltaico pode contribuir com o CBMERJ em operações de desastre, principalmente no posto de comando e postos avançados, por ser silencioso e independente de combustíveis fósseis. Entretanto, para seu uso eficaz em áreas críticas, seria necessário um aumento na capacidade de armazenamento de energia e no número de placas solares. Futuros estudos poderão explorar o desenvolvimento de sistemas fotovoltaicos mais robustos e a análise de variáveis climáticas que impactam a geração de energia solar em campo.

Palavras-chave: Geradores elétricos; Sustentabilidade; Sistemas fotovoltaicos; CBMERJ.

ABSTRACT

INTRODUCTION: The state of Rio de Janeiro frequently faces events that require electric generators to provide energy at the incident sites. The currently used combustion generator presents disadvantages such as noise, emission of pollutant gases, and energy spikes. This work investigates the use of photovoltaic generators as an alternative, considering their advantages in terms of safety and sustainability in disaster operations. **METHODS:** The present study evaluated the performance of a photovoltaic generator in disaster occurrences, focusing on its capacity to power specific equipment used in these situations, as well as its performance under various climatic conditions. To achieve this, the autonomies of the equipment used in these operations were researched, and based on the identified energy demands, a minimum parameter was established that the photovoltaic generator should meet to ensure that the energy needs imposed by the operations were adequately fulfilled. **RESULTS:** The results indicate that the energy capacity of the photovoltaic generator is a limiting factor, as it does not have sufficient autonomy to operate throughout an entire night, depending on the energy consumption of the equipment. Furthermore, factors such as solar incidence and weather conditions, such as the presence of clouds, significantly affect the power generated by the solar panels. **CONCLUSION:** It can be concluded that the photovoltaic generator can contribute to CBMERJ in disaster operations, particularly at command posts and advanced command posts, due to its quiet operation and independence from fossil fuels. However, for its effective use in critical areas, an increase in energy storage capacity and the number of solar panels would be necessary. Future studies could explore the development of more robust photovoltaic systems and analyze climatic variables that impact solar energy generation in the field.

Keywords: Disaster Operation; Energy Capacity; Photovoltaic Generator; CBMERJ.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	6
2	MÉTODOS	11
3	RESULTADOS	16
4	DISCUSSÃO	20
5	CONCLUSÃO.....	22
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	23

1 INTRODUÇÃO

Considera-se missão do Corpo de Bombeiro Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ) a prestação de socorro em quaisquer situações de eventos do tipo desastre. Eventos desse tipo podem ocorrer durante inundações, catástrofes e desabamentos (RIO DE JANEIRO, 1979). Perante essas operações é necessário que haja recursos eficazes de rápida instalação e que não sejam limitados a artifícios que normalmente nessas situações não estão disponíveis, como a eletricidade, para que então o trabalho dos profissionais seja desenvolvido de maneira que atenda às vítimas de forma ágil e segura.

Os movimentos de massa são os processos geológicos que mais causam vítimas fatais no Brasil. De 1988 a 2022, 4146 pessoas foram vitimadas em 16 estados, 269 municípios e em 959 eventos. As principais cidades estão localizadas na região serrana do Rio de Janeiro, sendo elas Petrópolis, Teresópolis e Nova Friburgo. (MACEDO; SANDRE, 2022).

Com isso, em cenários de desastre, como os exemplificados acima, os sistemas de transmissão de energia, bem como os de saneamento básico costumam ser afetados drasticamente, deixando a população e as equipes de resgate carentes dessas demandas. Para solucionar tais obstáculos, o CBMERJ conta com alguns equipamentos para a produção de energia, como os geradores a combustão e unidades remotas de iluminação.

Atualmente, os equipamentos mais aplicados para geração de energia no CBMERJ são os geradores à combustão da marca Toyama, que possui alternador síncrono, monofásico bivolt 115/230 V com chave seletora, 2 polos, com 5000w de potência produzida, (Manual do Proprietário – Toyama Power Products, 2024) e da marca Honda, com especificações parecidas com as já listadas, porém bivolt com potenciais de 120/240 V). Ambos abastecem, dentre outros equipamentos, o refletor de iluminação, o balão de iluminação, a torre de iluminação e a luz de cena (Manual do Proprietário – Honda EG6500CXS, 2024). Tais equipamentos trabalham com uma diferença de potencial de 220 V, possuem lâmpadas de vapor metálico com potência de 200 W e necessitam que a fonte geradora de energia garanta seu funcionamento (CBMERJ, 2022). Dessa forma, entende-se que o uso de geradores a combustão durante desastres enfrenta limitações, como a dependência de combustível, emissão de gases nocivos, produção de calor e altos níveis de ruído. Esses fatores dificultam o uso seguro e eficiente em áreas confinadas, exigindo planejamento e alternativas energéticas.

Dentre as opções existentes no mercado, para a substituição dos atuais geradores é a utilização do gerador fotovoltaico. Os painéis fotovoltaicos são capazes de captar essa energia solar que tem se tornado, cada vez mais no Brasil, fonte geradora de energia. A energia luminosa do sol pode ser convertida diretamente em eletricidade pelo efeito fotovoltaico. Esse processo

ocorre nas células fotovoltaicas, que podem ser construídas por diferentes tecnologias, tais como as células de silício cristalino e de filme fino (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

O sistema fotovoltaico pode ser on-grid, conectado à rede elétrica ou off-grid, ou seja, que não depende da rede elétrica da concessionária de energia. Este é composto por painéis ou módulos compostos de células fotovoltaicas, dispositivos que captam a energia da luz solar e produzem corrente elétrica e tem sua vida útil de pelo menos 25 anos. Essa corrente produzida é coletada e processada por inversores eletrônicos, que transformaram a corrente contínua gerada pelos painéis em corrente alternada, que são utilizadas pelos consumidores em sua maioria e estão presentes nas tomadas elétricas. Também estão presentes as baterias, que armazenam a energia gerada ao longo do dia e por fim o controlador de carga, que regula a quantidade de energia que flui dos painéis solares para a bateria e mantém a tensão correta da bateria, ajustando a corrente de carga conforme necessário. (VILLALVA; GAZOLI, 2012).

