

ESCOLA DE COMANDO E ESTADO-MAIOR DO EXÉRCITO
ESCOLA MARECHAL CASTELLO BRANCO

Maj Inf JOÃO FAGUNDES MARÇAL

**O aproveitamento do efeito fotovoltaico como alternativa
para geração elétrica de alta qualidade nos Pelotões
Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste**



Rio de Janeiro

2020

Maj Inf JOÃO **FAGUNDES** MARÇAL

O aproveitamento do efeito fotovoltaico como alternativa de geração elétrica de alta qualidade nos Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ciências Militares, com ênfase em Defesa

Orientador: Maj QEM Adriano de Paula Fontainhas **Bandeira**

Rio de Janeiro

2020

S111a Marçal, João Fagundes

O aproveitamento do efeito fotovoltaico como alternativa de geração elétrica de alta qualidade nos Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste. / João Fagundes Marçal. – 2020.

62 f. : il. ; 30 cm.

Orientação: Adriano de Paula Fontainhas Bandeira.

Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Ciências Militares)

—Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, Rio de Janeiro, 2016.

Bibliografia: f. 51-53.

1. PROJETOS ESTRATÉGICOS DO EXÉRCITO. 2. PROJETO SISFRON. 3.GESTAO. I. Título.

CDD 355.4

Maj Inf JOÃO FAGUNDES MARÇAL

O aproveitamento do efeito fotovoltaico como alternativa de geração elétrica de alta qualidade nos Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Comando e Estado-Maior do Exército, como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista em Ciências Militares, com ênfase em Defesa.

Aprovado em 26 de outubro de 2020.

COMISSÃO AVALIADORA

Adriano de Paula Fontainhas **Bandeira** – Maj QEM – Presidente
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Murilo da Silveira **Guerra** – Ten Cel Int – Membro
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

Simone Abreu – Ten Cel Med – Membro
Escola de Comando e Estado-Maior do Exército

À minha esposa Yanlis por se fazer presente nos momentos mais desafiadores da minha vida, bem como por entender e aceitar as particularidades da vida ao lado de um militar do Exército Brasileiro. Sua dedicação e apoio permitiram a consecução deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente ao Senhor do Exércitos por me conceder a saúde, paz, serenidade e sabedoria quando tais virtudes se fizeram necessárias.

À minha esposa Yanlis por estar sempre ao meu lado e compreender as horas de ausência durante a realização desse trabalho.

Por fim, ao meu orientador, Maj Bandeira, pela orientação precisa e oportuna, principalmente, pela confiança, paciência e camaradagem a mim dispensadas.

RESUMO

Os desafios impostos ao Brasil pelo seu legado histórico de quase 17.000 km de fronteiras terrestres fizeram com que o Exército Brasileiro buscasse desenvolver o projeto estratégico Sistema de Monitoramento das Fronteiras (SISFRON). Tal projeto dotará o país da capacidade de responder às ameaças à soberania nacional na faixa de fronteira. Entretanto, o sistema possui tecnologia na fronteira do conhecimento, que é sensível à qualidade da energia elétrica fornecida a seus equipamentos. Somado a isso, há o quadro de restrição orçamentária imposto pela Emenda Constitucional nº 95, que limita a expansão das despesas da União. Desta forma, o presente trabalho se dedicou a estudar a viabilidade da utilização do efeito fotovoltaico para a produção de energia elétrica de qualidade, de modo a garantir a segurança energética dos Pelotões Especiais de Fronteira (PEF) do Comando Militar do Oeste (CMO), assegurar o pleno funcionamento dos equipamentos do SISFRON e racionalizar gastos com geração de energia. Assim, o autor se dedicou a apresentar as particularidades dos equipamentos do SISFRON a serem distribuídos aos PEF do CMO, bem como em descrever as características, possibilidades e limitações do emprego da solução fotovoltaica para o abastecimento de energia elétrica de qualidade aos PEF. No curso do trabalho buscou-se dimensionar e verificar a viabilidade técnica e econômica (EVTE) da instalação de sistemas fotovoltaicos nos PEF do CMO. Para tanto, foram avaliados os padrões de consumo e os valores dispendidos com a geração de energia elétrica ao longo de 2019 de modo a verificar a economia a ser gerada pelos sistemas fotovoltaicos. Foram ainda levantados os dados necessários ao correto dimensionamento dos sistemas, como coordenadas geográficas e os índices de radiação solar de cada pelotão da amostra. Os resultados obtidos serviram para dimensionar o sistema fotovoltaico de 01 pelotão e os custos do projeto foram confrontados com os benefícios advindos do investimento para constatação da viabilidade do empreendimento.

Palavras-chave: Projetos Estratégicos do Exército; Projeto SISFRON; Gestão, Pelotão Especial de Fronteira, Energia Solar, Efeito Fotovoltaico.

ABSTRACT

The challenges imposed on Brazil by its historical legacy of almost 17,000 km of land borders have caused the Brazilian Army to seek to develop the strategic project Border Monitoring System (SISFRON). Such a project will provide the country with the ability to respond to threats to national sovereignty in the border strip. However, the system has technology on the frontier of knowledge, which is sensitive to the quality of the electricity supplied to its equipment. In addition, there is the budget restriction framework imposed by Constitutional Amendment No. 95, which limits the expansion of Union expenditures. Thus, the present work was dedicated to studying the feasibility of using the photovoltaic effect for the production of quality electricity, in order to ensure the energy security of the Special Border Platoons (PEF) of the Western Military Command (CMO), ensure the full operation of SISFRON equipment and rationalize energy generation costs. Thus, the author dedicated himself to present the particularities of SISFRON equipment to be distributed to the PEF of the CMO, as well as in describing the characteristics, possibilities and limitations of the use of photovoltaic solution for the supply of quality electricity to the PEF. In the course of the work, the author sought to size and verify the technical and economic feasibility (EVTE) of the installation of photovoltaic systems in the PEF of the CMO, for this, evaluated the consumption patterns and the values spent on the generation of electricity throughout 2019 in order to verify the savings to be generated by photovoltaic systems. Data needed to properly scale the systems, such as geographic coordinates and solar radiation indices of each platoon of the sample, were also collected. The results obtained were used to dimension the photovoltaic system of 01 platoon and the costs of the project were faced with the benefits arising from the investment to verify the viability of the enterprise.

Keywords: Strategic Projects of the Army; SISFRON Project; Management, Special Border Platoon, Solar Energy, Photovoltaic effect.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	3
2. METODOLOGIA	5
3. O SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE FRONTEIRAS (SISFRON)	7
3.1. A CONCEPÇÃO DO SISFRON	8
3.2. A IMPLANTAÇÃO DO SISFRON.....	12
4. ENERGIA SOLAR E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	14
4.1. O POTENCIAL SOLAR BRASILEIRO.....	14
4.2. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	17
4.3. COMPONENTES BÁSICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS.....	21
4.4. O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	25
4.5. A VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	26
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1. OS CUSTOS COM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA.....	28
5.2. O DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	32
5.3. A VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS	37
6. CONCLUSÃO	42
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho se dedicou a verificar a viabilidade do aproveitamento da energia solar como forma de alcançar a segurança energética e reduzir custo financeiro de organizações militares de fronteira do Exército Brasileiro.

Segundo o Livro Branco de Defesa Nacional, o Brasil possui território de cerca de 8,5 milhões de km² de área terrestre e faz divisa com quase todos os países da América do Sul. Suas fronteiras terrestres se estendem por quase 17.000 km e sua faixa de fronteira compreende a uma área de aproximadamente 27% do território nacional, sendo habitada por cerca de 10 milhões de pessoas (BRASIL, 2012a).

Esse ativo histórico/geográfico representa relevante conexão entre o Brasil e os seus vizinhos, conectando suas economias e populações, mas também servem de porta de entrada para os mais diversos ilícitos transfronteiriços. Desta feita, o monitoramento e a vigilância das fronteiras constituem tarefa relevante e desafiadora para o país (ANDRADE e colab., 2019).

De acordo com o ordenamento jurídico pátrio, tal desafio deve ser enfrentado pelas Forças Armadas. A legislação infraconstitucional que regulamentou o Art. 142 da Constituição Federal de 1988, particularmente a Lei Complementar Nº 97, dispõe que compete ao Exército Brasileiro atuar, por meio de ações preventivas e repressivas, na faixa de fronteira terrestre, contra delitos transfronteiriços e ambientais (BRASIL, 1999).

Assim, para fazer face à tão complexos desafios, o Exército Brasileiro está implantando o Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (SISFRON). Sua implantação se iniciou pelo estado do Mato Grosso do Sul, na área de atuação do Comando Militar do Oeste (CMO). Ao término de sua implantação, o SISFRON dotará o CMO de um conjunto de modernos subsistemas que, integrarão sensores, decisores e atuadores, aprimorando a logística, o comando e o controle, e fomentando o apoio à decisão (ANDRADE e colab., 2019).

Entretanto, conforme aponta Paim (2008, p. 7) “o desempenho dos equipamentos de telecomunicações está intimamente relacionado com a qualidade da energia elétrica que utiliza”. Devido às características da infraestrutura energética dos estados do Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul

(MS), as concessionárias de serviço público não fornecem energia elétrica de qualidade. Assim, é comum o emprego de Grupo Motor Gerador (GMG) para melhorar a qualidade da energia fornecida ou até mesmo suprir toda a energia dos pelotões especiais de fronteira (PEF). Todavia, para o funcionamento desses geradores é necessária a utilização de considerável quantidade diária de óleo diesel.

Dessa forma, a busca por soluções para o fornecimento de energia elétrica de qualidade, que utilizem sistemas baseados em geração de energia autônoma, faz-se cada vez mais necessária, de modo a aumentar a eficiência e a eficácia, por intermédio da redução de custos e aumento do desempenho dos equipamentos instalados na região.

Além disso, em dezembro de 2016, o Parlamento brasileiro aprovou a Proposta de Emenda à Constituição nº 241 estabelecendo um limite para o crescimento dos gastos do governo federal durante 20 anos. Após ser aprovada como Emenda Constitucional Nº 95, passou a vigorar em 2017 pressionando o orçamento do Executivo Federal, e, por conseguinte, o do Exército Brasileiro, exigindo de seus gestores medidas para abrir espaço orçamentário e não prejudicar o cumprimento de suas missões constitucionais.