FIGURA 1 – ESQUEMA DE SISTEMA OFF GRID



Fonte: NeoSolar

As placas fotovoltaicas são geralmente instaladas em uma posição fixa, devido ao alto custo dos equipamentos que seguem a posição do sol no céu. Deste modo, é fundamental determinar a melhor inclinação para cada região, em função da latitude local e das características climáticas da região, a fim de estabelecer uma maior eficiência, evitando ainda o acúmulo de grandes quantidades de sujidades, as quais acarretam uma menor produção de energia. (BARBOSA *et al.* 2018)

A energia proveniente do sol foi responsável por 4,4% da matriz elétrica brasileira em 2022, ficando atrás somente da geração eólica quando se refere a fontes alternativas, tornando a geração no país ainda mais sustentável (EPE, 2023). Segundo Carraro *et al.* (2019), esse aumento se deve principalmente à economia financeira a longo prazo, à isenção de alguns impostos por

meio de legislações criadas pelo governo, a novas formas de financiamento por parte dos vendedores e ao desenvolvimento tecnológico das indústrias responsáveis.

Diante das dificuldades enfrentadas durante as operações, como as apresentadas pelos militares, o Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro ainda carece de equipamentos que atendam às necessidades operacionais de forma eficaz. Atualmente, o gerador à combustão utilizado apresenta limitações, como ruído e risco de incêndio, que podem comprometer outras demandas durante as operações de desastre. Sendo a energia elétrica um recurso essencial para o bom andamento das operações, sua escassez em situações caóticas é uma preocupação significativa. O sistema de distribuição de energia elétrica convencional, responsável pela oferta de corrente elétrica, é vulnerável a fragilizações diante de catástrofes ambientais, como postes de luz derrubados, cabos elétricos e telefônicos rompidos, além de subestações danificadas em alguns casos.

Acrescenta-se a isso, a Resolução 414/2012 da ANEEL que prevê a responsabilidade da distribuidora em restabelecer o fornecimento de luz no prazo de 24 horas. Dessa forma, evidencia-se que a energia pode demandar tempo para ser restabelecida e causar mais prejuízos às vítimas e ao bom andamento da missão, fazendo-se necessário a utilização da tecnologia do gerador fotovoltaico, a fim de suprir essa carência indeterminada.

Ao analisar o gerador convencional, já empregado nos eventos, observa-se um fator negativo que é o barulho excessivo do próprio funcionamento do equipamento. Visto que no Manual de Salvamento em Desastres do CBMERJ há diversos momentos durante as operações que necessitam do silêncio total de todos os presentes, exemplo da aplicação do método chamada e escuta, que é aplicado para tentar ouvir sons emitidos por vítimas debaixo dos escombros (CBMERJ, 2022)

Dessa maneira, de acordo com o que versa o Manual de Salvamento em Desastre (2022) durante o período diurno, a análise da identificação e delimitação da área afetada se torna mais fácil de ser realizada pela equipe de primeira resposta, porém sem iluminação adequada a delimitação dessa área tem grande probabilidade de estar equivocada, dificultando o bom andamento da operação. Porém, essa necessidade está diretamente ligada ao uso do gerador que, porém, age como fator limitante a aplicação de métodos que necessitam de silêncio. Nesse sentido, fica explícito que a fonte usada atualmente pelo CBMERJ nas operações influencia negativamente nestas tanto quando este está ligado quando está desligado.

Visando, portanto, reduzir essa interferência indesejada, o gerador de energia elétrica fotovoltaica possui a capacidade performativa de abastecer as FEA's sem interferir na qualidade da comunicação devido a ruídos, visto que não emite desconforto ao ouvido humano e promove

um ambiente favorável para a comunicação. Sendo assim, ele tem o potencial para ser uma solução inovadora.

Nesse sentido, o moto gerador à combustão, quando acionado, gera um pico de energia, no qual esse valor de corrente de partida do equipamento pode queimar os componentes internos dos equipamentos a ele conectados, levando a inoperacionalidade e interrupções operacionais (COMPRACO, 2024). O fato foi relatado pelo instrutor da Academia de Bombeiros Militar Dom Pedro II e especialista em operações de salvamento em desastre em entrevista. Tal situação não acontece com o gerador fotovoltaico testado, uma vez que quando acionado, ele inicia a oferta de energia de forma gradativa até chegar à demanda exigida e se mantém constante, assim que o alcança.

Acrescenta-se a isso, o fato de que a tecnologia fotovoltaica, por não possuir um sistema a combustão para alimentação, é de uso ininterrupto, uma vez que não necessita de reabastecimento (VILLALVA, 2012). O ganho tecnológico apresentado pelo modelo fotovoltaico permite que materiais, como os de iluminação, entrem em funcionamento de forma mais rápida e segura, do que o gerador a combustão durante uma operação de desastre, por já estarem conectados ao sistema. Desse modo, a forma simplificada de manusear gerador fotovoltaico e a independência de combustíveis fósseis inibem os danos causados as FEA's oriundo da má utilização do gerador pela guarnição ou pela própria falha do modelo de gerador à combustão.

Complementa-se a informação com o estudo feito pela empresa *Resgatécnica*, os benefícios do uso de um gerador de energia solar em comparação com um gerador a gasolina ou diesel incluem a ausência de ruído, a não emissão de gases tóxicos da combustão interna e a dispensa de combustível e/ou óleo. Basta conectá-lo e estará pronto para uso.