Com a entrada em vigor da Emenda Constitucional Nº 95, a capacidade financeira do Estado brasileiro em alocar orçamento que permita ao Exército Brasileiro cumprir as missões impostas na legislação nacional pode vir a ser prejudicada. O que deixaria o país suscetível a ameaças externas de desdobramentos internos. Assim, faz-se necessário buscar alternativas para reduzir os dispêndios de custeio da vida vegetativa, de modo a contribuir com o esforço da Nação de sanear as contas públicas e não prejudicar o cumprimento da missão.

Isso posto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi desenvolvido em torno do seguinte problema: Em que medida é viável a utilização de sistemas baseados em conversão energia solar para prover a demanda de energia elétrica aos Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste?

De modo a direcionar as atividades do presente trabalho, foi estabelecido o seguinte objetivo geral: analisar a maneira na qual a geração direta de eletricidade através do efeito fotovoltaico é alternativa econômico-financeira viável para reduzir

os custos de geração de energia elétrica de alta qualidade dos Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste.

Já com a finalidade de atingir o objetivo geral proposto, os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- a) Apresentar o Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras (SISFRON) e suas principais características materiais;
- b) Caracterizar os sistemas de geração de energia fotovoltaico;
- c) Estudar a situação atual do abastecimento, padrão de consumo e custos de geração de energia elétrica por parcela dos PEF do CMO componentes da amostra;
- d) Apresentar os dados médios de irradiação solar nos PEF do CMO componentes da amostra;
- e) Realizar o pré-dimensionamento do sistema de geração de energia fotovoltaico de acordo com o perfil de consumo PEF do CMO componentes da amostra.

Conforme adiantado, o legado de quase 17.000 km de fronteiras terrestres representa enorme desafio à Nação brasileira. A solução escolhida para superar os óbices que os delitos transfronteiriços impõem ao país possuir tecnologia na fronteira do conhecimento, sendo sensível à qualidade da energia elétrica fornecida. Soma-se a isso, o quadro orçamentário restritivo imposto pela Emenda Constitucional nº 95.

Assim sendo, este trabalho encontra relevância quando pretende apresentar-se como solução economicamente viável e pertinente para: permitir a segurança energética dos Pelotões Especiais de Fronteira onde estarão parcela significativa dos equipamentos do SISFRON; assegurar a qualidade da energia elétrica que alimentará tais equipamentos; e liberar espaço orçamentário de custeio do CMO com a economia de recursos hoje destinado ao pagamento das concessionárias de serviço público e com a aquisição de combustível para a geração de energia.

2. METODOLOGIA

Para este trabalho, foi desenvolvida uma pesquisa explorando as metodologias consagradas com a finalidade de manter o rigor científico para

estudar a utilização da energia solar como fonte de energia elétrica para os PEF do Comando Militar do Oeste.

No sentido de alcançar os objetivos propostos o presente estudo fez uso de técnicas de pesquisa exploratória tanto qualitativa, quanto quantitativa. Por intermédio de uma pesquisa bibliográfica foram estudadas as principais características do SISFRON e dos sistemas baseados em conversão energia solar para prover a demanda de energia. Já por intermédio da aplicação de cálculos econômico-financeiros buscou-se verificar a viabilidade do investimento em questão.

O marco temporal que delimitou o presente estudo foi o ano de 2000, por ter sido o ano em que entrou em vigor dispositivos legais que instituíram uma política nacional de investimentos em pesquisa e desenvolvimento e em eficiência energética, a saber: lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000 e lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001. Já o alcance da pesquisa se limitou ao Comando Militar do Oeste, muito embora haja frações da mesma natureza no Comando Militar da Amazônia e no Comando Militar do Norte.

O universo do presente estudo foram os Pelotões Especiais de Fronteira existentes na área de responsabilidade do Comando Militar do Oeste, cujas brigadas subordinadas abrangem os estados do Mato Grosso e do Mato Grosso do Sul.

Como amostra foram estudados os Pelotões Especiais de Fronteira subordinados ao Comando de Fronteira JAURU/ 66º Batalhão de Infantaria Motorizado (C Fron JAURU/ 66º BI Mtz). Essa organização militar está localizada no estado do Mato Grosso, subordinada à 13ª Brigada de Infantaria Motorizada, sendo responsável por 04 PEF e 02 bases de apoio.

A coleta de dados para a pesquisa qualitativa foi realizada por meio de consulta à literatura disponível, tais como livros, manuais, revistas especializadas, jornais, artigos, internet, monografias, teses e dissertações.

Já os dados relativos à parte quantitativa deste trabalho foram coletados diretamente junto ao C Fron JAURU/ 66º BI Mtz. Tudo com a intenção de apurar os gastos com energia elétrica, seja no levantamento das contas de energia elétrica, seja nos recursos empregados para aquisição de óleo diesel, ambos no ano de 2019. Por último, os dados referentes ao investimento para implantação do sistema fotovoltaico foram obtidos por intermédio de pesquisa de mercado em

consulta na base de dados de compras do Governo Federal, o sítio eletrônico ComprasNet, do Ministério da Economia.

O método de tratamento de dados englobou, na parte qualitativa deste trabalho, a análise de conteúdo para identificar o que está sendo dito a respeito de determinado tema. Já a parte quantitativa deste trabalho empregou métodos consagrados na literatura econômica para avaliação financeira de projetos, como *Payback* simples, *Payback* descontado, taxa interna de retorno (TIR) e valor presente líquido (VPL).

A metodologia em questão possui limitações, particularmente, quanto à profundidade do estudo a ser realizado, pois não contempla, dentre outros aspectos, a definição da amostra abrangendo apenas as frações de fronteira do estado do Mato Grosso. Em síntese, dadas as condicionantes de tempo e abrangência da pesquisa proposta, o método escolhido se faz adequado e possibilitará o alcance dos objetivos propostos no presente trabalho.

3. O SISTEMA INTEGRADO DE MONITORAMENTO DE FRONTEIRAS (SISFRON)

A Estratégia Nacional de Defesa (2012b) determinou a organização das Forças Armadas sob a égide do trinômio monitoramento/controle, mobilidade e presença. É nesse contexto que está inserido o SISFRON, que segundo o Escritório de Planejamento do Exército (EPEX) é um “sistema de sensoriamento e de apoio à decisão em apoio ao emprego operacional, atuando de forma integrada”.

Por intermédio da portaria nº 193-EME, de 22 de dezembro de 2010, o Estado-Maior do Exército estabeleceu que, entre os objetivos do sistema, está o de prover o Exército Brasileiro dos meios necessários para monitorar e controlar, de forma contínua e permanente, áreas de interesse do Território Nacional, particularmente da faixa de fronteira terrestre brasileira, ampliando a presença e a capacidade de atuação dos entes governamentais por meio de equipamentos de sensoriamento, de apoio à decisão e de apoio ao emprego operacional (BRASIL, Estado-Maior do Exército, 2010).



Figura 1 - Articulação do SISFRON
Fonte: BRASIL, 2018

3.1. A CONCEPÇÃO DO SISFRON

O SISFRON se divide em três subprojetos: o Subprojeto de Sensoriamento e Apoio à Decisão (estimado em R\$ 5,930 bilhões), o Subprojeto de Apoio à Atuação (estimado em R\$ 3,060 bilhões) e o Subprojeto de Obras de Engenharia (estimado em R\$ 3,002 bilhões) (BRASIL, 2016a).

A figura abaixo ilustra a concepção tática do sistema e a forma como seus subsistemas se integram para permitir ao Estado brasileiro fazer face à criminalidade transfronteiriça.

Na Figura 2 é possível observar que, depois do SISFRON instalado e em funcionamento, será possível ao Estado brasileiro monitorar e controlar, de forma contínua e permanente, a faixa de fronteira terrestre do país. Integrando assim, sensores, decisores e atuadores, de modo a cumprir o estabelecido na Estratégia Nacional de Defesa.



Figura 2 - Concepção tática do SISFRON
 Fonte: BRASIL, 2018

O Subprojeto Sensoriamento e Apoio à Decisão tem relação com o material necessário a permitir o funcionamento dos Subsistemas Sensoriamento, Apoio à Decisão, Tecnologia da Informação e Comunicações e Segurança da Informação e Comunicações. (BUDÓ, 2019)

O Subsistema de Sensoriamento “proverá informações atualizadas e confiáveis que permitam, após o tratamento adequado, a sua utilização pela área operacional e de inteligência”. (BRASIL, 2011a)

Segundo Budó (2019), os meios ópticos/termais adquiridos para como parte do Subsistema de Sensoriamento foram: Binóculo Óptico *Steiner Military 7x50*; Monóculo de Visão Noturna *LORIS*; e Equipamento Termal *CORAL CR*, que compõe 2 Sistemas distintos: o Binóculo Termal, de uso transportável; e o Binóculo Termal Multifunção, embarcado em viatura.

Budó (2019) destaca ainda que, para mobiliar o Sistema de Vigilância, Monitoramento e Reconhecimento (SVMR) do Subsistema de Sensoriamento, foram adquiridos radares de vigilância terrestre (RVT) e câmeras de longo alcance (CLA). Esses equipamentos permitirão a vigilância de áreas extensas pela detecção e reconhecimento de entidades móveis (empregando sensores radar) e sua identificação, pelas versões dotadas de câmeras de longo alcance.



Figura 3 - Meios ópticos/termais do Subsistema de Sensoriamento
Fonte: BRASIL, 2018

São três versões de SVMR previstos no SISFRON: o SVMR transportável (SVMR-T), utilizado em tripé e que pode ser transportado, com seus acessórios, por três homens. O SVMR móvel (SVMR-M), conjunto RVT e CLA, instalados em uma viatura com cabine, que agrega rádio veicular de comunicações táticas integrado. E, por fim, SVMR fixo (SVMR-F), conjunto RVT e CLA, instalados em torre (compartilhada com a Infovia). (BUDÓ, 2019)

Os sensores, em especial, são de extrema relevância para o sucesso do projeto SISFRON, muito devido à sua capacidade de promover a transmissão e recepção de dados de toda a fronteira brasileira, alimentando os comandos militares de área com informação corrente.