Ademais, a utilização de geradores fotovoltaicos em substituição aos geradores à combustão se destaca pela sua importância ambiental e sustentável. Enquanto estes operam utilizando combustíveis fósseis, como o diesel, resultando na emissão de gases poluentes, os geradores fotovoltaicos produzem energia de maneira limpa e renovável. Essa troca não só reduz a pegada de carbono, mas também diminui a dependência de combustíveis fósseis, promovendo uma solução mais ecológica e segura para operações em áreas de risco e desastres, como descrito no contexto das operações de salvamento.

Tomando-se como exemplo o desastre ocorrido em Petrópolis em 2022, neste episódio, houve 775 ocorrências de deslizamento em toda a região e, por consequência do terreno acidentado, ficou extremamente comprometida a locomoção (Revista Geociências, 2023). Devido a isso, a logística da operação, quanto a distribuição dos recursos, foi dificultada pelas condições das vias. Neste cenário, denota-se a evidente vantagem do equipamento que tem independência do combustível para o seu funcionamento.

Em que pese a utilização frequente de geradores à combustão em cenário de desastres, a aplicação de geradores fotovoltaicos nestes eventos ainda não parece totalmente compreendida. Neste sentido, investigar a utilização deste último pode apontar para viabilidade e/ou limitações desta alternativa para o emprego operacional. O estudo, portanto, busca o aperfeiçoamento do equipamento, uma vez que, além de cumprir a demanda elétrica, não impede a aplicação adequada das técnicas de resgate e localização de vítimas, bem como aumenta a segurança da operação mantendo os sistemas de iluminação ativos nas operações noturnas.

Dessa forma, o objetivo da análise, no entanto, da utilização da fonte geradora de energia elétrica fotovoltaica é apresentar uma alternativa que supra a demanda energética da operação, assim como a atual, porém sem produzir ruídos que atrapalhem as ações nas operações que necessitem de absoluto silêncio, sem gerar vibrações que possam fragilizar mais ainda o solo em condições instáveis, sem expelir gases tóxicos oriundos da própria combustão interna do motor do gerador, sem depender do abastecimento constante do combustível e reduzir o risco de danos nos equipamentos, devido às oscilações da oferta de corrente elétrica dos geradores a combustão.

A presente pesquisa visou analisar a utilização de um gerador de energia elétrica fotovoltaica em operação de desastres, uma forma de suprir a demanda energética durante as operações, diferente da atual utilizada pelo CBMERJ. Com suas características que apresentam vantagens em cenários de caos, é possível realizar técnicas de busca de vítimas com mais precisão e ter um cenário mais seguro tanto para o bombeiro executar sua missão quanto para a sociedade que depende do serviço.

2 MÉTODOS

Para atingir os objetivos da pesquisa foi delineado um estudo de natureza aplicada, pois é uma verificação prática destinada a solucionar problemas existentes, com abordagem predominantemente qualitativa, visto que foi feita uma análise da implementação de um sistema e avaliar sua viabilidade, qualidade e capacidade de suportar a demanda em eventos de desastre. Os testes realizados foram os de recarga realizados com gerador, durante diferentes condições climáticas e a verificação do quanto este consegue suprir a demanda energética de equipamentos elétricos utilizados na operação de desastre, sendo estes parte do posto de comando e da área quente. Nesses testes, as variáveis dependentes analisadas foram a carga obtida no equipamento em Watts, a potência gerada ao longo do dia e a demanda energética de cada FEA.

Para estimar a autonomia dos equipamentos mais utilizados em uma operação a análise feita pelo grupo foi baseada no valor de autonomia base informado pelo manual do gerador, um total de 2000Wh, e o valor de cada equipamento obtido através do leitor do equipamento seguindo a equação 1:

$$\text{Autonomia} = \frac{2000}{\text{Potência do equipamento}} \quad (1)$$

Outro fator importante no carregamento das baterias e na autonomia do equipamento durante o dia é a potência gerada pelas placas que irão carregar a bateria. Caso o saldo entre a carga gerada e a carga consumida seja positivo, ou seja, mais carga sendo produzida do que gasta, o sistema armazenará essa diferença nas baterias para atender a demanda energética no período noturno. Tais informações foram obtidas pelo grupo por métodos empíricos durante o período de testagens.

Os militares responsáveis pela pesquisa realizaram entrevistas e, dentre alguns aspectos levantados, foram abordados os equipamentos elétricos que são utilizados nas operações. Além disso, foi registrado a opinião dos militares que estão em contato direto com esses eventos a respeito do uso dos geradores, tanto os pontos positivos quanto os negativos, a fim de reiterar a utilização do gerador fotovoltaico em complemento ao já utilizado pelo CBMERJ.

Com autonomia de 2 kWh e potência de saída de 2 KW, a RTE OS 2 Power Station fornece a energia para os equipamentos elétricos nela conectados. Dispositivos, estes, monofásicos, incluindo bombas submersíveis, ventiladores de alto desempenho, equipamentos de resgate e de iluminação, por horas. (*Rosenbauer International AG, 2022*). Tais saídas (*Output*) oferecem aos equipamentos conectados 2 tipos de correntes, alternadas (AC) e contínuas (DC).

Todas as saídas AC do gerador trabalham com a tensão efetiva e frequência de 240V/50Hz, enquanto as DC trabalham com tensão de 12V, sendo as correntes de 25^a, 10^a e 5^a, além de duas USB-C de 5V e uma PD de 60W. Destes, os equipamentos utilizados pelo CBMERJ devem ser conectados nas duas saídas AC disponíveis, devido a tensão de 240V. Os soquetes de saída da corrente alternada podem necessitar de adaptador bivolt, pois a entrada possui apenas 2 pinos, sendo que os materiais mais novos possuem tomada de 3 pinos, como Luz de Cena e carregador de baterias do desencarcerador elétrico. Em contrapartida, os soquetes de saída da corrente contínua são excelentes para serem utilizados em carregamentos de celulares e outros dispositivos USB.