Assim, a aquisição e pleno funcionamento de tais equipamentos assegurará às Organizações Militares da faixa de fronteira, a capacidade de observar, detectar e identificar objetos, plataformas, pessoas e animais conforme disposto no escopo do projeto. Tais sensores dotarão os Pelotões Especiais de Fronteira de grande capacidade de magnificação de imagens, identificação, filmagem e acompanhamento de alvos suspeitos. (BRASIL, 2014)



Figura 4 – O Subsistema de Sensoriamento em funcionamento na 4ª Bda C Mec
Fonte: BRASIL, 2020

O Subsistema de Tecnologia da Informação e Comunicações visa atender às diversas redes de telecomunicações, conectando os diversos usuários, integrando o SISFRON com outros órgãos. Garantindo assim, “transparência para a transmissão de dados, independentemente de suas características e capacidade para operação plena em condições extremas peculiares à região”. (BRASIL, 2011)

Já as Comunicações Táticas são compostas por equipamentos-rádio portáteis e veiculares, Módulos Táticos Operacionais e processadores táticos de vídeo, que compõem os meios de comunicações orgânicos das OM para cumprir as missões operacionais. (BUDÓ, 2019)

Conforme já destacado na Introdução, o correto funcionamento dos equipamentos citados anteriormente tem íntima relação com a infraestrutura de energia dos locais onde serão instalados. Especialmente diante do fato de que parcela de tais equipamentos serão instalados nos Pelotões Especiais de Fronteira.

Os demais Subprojetos do SISFRON não foram alvos de detalhamento neste trabalho já que, de acordo com a concepção do sistema, não geram demanda energética aos Pelotões Especiais de Fronteira.

Portanto, ao analisar as características gerais do SISFRON até aqui,

conclui-se parcialmente que tais equipamentos dotarão as OM contempladas de capacidades que podem aumentar o monitoramento e vigilância nas fronteiras, desde que possuam adequada infraestrutura energética.

3.2. A IMPLANTAÇÃO DO SISFRON

Atualmente, o SISFRON está em fase final de implantação e validação de seu Projeto Piloto na área da 4ª Brigada de Cavalaria Mecanizada (DOURADOS/MS), Mato Grosso do Sul, subordinada ao CMO. Trata-se de 650 km de fronteira (sendo cerca de 300 km de fronteira seca) e uma das áreas mais vulneráveis a ilícitos no mundo (ANDRADE e colab., 2019).



Figura 5 – Áreas de implantação do SISFRON
Fonte: BRASIL, 2018

No Plano Estratégico do Exército 2019-2023, entretanto, consta a previsão para ampliação do sistema para abarcar toda a região fronteira do CMO, que abrange o restante do estado do Mato Grosso do Sul e a totalidade do estado do Mato Grosso. A região está representada na figura acima pela porção da fronteira assinalada na cor verde e com o número 2.

No estado do Mato Grosso (MS) se encontra a 13ª Brigada de Infantaria

Motorizada, que está sediada em Cuiabá – MS. Este Grande Comando possui a ele subordinado o Comando de Fronteira Jauru/ 66º Batalhão de Infantaria Motorizado, organização militar sediada no município de Cáceres – MS.



Figura 6 – Articulação do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz
Fonte: o autor

A Figura 6, acima, ilustra a articulação do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz no estado do Mato Grosso. A OM cumpre sua missão de vigilância da fronteira com 04 Pelotões Especiais de Fronteira localizados nas seguintes regiões: 1º PEF – CORIXA, na área rural do município Cáceres – MS, 2º PEF – FORTUNA e 3º PEF – PALMARITO, na área rural do município de Vila Bela da Santíssima Trindade – MS, e 4º PEF – GUAPORÉ, na área rural do município de Comodoro – MS.

No curso deste trabalho, o autor requereu junto ao C Fron JAURU/ 66º BI Mtz, informações relativas à infraestrutura de fornecimento de energia elétrica dos PEF da OM. Em resposta, a OM informou que o cenário atual dos Pelotões Especiais de Fronteira do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz é o seguinte: os 1º, 2º e 3º PEF estão conectados à rede de distribuição da concessionária de serviço público local, por intermédio da rede de eletrificação rural. Já o fornecimento de energia elétrica para o 4º PEF se dá por intermédio de Grupo Motor Gerador (GMG),

abastecido por óleo diesel combustível.

Assim sendo, do exposto até aqui, conclui-se de modo parcial que o aproveitamento da energia solar nos Pelotões Especiais de Fronteira tem potencial ainda para reduzir os custos com a aquisição de óleo combustível, bem como custos relativos às faturas da concessionária de serviço público local. Além disso, pode-se afirmar que possui, ainda, potencial de assegurar a qualidade no atendimento à demanda energética advinda dos equipamentos do SISFRON.

4. ENERGIA SOLAR E SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo Green (1982), quando os fótons contidos na energia do sol incidem sobre material semicondutor com determinadas características, parcela dessa energia pode excitar os elétrons no semicondutor, que por sua vez poderão dar origem a uma corrente elétrica. Trata-se do efeito fotovoltaico, fenômeno físico por intermédio do qual é possível produzir energia elétrica a partir da conversão direta da luz solar.

A célula fotovoltaica é a unidade principal deste processo de conversão. A célula funciona quando a luz incidente desloca elétrons que, circulando livremente de átomo para átomo, formam uma corrente elétrica que pode ser armazenada. (ENERGISA, 2019)

Em sentido estrito, a energia proveniente do Sol não é renovável, mas é possível afirmar se tratar de fonte inesgotável devido à escala temporal da vida no nosso planeta. A taxa de energia emitida pelo Sol é aproximadamente constante há bilhões de anos, com potência atual da ordem de $3,86 \times 10^{26}$ W. (PEREIRA e colab., 2017)

O aproveitamento da energia irradiada pelo Sol para geração de eletricidade tem relação direta com a quantidade de irradiância solar (W/m^2) que incide em na superfície do país, bem como da variabilidade dessa irradiação ao longo das estações do ano. (PEREIRA e colab., 2017)

4.1. O POTENCIAL SOLAR BRASILEIRO

A geração fotovoltaica de energia elétrica tem grande potencial no Brasil. O país recebe grande quantidade de irradiação solar devido a sua posição

geográfica. O mapa da Figura 7, retirado do Atlas Brasileiro de Energia Solar, mostra o rendimento energético anual máximo (medido em kWh de energia elétrica gerada por ano para cada kWp de potência fotovoltaica instalada) em todo o território nacional, tanto para usinas de grande porte centralizadas e instaladas em solo, como para a geração fotovoltaica distribuída integrada em telhados e coberturas de edificações.

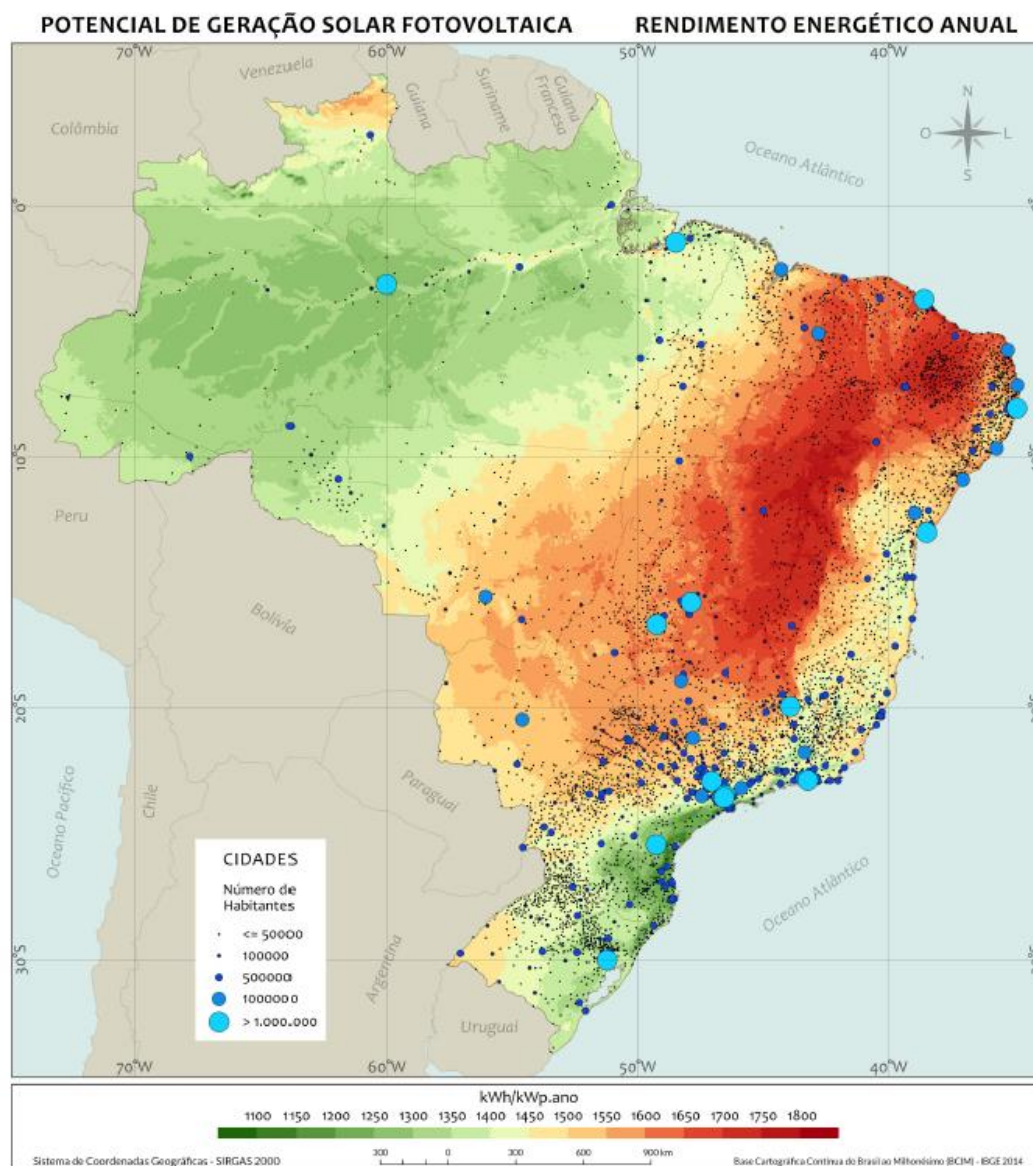


Figura 7 - Potencial fotovoltaico do Brasil
Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª edição, 2017

Conforme destaca Pereira (2017), no local menos ensolarado do Brasil é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha. Cabendo ressaltar, entretanto, que a adoção da solução fotovoltaica é tanto mais viável quanto mais cara for a tarifa de eletricidade convencional da

distribuidora local, quanto menores forem preços dos geradores solares fotovoltaicos e quanto maior for o índice de irradiação anual da região.

A Figura 8 permite verificar valor médio anual do total diário de irradiação solar ao longo dos anos de 2005 a 2015 da Região Centro-Oeste, objeto deste estudo. A região apresenta totais diários para a irradiação global horizontal em torno de $5,07 \text{ kWh/m}^2$, já a irradiação global média no plano inclinado apresentou total diário de $5,20 \text{ kWh/m}^2$ (PEREIRA e colab., 2017).



Figura 8 - Totais diários de irradiação global horizontal ao longo dos anos de 2005 a 2015 para a Região Centro-Oeste

Fonte: Atlas Brasileiro de Energia Solar, 2ª edição, 2017

Os dados indicam que o Brasil apresenta níveis elevados de irradiação solar com uma variabilidade mensal muito mais baixa se comparado, por exemplo, com o que se observa em países onde essa tecnologia já está bem estabelecida, como Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França. (PEREIRA e colab., 2017)

Além disso, desde o ano de 2012, a micro e a minigeração distribuída de energia elétrica estão normatizadas no país. As Resoluções Normativas 482/2012 e 687/2015 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) permitiram aos consumidores brasileiros gerarem sua energia elétrica a partir de fontes renováveis e fornecerem o excedente para a rede de distribuição de sua localidade. (BRASIL, ANEEL, 2012)

Como consequência, em junho de 2019, o Brasil ultrapassou a marca de 1 gigawatt de potência instalada em micro e minigeração distribuída de energia elétrica, dos quais cerca de 870 MW se constituem de sistemas fotovoltaicos. A ANEEL registrou em seu anuário de 2019, o total de 82.600 unidades consumidoras com geração distribuída e que empregam sistemas fotovoltaicos. (ANEEL, 2020)

Assim sendo, é possível concluir que há potencial solar para instalação de sistemas fotovoltaicos nos Pelotões Especiais de Fronteira na região de responsabilidade do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz.

4.2. TIPOS DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para aproveitar a energia irradiada pelo Sol é necessário um sistema fotovoltaico. Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas um sistema fotovoltaico compreende o conjunto de elementos que geram e fornecem eletricidade pela conversão da energia solar (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2013).

De acordo com Pinho e Galdino (2014), os sistemas fotovoltaicos são constituídos por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento.

Os sistemas fotovoltaicos não utilizam combustíveis, não possuem partes móveis, e por serem dispositivos de estado sólido, requerem menor manutenção. Durante o seu funcionamento não produzem ruído acústico ou eletromagnético, e tampouco emitem gases tóxicos ou outro tipo de poluição ambiental (SOUZA, 2016).

Segundo Souza (2016), os sistemas fotovoltaicos podem ser classificados de acordo à forma como é feita a geração ou entrega da energia elétrica em:

- Sistemas Isolados (*Off-Grid*)
- Sistemas conectados à rede (*On-Grid*)

O Sistema Fotovoltaico Isolado é aquele que não tem contato com a rede de distribuição de eletricidade das concessionárias. Os sistemas isolados podem ser classificados em Híbrido, quando trabalham em conjunto com outro sistema de geração elétrica, ou Autônomo (Puro), quando não possuir outra forma de geração de eletricidade. Os sistemas autônomos podem ser com, ou sem

armazenamento elétrico (SOUZA, 2016).

A Figura 9 registra um sistema fotovoltaico autônomo da Força Aérea Brasileira, instalado para atender a demanda energética da Unidade Telecomunicações (UT) Surucucu do 4º Controle Integrado de Defesa Aérea e Controle do Tráfego Aéreo (CINDACTA 4), nas imediações do 4º Pelotão Especial de Fronteira de Surucucu – RR.



Figura 9 - Sistema fotovoltaico autônomo da Força Aérea Brasileira no 4º Pelotão Especial de Fronteira de Surucucu – RR
Fonte: Fernandes, 2013

Ainda segundo Souza (2016), um sistema fotovoltaico autônomo, geralmente, possui os seguintes componentes observáveis na Figura 10: 1 – Painel fotovoltaico; 2 – Controlador de Carga/Descarga das baterias; 3 – Banco de baterias; 4 – Inversor autônomo, para cargas em CA e 5 – Cargas CC ou CA;

Esta é a solução a ser empregada no caso do 4º Pelotão Especial de Fronteira do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz. Como o pelotão não está conectado à rede da concessionária, há necessidade do módulo de armazenamento composto de um banco de baterias. Com isso é possível armazenar a energia elétrica produzida nos horários de irradiação solar, para sua posterior utilização nos períodos de geração nula, ou seja, no período noturno ou em dias chuvosos.

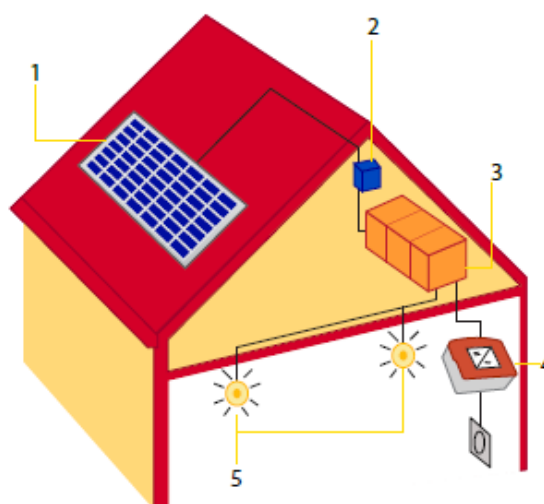


Figura 10 - Componentes de um sistema fotovoltaico autônomo
Fonte: SOUZA, 2016

Já os sistemas fotovoltaicos conectados à rede, também chamados de *on-grid*, fornecem energia para as redes de distribuição. Todo o potencial gerado é rapidamente escoado para a rede, que age como uma carga, absorvendo a energia.

Segundo Souza (2016), um sistema fotovoltaico conectado à rede, geralmente, possui os seguintes componentes observáveis na Figura 11: 1 – Módulos Fotovoltaicos; 2 – Inversor (transforma a corrente contínua do painel em corrente alternada de 127 V/220V e 60Hz, compatível com a eletricidade da rede); 3 – Interruptor de Segurança; 4 – Quadro de Luz (distribui energia para casa); 5 e 6 – Medidores de energia.

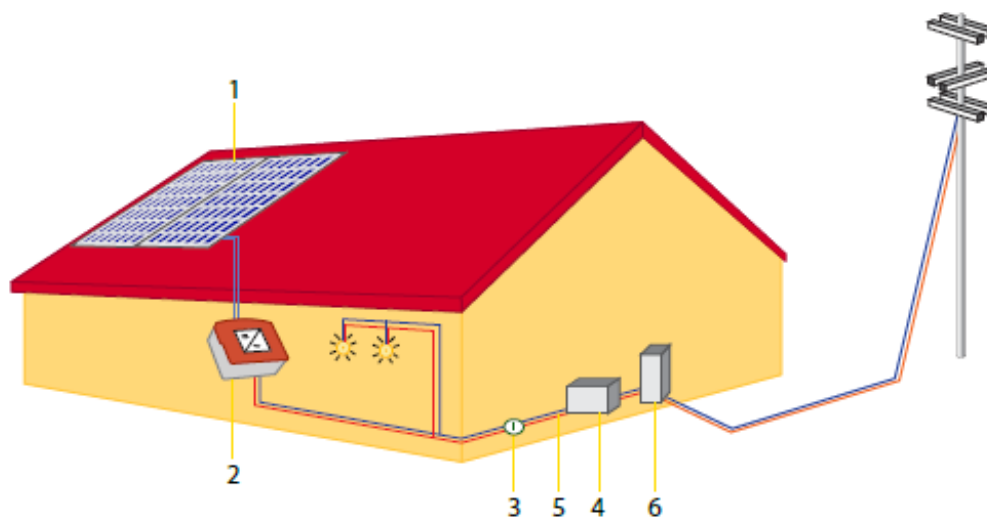


Figura 11 - Sistema fotovoltaico *on-grid* e seus componentes
Fonte: SOUZA, 2016

Geralmente, o sistema *on-grid* não utiliza sistemas de armazenamento de energia, e por isso são mais eficientes que os sistemas autônomos, além disso, economicamente mais viáveis (SOUZA, 2016).

Inicialmente, esta é a solução indicada no caso dos 1º, 2º e 3º Pelotões Especiais de Fronteira do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz. Isso porque, como cada um desses pelotões está conectado à rede da concessionária, aplicar-se-ia o dispositivo das Resoluções Normativas nº 482 e 687 da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) sobre geração distribuída e sua compensação financeira.

A Geração Distribuída é considerada a produção de energia elétrica proveniente de agentes concessionários, permissionários ou autorizados, conectados diretamente no sistema elétrico de distribuição do comprador. No caso deste trabalho, seriam os pelotões especiais de fronteira e o próprio C Fron JAURU/ 66º BI Mtz. A norma citada divide a geração distribuída em três modalidades: Empreendimento com Múltiplas Unidade Consumidoras, Geração Compartilhada e Autoconsumo Remoto. (BRASIL, ANEEL, 2015)

Por intermédio das tais resoluções, o Brasil adotou o mecanismo de compensação de energia elétrica. Isso significa que o excedente de energia elétrica gerada pelos sistemas fotovoltaicos *on-grid* dos PEF poderia ser injetado na rede elétrica concessionária, permitindo o acúmulo créditos a serem compensados em kWh. (PEREIRA e colab., 2017)

De acordo com tal dispositivo normativo, a energia ativa injetada no sistema de distribuição pelas unidades consumidoras, os PEF, será cedida a título de empréstimo gratuito para a distribuidora, passando cada unidade consumidora a ter um crédito em quantidade de energia ativa a ser consumida por um prazo de 60 (sessenta) meses (BRASIL, ANEEL, 2012).