FIGURA 2 – GERADOR FOTOVOLTAICO COM AS SAÍDAS DE ENERGIA (OUTPUT)



Fonte: *Rosenbauer International AG*

O tempo de carregamento da bateria varia com cada tipo de carregador, sendo impedido que sejam utilizadas formas diferentes ao mesmo tempo. Direto na tomada (Mains): 5 horas do 0% até a carga máxima, carregador para base veicular (Vehicle): 20 horas com 12V e com os painéis solares: 10 horas com 1 painel à 200W, sendo que estes podem ser combinados em até 4 conjuntos ao mesmo tempo. Dessa forma, o tempo de carregamento diminui para 2 horas.

TABELA 1– TEMPO DE CARREGAMENTO COM AS PLACAS SOLARES

	1 placa solar	2 placas solares	3 placas solares	4 placas solares
Tempo de Carregamento	10 h	5 h	3 h e 20 min	2h e 50 min
Potência input média	200 W	400 W	600 W	700 W

Fonte: *Rosenbauer International AG*;

Legenda: Tabela com tempo de carregamento do gerador de acordo com o número de conjunto de placas solares conectadas. O presente artigo foi elaborado com base em 1 placa solar, quantidade fornecida pela Resgatécnica.

A seguir constam as especificações do gerador fotovoltaico e dos dois geradores a combustão que também são utilizados atualmente pela corporação em operações segundo manual, em um quadro comparativo entre eles:

TABELA 2– COMPARAÇÃO DOS 3 GERADORES

	Gerador fotovoltaico	Gerador Honda EG6500CXS LBH	Gerador Toyama TG 1300CRX
Tensão gerada	240v	120/240V	115/230V
Frequência	50 Hz	60 Hz	60Hz
Corrente máxima de saída	9A	45,8/25,9A	9,1 / 4,5A
Potência máxima gerada instantânea	300W	5500w	1050W
Potência	2000W	6500w	1250W
Autonomia	2000Wh	3,41 L/h	5,5h
Peso total	31,5Kg	87 kg	27Kg
Temperatura de operação	-10°C a 45°C	-15°C a 40°C	Até 40°C
Ruído	0 dB	102 dB	62 dB

Fonte: *Rosenbauer International AG*; *Manual do proprietário Honda*; *Manual do proprietário Toyama*.

Legenda: Quadro comparativo entre as principais especificações dos 3 produtos.

A bateria, feita de lítio (LiFePO₄), é inerentemente não combustível e possui uma vida útil de 3.500 ciclos, cada ciclo é um processo de carga e descarga da bateria, o que dura em média 15 anos, segundo o fabricante. Já os painéis solares, possuem uma vida útil em torno de 25 a 30 anos.

Sobre a questão do uso e do carregamento do gerador, o equipamento testado não pode ser carregado ou utilizado em situações de chuva, uma vez que não possui proteção contra água, pois sua proteção é a IP 33. (*ROSENBAUER International AG, 2022*). Vale ressaltar que a higienização do módulo das placas deverá ser feita com materiais umedecidos, como panos e lenços. O conjunto gerador-placas deve ser limpo constantemente, pois o acúmulo de sujeira influencia na taxa de carregamento, visto que estes materiais podem tapar as células fotossensíveis e diminuir a quantidade de energia captada pela luz solar.

Os critérios para realização da amostra foram os testes de recarga realizados com gerador, durante diferentes condições climáticas e a verificação do quanto este consegue suprir a demanda energética de equipamentos elétricos utilizados na operação de desastre, sendo estes parte do posto

de comando e da área quente. Tais verificações visavam estabelecer um comparativo entre o gerador utilizado atualmente pela corporação e o fotovoltaico. Soma-se a isso, o fato de terem sido feitas entrevistas com militares da corporação. A escolha dos entrevistados que participaram respondendo as perguntas feitas pelo grupo foi o fato de serem especializados em eventos de desastres ou em busca, resgate e salvamento com cães. Ao todo, foram cerca de cinco bombeiros que servem em unidades como Curso de Formação e Aperfeiçoamento de Praças (CFAP), Academia de Bombeiro Militar Dom Pedro II (ABMDPII), entre outras, compartilhando experiências em eventos e informações valiosas para o andamento do projeto, bem como explicitando o amplo conhecimento sobre a aplicabilidade do gerador à combustão nas operações analisadas.

As amostras foram baseadas nos valores obtidos pelo gerador fotovoltaico durante os dois testes que foram realizados em diferentes áreas do Complexo de Ensino e Instrução Coronel Sarmiento (CEICS). Tais estudos se basearam em coletar a potência gerada pelas placas solares ao longo do dia para análise do tempo de carregamento do gerador fotovoltaico. Tais fontes de carregamento foram testadas em diferentes ambientes, como no telhado da ABMDPII, no gramado ao lado da piscina do CEICS, entre as torres de instrução do CEICS e em frente ao depósito de material operacional da ABMDPII, para que fosse possível verificar se há uma grande mudança na taxa de recarga da bateria em diferentes posições geográficas das placas em relação ao Sol. Vale ressaltar que, as anotações realizadas sobre as taxas foram realizadas periodicamente tendo como base, no mínimo, todos os intervalos da rotina dos cadetes do terceiro ano, até o horário do pôr do Sol. Todos os dados obtidos, nos diferentes dias, constam no apêndice B. Um fator importante para esse levantamento foram as condições climáticas de cada dia e por meio desta foi possível determinar que em um dia ensolarado a taxa de carregamento é muito maior que no dia nublado.

Além disso, o teste não ficou apenas restrito ao próprio gerador fotovoltaico. Ampliou-se as pesquisas quanto às possíveis ferramentas utilizadas no cenário de desastre. Buscou-se verificar o desempenho das FEA's na interação com o gerador, vendo a autonomia de trabalho de cada uma delas.