O caso do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz enquadra-se na modalidade de Geração Compartilhada previsto no Art 2º da já citada Resolução Normativa nº 687. Isso porque o quartel sede do batalhão, bem como seus 03 pelotões que estão conectados à rede de distribuição da concessionária, estão localizados na mesma área de concessão (BRASIL, ANEEL, 2015).

Desta maneira, seria possível concluir que a implantação de sistemas fotovoltaicos *on-grid* para os 1º, 2º e 3º PEF, permitiria ao C Fron JAURU/ 66º BI Mtz garantir a segurança energética de suas frações, bem como reduzir seus custos relativos ao pagamento das faturas de energia.

Entretanto, seria necessário superar o desafio técnico de conectar tais sistemas fotovoltaicos à rede de distribuição da concessionária, a Energisa-MT. Isso porque, a rede de distribuição que atende estes pelotões é do tipo Monofilar com Retorno pela Terra (MRT), típica das zonas rurais.

Por intermédio da Norma de Distribuição Unificada (NDU) – 013, de setembro de 2019, a Concessionária Energisa-MT estabelece os requisitos mínimos e as diretrizes necessárias para a conexão de geradores à rede de distribuição de Baixa de Tensão.

4.3. COMPONENTES BÁSICOS DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Um sistema fotovoltaico é constituído por um bloco gerador, um bloco de condicionamento de potência e, opcionalmente, um bloco de armazenamento. O bloco gerador contém os módulos fotovoltaicos em diferentes padrões de associações, o cabeamento elétrico que os interliga e a estrutura de suporte. Já o bloco de condicionamento pode ter conversores de corrente, inversores, controladores de carga e outros dispositivos de supervisão e controle. Por último, o bloco de armazenamento é constituído por baterias e/ou outras formas de armazenamento. (PINHO e GALDINO, 2014)

Na Figura 12 é possível observar um esquema básico de um sistema fotovoltaico *off-grid*, onde estão presentes o bloco de geração, de condicionamento de potência e o bloco de armazenamento.

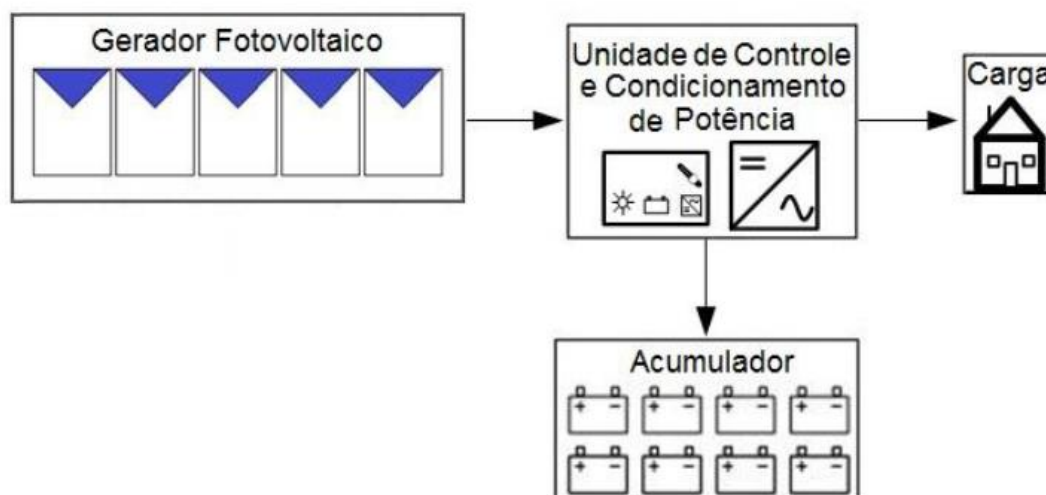


Figura 12 - Configuração básica de um Sistema Fotovoltaico isolado (*off-grid*)
Fonte: PINHO e GALDINO (2014)

Já na Figura 13, está representado um sistema fotovoltaico *on-grid*, onde não se constata a presença do bloco de armazenamento.

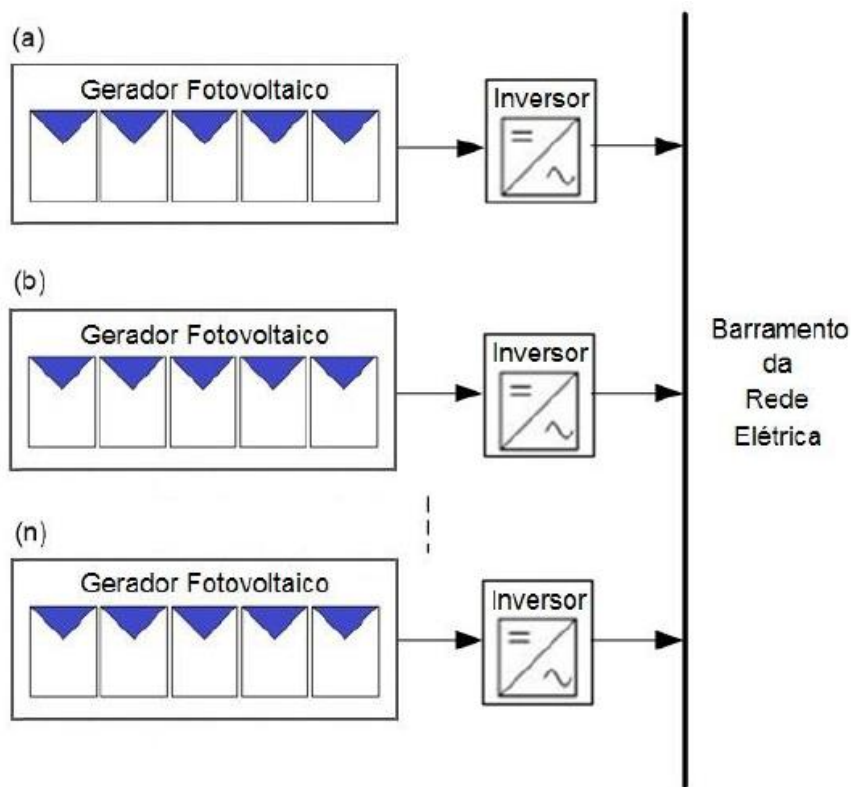


Figura 13 - Sistema fotovoltaico conectado à rede (*on-grid*)
Fonte: PINHO e GALDINO, 2014

O bloco de geração é composto pelas células fotovoltaicas, que são a unidade básica do sistema fotovoltaico. É a responsável pela conversão da radiação solar em eletricidade. Como uma única célula não é suficiente para gerar potências elétricas elevadas, várias células são associadas e encapsuladas para proteção, dando origem ao módulo fotovoltaico (SOUZA, 2016).

Os módulos comerciais diferem entre si por vários fatores, como a capacidade de gerar potencial, chamado de potência-pico, fator de forma, área etc. E esses valores se alteram de acordo ao tipo de célula fotovoltaica utilizada. Em seu artigo Pinheiro e colab. (2014) avaliaram o potencial de geração, produtividade e perdas para sistemas fotovoltaicos instalados em oito diferentes localidades do Brasil, e para sete tecnologias fotovoltaicas em cada uma dessas localidades.

Como conclusão obteve-se que sistemas fotovoltaicos compostos por módulos de silício amorfo (a-Si) são os que possuem melhor produtividade estimada para a localidades selecionadas: Itiquira – MT, Porto Velho – RO,

Juazeiro do Norte – CE e Caucaia – CE, com taxa de desempenho anual do sistema 84,4%. (PINHEIRO e colab., 2014)



Figura 14 - Imagem aérea do módulo de avaliação de Capivari de Baixo - SC, com indicação da localização de cada sistema FV (1. CPV, 2. c-Si, 3. CdTe, 4. a-Si, 5. CIGS, 6. p-Si, 7. a-Si/ μ c-Si) e da localização da estação solarimétrica (8).

Fonte: PINHEIRO e colab, 2014

Os resultados de Pinheiro e colab. (2014), portanto, apontam para o fato de que a maior geração de energia nos Pelotões Especiais de Fronteira do C Fron JAURU/ 66ºBI Mtz será obtida por intermédio de módulos fotovoltaicos de silício amorfo (a-Si), já que estão todos situados no estado do Mato Grosso.

A composição do bloco de condicionamento de potência depende do tipo de sistema fotovoltaico, se *off-grid* ou *on-grid*. Neste bloco estão equipamentos como inversores e controladores/ reguladores de carga.

De maneira geral, a geração e disponibilização da eletricidade se dá na forma de corrente contínua (CC). Entretanto, para utilizá-las nos aparelhos que funcionam com corrente alternada (CA) é necessário um conversor que transforme a corrente contínua em corrente alternada com tensões de 127 V ou 240 V. Esta é a função dos inversores, presente dos sistemas *on-grid* e *off-grid*. (SOUZA, 2016)

Especificamente no caso dos sistemas *on-grid*, a energia elétrica gerada é injetada diretamente à rede da concessionária, assim, o inversor deve se adequar ao modo como a eletricidade está fluindo na rede de distribuição, copiando esse padrão e fornecendo o mesmo tipo de sinal elétrico. O dispositivo responsável pela injeção de energia na rede é o inversor *grid-Tie*. (SOUZA, 2016)

Todavia, conforme apontando em seção anterior, a rede de distribuição que atende os PEF é do tipo MRT. Neste tipo de rede de distribuição, se utiliza um único condutor fase com retorno de corrente pela terra, de modo que o solo exerça a função de condutor de retorno até a subestação de origem da rede. Como as linhas de distribuição atravessam regiões com solos de diferentes valores de resistividade, não são difíceis a presença de perturbações na rede elétrica e sobretensões. (SILVA e colab., 2015)

O desafio técnico consiste em injetar energia elétrica na rede da distribuidora evitando problemas com fator de potência, harmônicos, flutuação de tensão, desequilíbrio de tensão, variação de frequência e variação de tensão de curta duração. O desafio técnico existe, mas demonstrou-se superável em estudo realizado pela Embrapa, utilizando como estudo de caso uma comunidade Quilombola localizada no estado do Rio Grande do Sul (SILVA e colab., 2015)

Já no caso dos sistemas *off-grid*, há necessidade de compatibilizar a tensão do arranjo fotovoltaico com a tensão nominal do banco de baterias em que será injetada. O controlador realiza tal função. Além disso, destina-se ao controle da perfeita recarga do banco de baterias, proteção contra sobrecargas indevidas, proteção contra descarga excessiva (acima de 80%, ou ajustável) e informação do nível de carga do banco de baterias. O controlador (ou regulador) de carga/descarga, portanto, aumenta o rendimento do sistema fotovoltaico e a vida útil (quantidade de ciclos) das baterias. (SOUZA, 2016)

Como apontam Pinho e Galdino (2014), os controladores de carga são componentes críticos em sistemas fotovoltaicos *off-grid*, pois caso venham a falhar, as baterias poderão sofrer danos irreversíveis.