Todos os bombeiros especializados que participaram da entrevista foram devidamente instruídos quanto aos procedimentos de coleta e eventuais riscos e benefícios de suas participações. A partir da ciência dada pelo entrevistado, ao início dela, uma sequência de perguntas foi realizada a fim de absorver o máximo de experiências vividas pelos militares.

Vale ressaltar, por fim, o fato de que foi respeitada a propriedade intelectual da empresa *Resgatécnica* fazendo uso apenas das informações contidas nas fichas técnicas dos geradores projetados por elas. Dessa forma, o presente estudo visa auxiliar na expansão do conhecimento

apresentado pela empresa e estimular o avanço tecnológico da corporação quanto às fontes geradoras de energia.

3 RESULTADOS

Foi feita uma estimativa de autonomia do equipamento através de cálculos com valores das potências das FEA's, que foram obtidas diretamente no manual do equipamento ou na informação fornecida no visor do RTE OS 2 conforme a tabela 1.

TABELA 3: VALORES DE POTÊNCIA E AUTONOMIA DOS EQUIPAMENTOS

Equipamento	Potência consumida (W)	Autonomia do gerador (h)
Balão de iluminação + Ventilador	250	8h
Luz de cena (potência máxima)	137	14h36min
Luz de cena (potência média)	90	22h13min
Luz de cena (potência mínima)	70	28h34min
Luz de cena (bateria)	70	28h34min
Serra sabre (Makita)	115	17h23min
Serra sabre (DeWalt)	45	44h27min
Desencarcerador elétrico (bateria)	275	7h16min
Bateria do rádio Hytera	24	83h20min
Celular iPhone 11 com carregador turbo	20	100h
StarLink	55	36h22min
Computador Dell Latitude 5430	90	22h13min

Fonte: Os autores;

Legenda: Valores obtidos a partir do leitor do equipamento RTE OS2 Power Station. Relação entre a potência consumida de cada equipamento e a estimativa de consumo do gerador.

A tabela apresentada foi montada com base nos ensaios feitos com os equipamentos durante a obtenção da amostra, bem como por meio de análise dos manuais de alguns equipamentos em que, por motivo de ser de baixo consumo como o carregador de celular e de bateria do rádio Hytera, ou por motivo de não conseguir acautelar o equipamento como o StarLink, não puderam ser testados. Dessa forma, a autonomia dos equipamentos apresentados foi determinada tomando-se como base a equação 1, realizando o cálculo proporcional para determinar quanto tempo estes conseguiriam se manter operantes de acordo com a autonomia fornecida pelo manual.

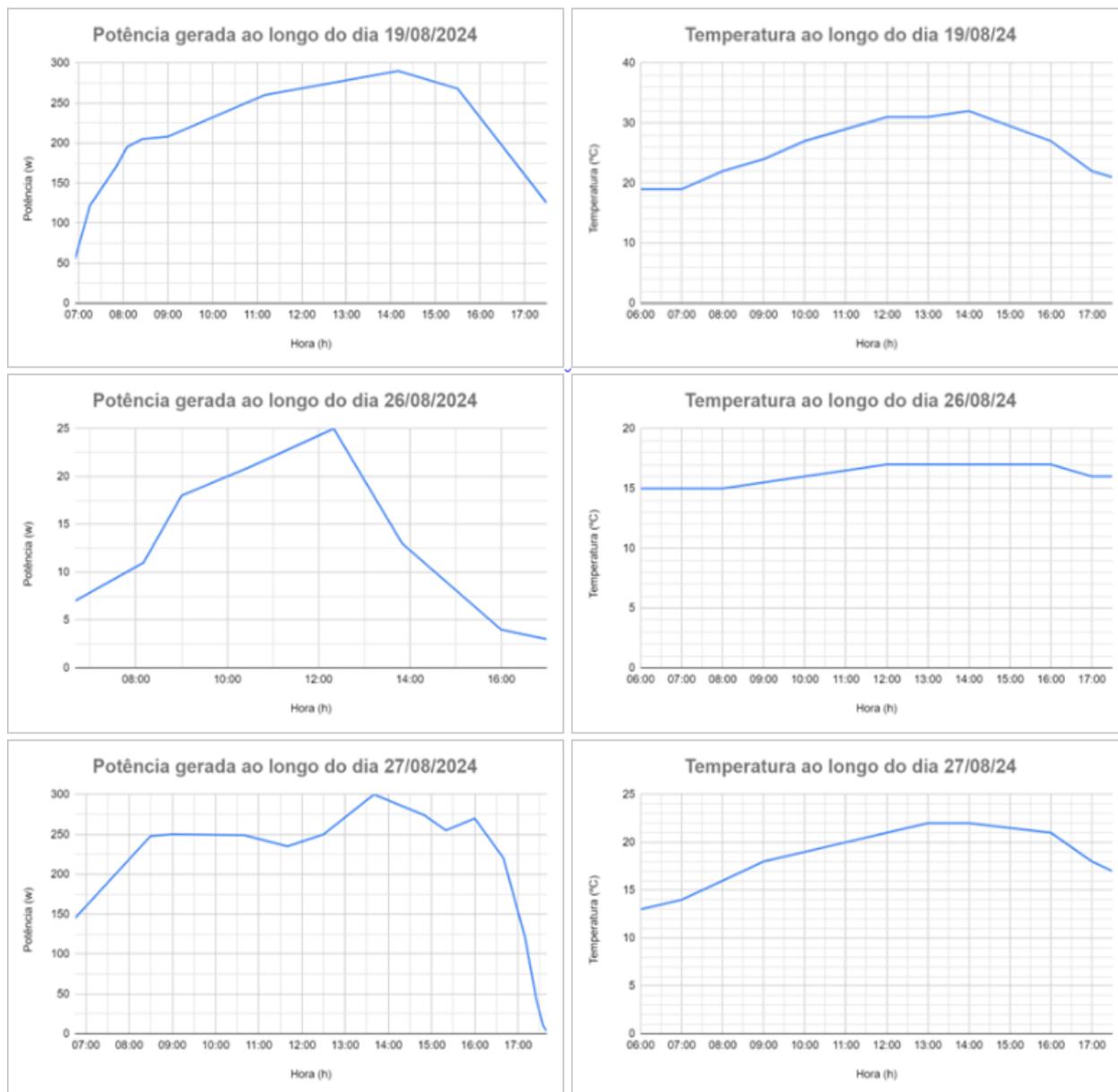
A forma de acondicionamento do mesmo pode ser feita dentro do Depósito de Material Operacional (DMOp), das unidades ou nas próprias das viaturas atualmente utilizadas pelo CBMERJ, uma vez que o equipamento é pequeno e possui apenas 31,5 Kg (*ROSENBAUER International AG, 2022, p. 76*). Cada conjunto de placas solares possui peso médio de 15 Kg, dado obtido por meio de testagem de um protótipo com balança, e considerando que, para se obter a taxa de carregamento máxima do gerador, são necessários 4 conjuntos de placas, verifica-se que, apesar disso, pouco espaço é demandado para o acondicionamento, pois as placas são todas articuladas e, ao serem dobradas, tem o seu tamanho reduzido a 91,0 x 49,5 cm.

Em contrapartida, a fonte de energia analisada possui temperatura de trabalho útil, ou seja, durante a alimentação de FEA's (Output Power) em torno de -10°C a 45°C e na condição de carregamento de 0°C a 45°C. Tais dados demonstram que o gerador não apresenta alteração térmica para a realidade encarada no Estado do Rio de Janeiro.

Visto que o material, se for adquirido pelo CBMERJ, deverá ser licitado, a empresa *Resgatécnica* informou que existe a possibilidade de ter a garantia de 12 meses até 24 meses. Quanto a manutenção do equipamento, é feita pela mesma empresa, que é a representante da *Rosenbauer* no Brasil. A preventiva acontece a cada 6 meses e custa em torno de R\$2.500 (dois mil e quinhentos reais). Após o tempo de garantia previsto, a empresa não informou como poderá ser procedida.

Assim, foram realizadas algumas medições durante o dia, em diferentes dias, com variadas condições climáticas, para verificar o comportamento do gerador fotovoltaico quanto ao seu carregamento. Assim, foram traçados alguns gráficos com dados coletados durante dias diferentes e condições climáticas diferentes, como consta na figura a seguir:

FIGURA 3: VALORES DE POTÊNCIA E TEMPERATURA OBTIDOS AO LONGO DOS TRÊS TESTES



Fonte: Os autores;

Legenda: Gráficos montados de acordo com a captação de energia ao longo dos dias descritos

Os gráficos foram desenvolvidos por meio da análise dos dados apresentados pelo próprio visor do gerador fotovoltaico, combinados com os horários e temperaturas colhidas pelo termômetro online da plataforma *Google*. Vale ressaltar que as condições climáticas foram diferentes, para se obter um maior espaço amostral no que diz respeito a temperatura média do dia e incidência dos raios solares nas placas. No dia dezenove de agosto o céu estava aberto com poucas nuvens, no dia vinte e seis, o dia estava nublado com temperatura baixa e no dia vinte e

sete, as condições eram de céu com algumas nuvens, porém com temperatura média entre 20 e 25 graus.

Percebe-se que, ao calcular a área desse gráfico Potência *versus* Hora, é possível obter a energia gerada pelas placas ao longo do dia a partir da equação 2:

$$\varepsilon = P.\Delta t \quad (2)$$

Sendo ε a energia gerada pelas placas em Watt-hora (Wh), P a Potência gerada pela placa em Watts (W) e Δt o intervalo de tempo em hora (h).

Com o auxílio da ferramenta de inteligência artificial, a qual utilizou a regra do trapézio para integrar numericamente os valores de potência ao longo do tempo, o resultado da energia gerada no dia 19 de agosto de 2024, como conta no gráfico A resultou em uma área total de 2125 Wh, o que carregaria o equipamento de 0 a 100% e ainda sobraria 125 Wh, cerca de 6% de carga excedente em relação a carga total gerada.

No dia 26 de agosto de 2024, tendo sua geração representada no gráfico C, como se tratou de um dia totalmente nublado, com suas condições climáticas expostas no gráfico D, a incidência da luz solar foi reduzida. Essa condição temporal limita a geração fotovoltaica eficiente, vista que depende diretamente da incidência da luz solar, mesmo havendo luz, a potência gerada é bem inferior comparada a um dia ideal de geração. Nesse dia, segundo a inteligência artificial, utilizando a mesma técnica para calcular, a quantidade de energia gerada foi de 130 Wh, resultando em uma quantidade de carga abaixo quando se comparada ao que se necessita em uma operação de desastre e ao que o equipamento é capaz de armazenar.

No dia 27 de agosto de 2024, a energia gerada pelo equipamento foi de 2300 Wh, o que significa que carregaria o equipamento de 0 a 100% e ainda sobraria 300 Wh, cerca de 13% de carga excedente em relação a carga total gerada.

4 DISCUSSÃO

Este estudo analisou a performance do gerador fotovoltaico da Rosenbauer em comparação com o gerador elétrico a combustão utilizada pela corporação, considerando parâmetros como ruído, potência de carregamento, autonomia das baterias e demanda energética dos equipamentos usados em operações de campo.

Durante a entrevista, o capitão Palmieri falou sobre a energia vibracional no solo, já fragilizado, produzida pelo gerador à combustão, que dependendo da proximidade com a área atingida pode gerar uma réplica, termo utilizado para se referir a novos desabamentos na mesma área. Também relatou um incidente ocorrido em uma operação em que ele esteve presente, cujo gerador entrou em combustão durante o abastecimento do equipamento enquanto se encontrava ligado. O combustível entrou em contato com a parte externa, o que deu início ao aumento do caos no ambiente.