Por fim, nos sistemas *off-grid*, há também o bloco de armazenamento. Esse componente tem a função armazenar a energia produzida pelo bloco gerador, de modo a atender a demanda nos períodos nos quais não há geração, como nos casos de dias nublados e no período noturno (PINHO e GALDINO, 2014).

Além disso, o banco de baterias tem a função de estabilizar a tensão dos módulos fotovoltaicos, já que estes possuem grande variação de tensão, de acordo à irradiância solar recebida. Bem como de fornecer correntes elevadas para alguns dispositivos que requerem altas correntes (como motores) para iniciar o seu funcionamento, estabilizando e utilizando correntes mais baixas depois de alguns segundos (SOUZA, 2016).

São diversas as formas de armazenar energia, entretanto, a bateria eletroquímica ainda é o dispositivo mais utilizado em sistemas *off-grid*. As baterias para uso fotovoltaico costumam ser de níquel-cádmio ou de chumbo-ácido. As primeiras suportam descargas maiores e tem maior vida-útil, entretanto, o alto custo e baixa disponibilidade as tornam viáveis apenas em casos muito específicos. Assim, as baterias de chumbo-ácido acabam por ter a melhor relação custo-benefício, fazendo com que sejam as escolhidas para a maioria dos sistemas *off-grid* (SOUZA, 2016).

4.4. O DIMENSIONAMENTO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Segundo o Manual Básico para o Dimensionamento de Sistemas de Geração de Energia Fotovoltaica Conectados à Rede Elétrica da Concessionária, da Diretoria de Obras Militares (DOM), do Departamento de Engenharia e Construção do Exército (DEC), o dimensionamento dos sistemas fotovoltaico tem relação com a demanda ou consumo de energia de cada Pelotão Especial de Fronteira (BRASIL, 2017).

Para o dimensionamento de sistemas não conectados à rede (*off-grid*), onde não há histórico de consumo de energia é necessário estimar a demanda através do projeto de instalações elétricas ou da previsão dos equipamentos a serem instalados. Já com relação às edificações conectadas à rede da concessionária, basta verificar a leitura existente na fatura de energia para fazer o dimensionamento.

No mesmo sentido, Pinho e Galdino (2014) apontam para o fato de que o dimensionamento de um sistema fotovoltaico é o ajuste entre a energia radiante recebida do Sol pelos módulos fotovoltaicos e a necessidade de suprir a demanda de energia elétrica. Segundo os autores, o dimensionamento dos sistemas *off-grid* requer maior precisão para que o sistema produza a energia necessária, o mesmo não ocorre com os sistemas *on-grid*, uma vez que a eventual demanda não atendida poderá ser extraída da rede da concessionária.

Além disso, o dimensionamento implica no levantamento do recurso solar disponível no local de instalação do sistema, no levantamento da demanda e consumo de energia elétrica, no dimensionamento do gerador fotovoltaico (tipos e quantidades de painéis fotovoltaicos), no dimensionamento dos equipamentos de

condicionamento de potência (inversor e controlador de carga); dimensionamento do banco de baterias (particularmente no caso dos sistemas *off-grid*) e dimensionamento do cabeamento (PINHO e GALDINO, 2014).

Portanto, para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, faz-se necessário conhecer a incidência da radiação solar do local de instalação, bem como as informações referentes ao consumo energético a ser atendido. O trabalho consiste em balancear a energia a ser consumida e a possível de ser gerada, de acordo com o potencial fotovoltaico de cada região.

Uma alternativa para avaliar a incidência de radiação solar é o programa *SunData* do Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio Brito (CRESESB). O programa destina-se ao cálculo da irradiação solar diária média mensal em qualquer ponto do território nacional e constitui-se em uma tentativa do CRESESB de oferecer uma ferramenta de apoio ao dimensionamento de sistemas fotovoltaicos. O acesso ao *SunData* pode ser realizado por intermédio do sítio eletrônico do CRESESB na internet, no link: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>.

Além desta alternativa, existem diferentes *softwares* no mercado que permitem realizar tais tarefas. Por exemplo, Castro (2018) empregou o simulador *PVsyst® 6* para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico *on-grid* para o 15º Batalhão Logístico. Este simulador fornece as taxas de irradiação solar e temperatura, em função da latitude e longitude do local de instalação dos sistemas fotovoltaicos.

Na amostra estudada, no presente trabalho, coexiste a possibilidade de instalação de sistemas *on-grid* e *off-grid*. Diante disso, o autor optou por estimar a demanda energética do 4º PEF (Guaporé – MT) com base na demanda dos outros pelotões, que estão conectados à rede da concessionária e que, portanto, possuem histórico de consumo em fatura. Tal fato se deve às características comuns dos pelotões especiais de fronteira. O efetivo militar dos pelotões é o mesmo e o material distribuído a cada PEF é bastante similar, permitindo inferir de que a demanda energética seja a mesma.

4.5. A VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Conforme apontado por SOUZA JÚNIOR e colab. (2019), os custos iniciais

para instalação de projetos para aproveitamento do efeito fotovoltaico são elevados e devem ser confrontados com seus benefícios, especialmente diante do contexto de restrição orçamentária do Governo Federal. Para avaliar a viabilidade da implantação de sistemas fotovoltaicos nos PEF do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz, este trabalho empregou o método do *payback* ou recuperação do capital do investimento inicial e do Valor Presente Líquido (VPL).

No método do VPL é calculada a diferença entre o valor inicial desembolsado na instalação dos sistemas fotovoltaicos nos PEF, com os valores dos benefícios advindos de sua implantação, ou seja, a economia produzida para a Administração. Investimentos que demandam desembolso inicial com expectativa de recebimento de fluxos de caixa futuros, o VPL representa os recebimentos vindouros, subtraídos deste investimento inicial, sendo um balanço entre os desembolsos e as receitas (BARBOZA e colab., 2019).

Como tais fluxos de caixa ocorrem em diferentes momentos, faz-se necessária a conversão a valores presente. Para converter os fluxos de caixa futuro em valores no presente, há que se descontá-los a uma determinada taxa e considerar o lapso de tempo entre o momento presente e o momento futuro em que este fluxo de caixa ocorreria (BARBOZA e colab., 2019).

Já no método do *payback* ou recuperação do capital inicial é calculado o tempo de retorno do investimento inicial. O objetivo, portanto, consistiu em determinar o momento no tempo em que os benefícios ou fluxos de caixa positivos se igualam ao valor do investimento. Este método possui limitações, uma vez que acaba por ignorar os fluxos de caixa existentes na vida útil do empreendimento subsequentes ao ponto de igualdade (BARBOZA e colab., 2019).

No caso do sistema *off-grid* para o 4º PEF, levou-se em consideração o custo da geração de energia elétrica apurado por intermédio dos dispêndios do batalhão com a aquisição de óleo diesel no exercício financeiro de 2019. Já no caso dos sistemas *on-grid* para os 1º, 2º e 3º PEF, o gasto com energia elétrica foi apurado por intermédio das faturas da concessionária, também no exercício financeiro de 2019, bem como a alternativa de eventual obra de adequação da rede de distribuição de energia.

Por último, foi necessário, também, mensurar os valores a serem despendidos com a manutenção e substituição dos equipamentos integrantes dos sistemas fotovoltaicos a serem instalados (10 anos para os inversores e baterias

e 25 para os módulos fotovoltaicos).

Assim sendo, conclui-se de modo parcial que a instalação de sistemas fotovoltaicos nos PEF pode ser considerada economicamente viável se o VPL for positivo. De outra forma, pelo método *payback*, quando o retorno do capital se der durante o tempo de vida útil do empreendimento.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesse capítulo serão apresentados os dados obtidos na pesquisa realizada. Por fim, são discutidos os resultados relativos à viabilidade econômico-financeira.

5.1. OS CUSTOS COM GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

Nesta sessão são apresentados os dados relativos ao consumo de energia elétrica dos PEF do C Fron JAURU/ 6º BI Mtz, englobando os dispêndios com a aquisição de óleo diesel e com o pagamento das faturas da concessionária.

Por intermédio de Documento Interno do Exército (DIEx) nº 003/JFM, de 4 de maio de 2020, o autor solicitou ao C Fron JAURU/ 66º BI Mtz cópias das faturas de energia elétrica relativas ao ano de 2019 dos PEF conectados à rede de distribuição.

O Quadro 3 contém os valores relativos ao consumo de energia elétrica do 1º PEF – Corixa, 2º PEF – Fortuna e 3º PEF – Palmarito. A unidade de medida dos dados de consumo abaixo é o quilowatt-hora (kWh).

Quadro 1 - Demanda de energia elétrica dos PEF do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz em 2019

	1º PEF – Corixa	2º PEF – Fortuna	3º PEF – Palmarito	
Janeiro	8338	4002	30	1116
Fevereiro	5113	6320	2659	2646
Março	3654	4044	2482	2633
Abril	3691	4053	30	3844
Mai	5772	4580	2029	2580
Junho	4087	3981	1828	2559
Julho	4128	3992	30	6290
Agosto	2788	4656	1627	2835
Setembro	4334	4382	1664	2835
Outubro	4470	4431	30	4370
Novembro	100	3677	1496	3022
Dezembro	4113	4339	1373	3033
Média Mensal	4215,67	4371,42	4420,08	

Fonte: ENERGIA, 2019 – adaptado pelo autor

Os dados acima foram representados no Gráfico 1, na página seguinte. Nele, portanto, é possível observar o perfil de consumo dos referidos pelotões durante o ano de 2019. As linhas horizontais existentes no gráfico representam as médias de consumo de cada PEF no período, conforme legenda. Além disso, os dados indicam que o perfil de consumo dos PEF é bastante similar, em torno de 4335 kWh de consumo mensal.

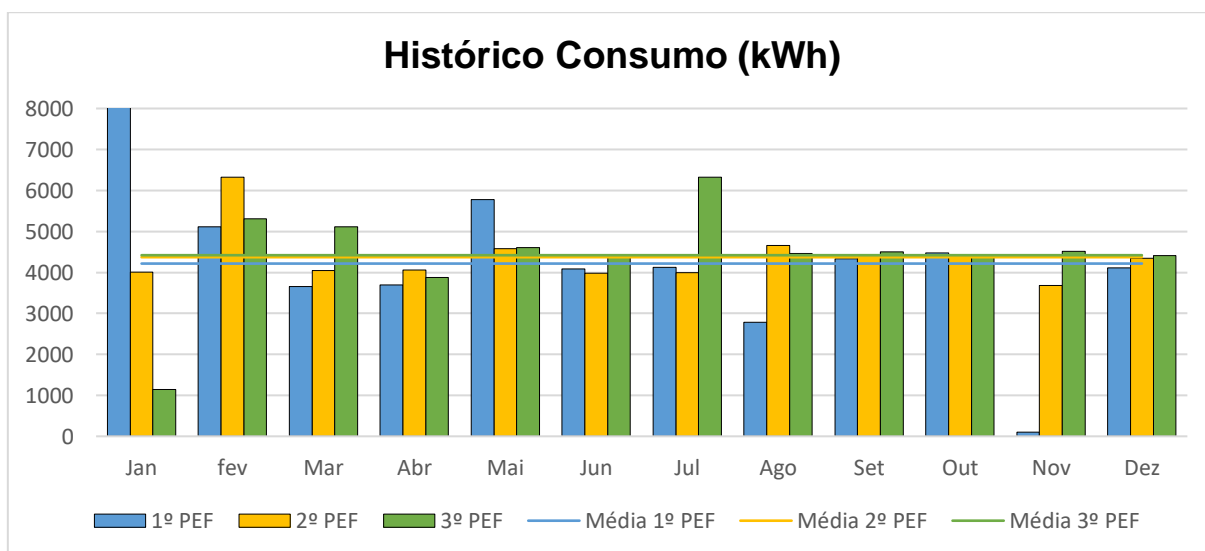


Gráfico 1 – Perfil de consumo de energia elétrica dos PEF do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz no ano de 2019

Fonte: ENERGIA, 2019 – adaptado pelo autor

Ainda com relação aos dados do Quadro 3, observa-se que as informações relativas ao consumo do 3º PEF – Palmarito estão apresentadas em 02 colunas da tabela. Isso porque nas faturas da concessionária, o referido pelotão é composto de 02 Unidades Consumidoras (UC). Para calcular a média anual no Quadro 1, bem como para representar o perfil de consumo no Gráfico 1, os valores mensais das duas UC foram somados.

O consumo de energia elétrica apresentado no Quadro 1 representou para o C Fron JAURU/ 66º BI Mtz, no ano de 2019, os seguintes valores cobrados pela concessionária:

Quadro 2 – Dispendio com energia elétrica dos PEF do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz em 2019

	1º PEF – Corixa	2º PEF – Fortuna	3º PEF – Palmarito	
Janeiro	R\$ 7.192,37	R\$ 3.416,84	R\$ 25,68	R\$ 1.012,00
Fevereiro	R\$ 4.374,46	R\$ 5.409,00	R\$ 2.304,36	R\$ 2.291,68
Março	R\$ 2.687,83	R\$ 3.003,84	R\$ 2.143,53	R\$ 2.270,52
Abril	R\$ 3.213,07	R\$ 3.548,62	R\$ 68,06	R\$ 3.305,41
Mai	R\$ 4.442,82	R\$ 4.004,20	R\$ 1.767,87	R\$ 2.231,10

Junho	R\$ 3.903,68	R\$ 3.833,13	R\$ 1.783,45	R\$ 2.471,81
Julho	R\$ 4.041,28	R\$ 3.926,15	R\$ 28,90	R\$ 6.099,41
Agosto	R\$ 2.672,59	R\$ 4.473,51	R\$ 1.594,01	R\$ 2.731,43
Setembro	R\$ 5.019,01	R\$ 4.670,99	R\$ 1.647,83	R\$ 2.871,04
Outubro	R\$ 4.455,79	R\$ 4.468,10	R\$ 58,99	R\$ 4.364,73
Novembro	R\$ 187,75	R\$ 3.303,40	R\$ 1.545,66	R\$ 3.041,87
Dezembro	R\$ 4.126,08	R\$ 4.359,57	R\$ 1.393,17	R\$ 3.082,71
Total em 2019	R\$ 46.316,73	R\$ 48.417,35	R\$ 50.135,22	

Fonte: ENERGIA, 2019 – adaptado pelo autor

Assim sendo, a leitura do Quadro 3 permite constatar que, no ano de 2019, o C Fron JAURU/ 66º BI Mtz gastou ao todo com faturas de energia elétrica R\$ 46.316,73, no caso do 1º PEF, R\$ 48.417,35 no caso do 2º PEF e R\$ 50.135,22 no caso do 3º PEF. Assim sendo, é possível verificar que, em média, cada pelotão conectado à rede da concessionária representa um custo anual aproximado de R\$ 48.289,77.

É importante destacar o fato de que este é o custo da energia elétrica de baixa qualidade, fornecida por rede Monofilar com Retorno pela Terra (MRT), típica das zonas rurais, sujeita a picos de energia e interrupções no fornecimento.

Portanto, como há necessidade de fornecer energia elétrica de qualidade para os equipamentos do SISFRON, os custos de implantação do sistema fotovoltaico devem, obrigatoriamente, ser confrontados com alternativas para atender tal necessidade, a de gerar energia elétrica de qualidade.

Nesse sentido, surge a alternativa de estender a rede de média tensão trifásica da própria concessionária até os pelotões de fronteira. No caso, por exemplo, do PEF de Fortuna, a concessionária ENERGISA- MT apontou para a necessidade da realização de obra de extensão de 18,91 km. Os custos para a execução de tal obra de extensão de rede seriam compartilhados entre a concessionária e o consumidor. Implicando assim, em custo para o C Fron JAURU/ 66º BI Mtz.

Por intermédio da carta nº 11643/2018/DESC/ENERGISA-MT de 20 de agosto de 2018, a concessionária apresentou sua estimativa dos custos para a execução da obra de extensão de rede, que estão consolidados na Figura 15. Desta feita, é possível observar que a alternativa de garantir a segurança energética para o 2º PEF - Fortuna, por intermédio da extensão da rede da concessionária, apresenta o custo de R\$ 668.133,85 em Participação Financeira do Consumidor.

Descrição	Valor
Materiais	R\$258.612,85
Mão de Obra	R\$361.621,08
Projeto e Administração	R\$186.070,18
Custo Total da Obra Especifica	R\$806.304,10
Custo Total da Obra Padrão	R\$806.304,10
Encargo de Responsabilidade da Distribuidora (ERD)	R\$138.170,25
Custo de Responsabilidade Conjunta (CRC)	R\$806.304,10
Custo Exclusivo da Distribuidora (CED)	R\$ 0,00
Custo Total da Distribuidora (CD)	R\$138.170,25
Participação Financeira do Consumidor (PFC)	R\$668.133,85

Figura 15 – Cálculo da participação financeira UC 6/1337966-4 - obra 18,91km de extensão de rede para atender ao PEF Fortuna

Fonte: ENERGISA-MT, 2018

Já com relação ao custo da energia elétrica para o 4º Pelotão Especial de Fronteira o Quadro 3Quadro 3 contém os dispêndios realizados pelo batalhão, no ano de 2019, com a aquisição de óleo diesel. Os dados foram obtidos pelo autor em consulta realizada ao Portal de Transparência do Governo Federal, cujo endereço de acesso é <http://www.portaltransparencia.gov.br/>.

Quadro 3 - Gastos do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz com aquisição de óleo diesel

Nr Ord	Documento	Data	Quantidade	Valor Unitário	Valor Total
1.	2019NE800021	18/02/19	8.500 lts	R\$ 4,17	R\$ 35.445,00
2.	2019NE800022	18/02/19	5.000 lts	R\$ 4,17	R\$ 20.850,00
3.	2019NE800090	23/04/19	15.000 lts	R\$ 3,59	R\$ 53.850,00
4.	2019NE800091	23/04/19	970 lts	R\$ 3,59	R\$ 3.482,30
5.	2019NE800115	08/05/19	15.000 lts	R\$ 3,60	R\$ 54.000,00
6.	2019NE800116	08/05/19	925 lts	R\$ 3,60	R\$ 3.330,00
7.	2019NE800195	30/05/19	14.075 lts	R\$ 3,60	R\$ 50.670,00
8.	2019NE800196	30/05/19	15.000 lts	R\$ 3,60	R\$ 54.000,00
9.	2019NE800197	30/05/19	2.488 lts	R\$ 3,60	R\$ 8.956,80
10.	2019NE800612	07/10/19	2.512 lts	R\$ 3,60	R\$ 9.043,20
11.	2019NE800904	16/12/19	10.000 lts	R\$ 3,77	R\$ 37.700,00
Total em 2019			89.470 lts	R\$ 3,70	R\$ 331.327,30

Fonte: Portal Transparência, 2020 – adaptado pelo autor

O Quadro 3, apresenta a necessidade do C Fron JAURU/66º BI Mtz em adquirir 89.470 litros de óleo diesel no ano de 2019, ao custo total de R\$ 331.327,30. Cabe destacar que neste valor não estão inclusos os dispêndios da atividade logística de transportar esse combustível de Cáceres – MT, sede do C Fron JAURU/66º BI Mtz, até as instalações do 4º PEF, na região rural do município de Comodoro, a 515 km do batalhão.

A atividade logística de ressuprimento envolve o emprego de, no mínimo, 01 viatura carregada com o combustível e 02 militares (motorista e chefe da viatura). A distância entre o pelotão e o batalhão implica que a própria atividade de ressuprimento consome, aproximadamente, 200 litros de óleo diesel no deslocamento de ida e retorno, bem como o pagamento de 02 dias de gratificação de representação para os 02 militares.