Com isso, o relato indica que o gerador fotovoltaico apresentou algumas vantagens operacionais, sendo uma dessas o fato de não produzir vibração ao ser acionado. Outros pontos positivos, destacaram-se, pela observação empírica, o baixo nível de ruído, a ausência de risco de combustão e a maior estabilidade da tensão elétrica, o que reduz a chance de danos aos equipamentos, conforme apontado por Almeida e Costa (2022) ao analisar os benefícios do uso de geradores em ambientes sensíveis.

A potência de carregamento das placas solares alcançou até 300W, superando o valor máximo informado pelo fabricante em condições ideais e alcançando uma eficiência de 150% em relação ao manual do fabricante, o que está em conformidade com as observações de Gonçalves e Marques (2020) sobre a variabilidade da eficiência de sistemas solares. Porém, ao analisar a geração em dia nublado ele forneceu pouco mais de 10% de eficiência. Isso está relacionado diretamente com a radiação solar de cada dia.

A radiação está contida nos índices ultravioletas, segundo Clima e radar (2024) os maiores índices de radiação presentes na figura 3 estavam na faixa de 8-10 de radiação, e os menores, como no dia 26 de agosto, constavam como 0-2 numa faixa de radiação. Esses valores estão diretamente relacionados à variação da temperatura ao longo do dia.

Com isso, o estudo revelou limitações significativas, como a dependência de condições climáticas favoráveis para sua geração e a capacidade limitada das baterias para o uso contínuo de equipamentos mais exigentes, em linha com o que Santos e Lima (2018) relataram em seu estudo sobre os impactos do clima em sistemas solares.

Esses resultados têm implicações relevantes para a área de operações de desastres, especialmente em cenários onde o silêncio operacional e a segurança são prioritários. A

substituição parcial ou total de geradores a combustão por sistemas fotovoltaicos poderia aumentar a eficiência das operações sem comprometer a segurança. O estudo também demonstra que a estabilidade da tensão gerada pelos painéis solares oferece uma proteção adicional aos equipamentos, eliminando picos de corrente, um problema comum nos geradores tradicionais (ALMEIDA; COSTA, 2022).

Em comparação com trabalhos anteriores, como o de Pereira e Barros (2019), que abordam o uso de baterias de lítio em geradores solares, este estudo confirma a necessidade de uma maior capacidade de armazenamento para garantir uma autonomia adequada em operações noturnas. Além disso, a dependência da posição das placas solares em relação ao Sol, conforme mencionado por Carvalho e Freitas (2021), reforça a importância de otimizar o uso de painéis solares móveis para garantir um desempenho máximo.

No entanto, alguns resultados surpreendentes, como o fato de as placas gerarem uma potência superior ao especificado pelo fabricante, são inéditos e contradizem as expectativas baseadas na literatura. Isso pode ser explicado por variações nos materiais utilizados na fabricação das placas ou pelas condições atmosféricas particulares durante o estudo, como sugerido por Silva (2017).

Os resultados inesperados incluem a discrepância entre a potência gerada e o valor informado no manual do equipamento, bem como a dificuldade de visualizar o consumo de certos dispositivos, como rádios e celulares, que, devido ao consumo irrelevante, não foram identificados pelo visor do gerador, com isso foi utilizado o valor fornecido pelo manual dos equipamentos. Esse resultado diverge dos estudos de Almeida e Costa (2022), que não mencionaram essa limitação em seus trabalhos sobre o uso de geradores em campo.

As principais limitações do estudo incluem a quantidade limitada de placas solares, o que impediu a verificação do desempenho máximo do gerador conforme o especificado no manual do equipamento. Além disso, as condições climáticas instáveis dificultaram uma análise mais detalhada do comportamento do gerador em diferentes cenários meteorológicos, como discutido por Santos e Lima (2018). Outra limitação foi a impossibilidade de acautelar o aparelho StarLink, o que impediu de verificar o seu consumo no visor do gerador como foi feito com os outros equipamentos, com isso, novamente foi utilizado o valor presente em manual do equipamento referido.

Finalmente, a fragilidade da haste telescópica do gerador foi outro ponto que limitou o estudo, uma vez que essa característica impacta diretamente sua ergonomia e portabilidade em terrenos irregulares, visto que robustez é um ponto bastante importante para um equipamento de bombeiro, devido à natureza da atividade.

5 CONCLUSÃO

Diante das pesquisas feitas sobre geração de energia elétrica a partir da luz solar juntamente com leituras de manuais de desastres e entrevistas com especialistas, foi possível concluir que o conjunto gerador fotovoltaico pode contribuir com o CBMERJ em uma operação de desastre, justamente por sua atuação silenciosa e independente de combustíveis fósseis, proporcionando maior conforto aos militares envolvidos na operação, maior segurança, sugerindo um melhor desempenho na atividade.

Percebe-se, então, que o gerador fotovoltaico dentro de uma atividade de desastre funcionaria bem no posto de comando e em um posto de comando avançado, pois supre a demanda energética de qualquer equipamento utilizado nesse local. Em contrapartida, não se pode descartar totalmente sua atuação na área quente, pois possui desempenho considerável no suprimento de iluminação e carregamento das baterias dos equipamentos elétricos já citados.

Dessa forma, para que o gerador fotovoltaico apoie a área quente de maneira eficiente, é necessário a utilização de um equipamento com maior capacidade de armazenamento de carga e um número elevado de placas solares. Isso permitirá uma geração de energia solar mais eficiente e adequada às demandas específicas das operações em campo.

Para prosseguimento do trabalho, futuros estudos devem investigar sistemas fotovoltaicos com maior capacidade de armazenamento, placas com maior eficiência energética e a integração de novas tecnologias, bem como trabalhar com baterias de alta performance que atendam às necessidades energéticas em cenários de desastre. Além disso, realizar uma análise mais profunda das variáveis climáticas que impactam a eficiência da geração de energia solar em diferentes cenários e condições meteorológicas pode contribuir para otimizar a utilização dos geradores fotovoltaicos em operações do CBMERJ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida TP, Costa VR. Ruído em Geradores Fotovoltaicos e seus Benefícios em Ambientes Sensíveis. *Revista Brasileira de Tecnologia e Sustentabilidade*, v. 35, n. 2, p. 147-155, 2022.
- Barbosa ER, Faria MDSF, Gontijo FB. Influência Da Sujeira Na Geração Fotovoltaica. *Anais Congresso Brasileiro de Energia Solar – CBENS*, [S. l.], 2018. DOI: 10.59627/cbens.2018.655. Disponível em: <<https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/655>>. Acesso em: 2 set. 2024.
- Carraro, Flávio. Energia solar: os benefícios da energia solar para o consumidor caxiense. In: 3º Congresso de Responsabilidade Socioambiental. 2019.
- Carvalho ME, Freitas GN. Baterias de Lítio em Aplicações Fotovoltaicas: Capacidade e Desempenho. *Energia Sustentável*, v. 19, n. 4, p. 65-78, 2021.
- CBMERJ. Manual de Salvamento em Desastres. Rio de Janeiro, RJ, 2022.
- CBMERJ. Pregão Balão de Iluminação – 16/22. Rio de Janeiro, RJ, 2022. 24p.
- Clima Radar. "Índice UV - Rio de Janeiro." *Clima Radar*. Disponível em: <<https://www.climaeradar.com.br/indice-uv/rio-de-janeiro/>> . Acesso em: 19 ago de 2024.
- Compraco. Surto de tensão: causas, efeitos e estratégias de mitigação. Disponível em: <<https://compraco.com.br/blogs/tecnologia-e-desenvolvimento/surto-de-tensao-causas-efeitos-e-estrategias-de-mitigacao>>. Acesso em: 03 out 2024.
- Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Matriz energética e elétrica, 2023. Disponível em: Matriz energética <(epe.gov.br)>. Acesso em: 12 nov 2023.
- Exploring Alternatives. Innovative Solar Power Generator in a Portable Trailer – Clean & Quiet Energy, 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=4_DW081WUE8>. Acesso em: 21 fev 2024.
- Firmino JVLC. Identificação de defeitos em um motor de combustão interna ciclo Otto a partir da análise de vibrações. 2018. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa, 2018. Orientador: Prof. Dr. Marcelo Cavalcanti Rodrigues.
- Gonçalves AF, Marques MP. O Efeito das Condições Climáticas na Eficiência de Sistemas Fotovoltaicos. *Engenharia e Tecnologia Sustentável*, v. 28, n. 2, p. 120-133, 2020.
- Macedo ES, Sandre LH. Mortes por deslizamentos no Brasil: 1988 a 2022. Associação Brasileira de Geologia de Engenharia Ambiental – ABGE. Disponível em: <https://www.abge.org.br/>. Acesso em: 12 mar 2024.
- Manual do Proprietário – Honda EG6500CXS. Disponível em: <<https://www.honda.com.br/motores-e-maquinas/sites/hpf/files/2018-03/EG6500CXS%20LBH.pdf>>. Acesso em: 08 ago 2024.

Manual do Proprietário – Toyama Power Products. Disponível em:<<https://toyama.com.br/produto/gerador-a-gasolina-tg1300cxr-dual-voltage-60hz/>>. Acesso em: 26 fev 2024.

Pereira LJ, Barros AC. O Papel das Baterias na Autonomia dos Sistemas Fotovoltaicos em Operações Críticas. *Renewable Energy Studies*, v. 14, n. 1, p. 98-112, 2019.

Revista Geociências – Desastre ocorrido em Petrópolis no Verão de 2022: Aspectos Gerais e Dados da Defesa Civil, UNESP, 2023. Disponível em:<<https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/geociencias/article/download/17210/12759/90715#:~:text=O%20volume%20de%20chuva%20atingiu,di%C3%A1rio%20da%20hist%C3%B3ria%20do%20munic%C3%ADpio.>> Acesso em: 27 fev 2024.

Rio de Janeiro (Estado). Lei Nº 250, de 02 de julho de 1979. Lei de Organização Básica do Corpo De Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro, 2º, IV, Disponível em:<<http://alerjln1.alerj.rj.gov.br/contlei.nsf/f25571cac4a61011032564fe0052c89c/94ad5244e3adcb032565a6005c8ca6?OpenDocument>>. Acesso em: 21 fev 2024.

Rosenbauer International AG. Manual Gerador: RTE OS 2 Power Station. Leonding, Áustria: Rosenbauer International AG, 07/2022. Revisionsnummer: 02.

Santos RJ, Lima FH. Influência do Tempo Nublado na Performance de Sistemas de Energia Solar. *Journal of Solar Energy*, v. 45, n. 3, p. 215-229, 2018.

Sato AKC. Transmissão de potência em corrente contínua e corrente alternada: Estudo comparativo. Trabalho de graduação, Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá. 2013.

Silva PR. Tecnologia de Geradores a Combustão: Avanços e Impactos. *Revista de Engenharia Energética*, v. 32, n. 1, p. 45-60, 2017.

Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro. Apelação Cível n. APL pode XXXXX20198190210. Disponível em:<<https://www.jusbrasil.com.br/busca?q=suspensao+do+fornecimento+de+energia+eletrica+em+razao+de+fortes+chuvas>>. Acesso em: 26 fev 2024.

Villalva MG. Energia Solar Fotovoltaica – Conceitos e Aplicações. 2. Ed. São Paulo: Editora Érica, 2012.

Villalva MG, Gazoli JR. Energia Solar Fotovoltaica. São Paulo: O Setor Elétrico, 2012. Disponível em:<https://www.osestoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/11/Ed81_fasc_energias_renovaveis_cap9.pdf>. Acesso em: 27 ago 2024.