Além disso, há outros custos também envolvidos na geração de energia elétrica para o 4º PEF. São custos relacionados à operação e manutenção dos GMG, tais como reposição de peças, filtros de óleo, óleo lubrificante, entre outros. Por simplificação, o autor optou por não incluir tais custos durante a análise de viabilidade deste trabalho.

Portanto, infere-se de modo parcial que os custos anuais do C Fron JAURU/66º BI Mtz com geração de energia elétrica são de aproximadamente R\$ 331.327,30 no caso do 4º PEF, com a aquisição de óleo diesel, e de aproximadamente R\$ 48.289,77 para cada pelotão conectado à rede da concessionária, perfazendo um total de R\$ 144.869,30 anual com pagamento de fatura de energia. Desta feita, a eliminação de tais custos anuais representam os benefícios financeiros da instalação de sistemas fotovoltaicos nos pelotões de fronteira, ou seja, os fluxos de caixa positivos a serem confrontados por ocasião da análise de viabilidade.

5.2. O DIMENSIONAMENTO DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Conforme exposto no capítulo anterior, o dimensionamento de um sistema fotovoltaico implica no levantamento do recurso solar disponível no local de instalação do sistema. O Quadro 4, contém as coordenadas geográficas dos pelotões especiais de fronteira do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz:

Quadro 4 – Localização Geográfica dos PEF do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz

Nr Ord	Pelotão	Localização Geográfica
1.	1º PEF Corixa	16°23'42.25"S e 58°20'23.41"O
2.	2º PEF Fortuna	16°16'19.16"S e 59°29'34.21"O
3.	3º PEF Palmarito	15°24'10.94"S e 60°13'58.18"O
4.	4º PEF Guaporé	13°42'59.88"S e 60°36'52.02"O

Fonte: o autor

Os dados acima foram inseridos no programa *SunData* do CRESESB, localizado em <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?section=sundata>. Os resultados obtidos, indicam a disponibilidade de irradiação solar nas proximidades dos PEF, conforme apresentados nas figuras de 16 a 19, a seguir.

Estação: Cáceres
Município: Cáceres, MT - BRASIL
Latitude: 16,401° S
Longitude: 58,249° O
Distância do ponto de ref. (16,395069° S; 58,339836° O): 9,7 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,61	5,30	5,15	4,73	4,00	4,03	4,21	4,94	5,02	5,37	5,59	5,74	4,97	1,74
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	16° N	5,18	5,10	5,20	5,09	4,55	4,75	4,91	5,48	5,20	5,24	5,21	5,25	5,10	,93
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	15° N	5,22	5,12	5,21	5,08	4,52	4,71	4,87	5,46	5,20	5,25	5,25	5,28	5,10	,94
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	26° N	4,80	4,83	5,09	5,17	4,76	5,06	5,19	5,66	5,17	5,02	4,85	4,82	5,03	,90

Figura 16 - Irradiação solar diária média mensal nas proximidades do 1º PEF
Fonte: *SunData V 3.0 (CRESESB), 2020*

Estação: Porto Esperidião
Município: Porto Esperidião, MT - BRASIL
Latitude: 16,201° S
Longitude: 59,449° O
Distância do ponto de ref. (16,271989° S; 59,492836° O): 9,2 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,31	4,97	4,82	4,59	3,90	4,02	4,27	5,00	5,00	5,21	5,45	5,64	4,85	1,74
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	16° N	4,92	4,79	4,86	4,94	4,42	4,74	4,98	5,55	5,18	5,09	5,09	5,16	4,98	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	16° N	4,92	4,79	4,86	4,94	4,42	4,74	4,98	5,55	5,18	5,09	5,09	5,16	4,98	1,13
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	24° N	4,64	4,60	4,78	5,01	4,59	5,00	5,22	5,71	5,16	4,92	4,81	4,83	4,94	1,12

Figura 17 - Irradiação solar diária média mensal nas proximidades do 2º PEF
Fonte: *SunData V 3.0 (CRESESB), 2020*

Estação: Vila Bela da Santíssima Trindade
Município: Vila Bela da Santíssima Trindade, MT - BRASIL
Latitude: 15,4° S
Longitude: 60,249° O
Distância do ponto de ref. (15,403039° S; 60,232828° O): 1,8 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	5,32	5,13	4,90	4,84	4,06	4,12	4,40	4,99	5,01	5,39	5,47	5,54	4,93	1,48
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	15° N	4,95	4,94	4,94	5,18	4,57	4,80	5,08	5,49	5,17	5,26	5,13	5,09	5,05	,92
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	15° N	4,95	4,94	4,94	5,18	4,57	4,80	5,08	5,49	5,17	5,26	5,13	5,09	5,05	,92
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	21° N	4,74	4,80	4,89	5,24	4,71	5,00	5,28	5,61	5,17	5,14	4,93	4,86	5,03	,90

Figura 18 - Irradiação solar diária média mensal nas proximidades do 3º PEF
Fonte: *SunData V 3.0 (CRESESB), 2020*

Estação: Comodoro
Município: Comodoro, MT - BRASIL
Latitude: 13,701° S
Longitude: 60,649° O
Distância do ponto de ref. (13,716633° S; 60,61445° O): 4,1 km

#	Ângulo	Inclinação	Irradiação solar diária média mensal [kWh/m ² .dia]												Média	Delta
			Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez		
<input checked="" type="checkbox"/>	Piano Horizontal	0° N	4,90	4,70	4,80	4,89	4,33	4,39	4,62	5,13	5,08	5,37	5,38	5,22	4,90	1,05
<input checked="" type="checkbox"/>	Ângulo igual a latitude	14° N	4,58	4,54	4,82	5,19	4,82	5,05	5,26	5,59	5,21	5,23	5,05	4,82	5,01	1,05
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior média anual	15° N	4,55	4,52	4,82	5,20	4,85	5,09	5,29	5,61	5,21	5,21	5,02	4,78	5,01	1,09
<input checked="" type="checkbox"/>	Maior mínimo mensal	8° N	4,73	4,63	4,84	5,08	4,64	4,79	5,01	5,42	5,18	5,32	5,22	5,01	4,99	,79

Figura 19 - Irradiação solar diária média mensal nas proximidades do 4º PEF
Fonte: *SunData V 3.0 (CRESESB), 2020*

Os dados das figuras acima mostram a irradiação solar diária média mensal

em kWh/m² / dia para todos os meses do ano. Além disso, são mostrados o valor da menor irradiação diária média mensal (Mínimo), da maior irradiação diária média mensal (Máximo), da irradiação diária média anual (Média) e da diferença entre a máxima e a mínima (Delta).

De posse de tais valores e do consumo de energia elétrica apresentado na seção anterior, faz-se possível dimensionar os sistemas fotovoltaicos para os pelotões. Para tanto, o autor empregou a metodologia contida no Manual Básico para o dimensionamento de Sistemas de Geração de Energia Fotovoltaica Conectados à Rede Elétrica da Concessionária da DOM.

É importante advertir para o fato de que tal metodologia apenas se aplica caso seja superado o desafio técnico de conectar os sistemas fotovoltaicos dos pelotões à rede MRT da concessionária. Do contrário há necessidade de dimensionar o sistema fotovoltaico considerando-o isolado. Isso significa que, além de fornecer energia elétrica para atendimento da demanda do pelotão, o sistema deve permitir o armazenamento de energia no banco de bateria para atender a demanda nos períodos de geração nula, ou seja, durante a noite.

Assim, de acordo com os dados da seção anterior, o atual perfil médio de consumo mensal (E_{cm}) de energia elétrica dos pelotões conectados à rede é de aproximadamente 4335 kWh, o que implica em uma demanda diária de 144,5 kWh de energia elétrica (E_{cd}), de acordo com o resultado obtido da operação abaixo.

$$E_{cd} = \frac{E_{cm}}{30}$$

É importante destacar o fato de que a instalações de equipamentos oriundos do SISFRON, alterarão tais valores, incrementando o consumo médio de energia elétrica dos PEF. Diante da ausência do quadro detalhado de distribuição de material para os pelotões, o autor não conseguiu determinar o aumento na demanda energética de cada pelotão. Desta feita, optou por estimar um aumento de 20% no consumo médio mensal de energia elétrica dos PEF, o que significaria que após instalados todos os equipamentos do SISFRON, a demanda mensal de energia passaria a 5202 kWh e a diária de 173,4 kWh.

Em seguida, faz-se necessário dimensionar os módulos fotovoltaicos para suprirem tal demanda diária. Para tanto, foram utilizados os valores **Horas de Sol**

Pico (HSP) contidos nas figuras de 16 a 19 para calcular a **Potência de Pico Ideal (Pot_{pico})**.

$$Pot_{pico} = \frac{E_{cd}}{HSP}$$

Por exemplo, no caso do 3º PEF – Palmarito, os dados apresentados na Figura 18 indicam a irradiação solar anual média no Plano Horizontal 4,93 kWh/m²/dia, já se os painéis solares forem instalados inclinados no Ângulo igual a Latitude, tal valor passa para 5,05 kWh/m²/dia. Entretanto, é possível observar que, no exemplo do 3º PEF, o mês de maio é crítico para o sistema, pois contém os menores valores de irradiação diária com valores de 4,93 kWh/m²/dia no Plano Horizontal e de 4,57 kWh/m²/dia em Ângulo Igual a Latitude.

De maneira conservadora, e de modo a oferecer confiabilidade ao sistema o autor optou por dimensionar a quantidade de painéis solares com base nos dados do mês de maio. Ao extrapolar o cálculo para os demais pelotões, deve-se observar eventuais diferenças nos valores de irradiação solar. Por exemplo, os dados da Figura 19 indicam, que no caso do 4º PEF – Guaporé, o mês crítico do sistema deixa de maio e passa a ser fevereiro.

Para realização do cálculos, o autor considerou uma Razão de Desempenho¹ de geração do sistema de 80%, assim como disposto no Manual da DOM. No caso específico do 3º PEF, a demanda diária média de aproximadamente 173,4 kWh e o menor valor de irradiação solar diária média de 4,57 kWh/m²/dia, implicam em 47,43 kWp de **Potência de Pico Ideal (Pot_{pico})**.

$$Pot_{pico} = \frac{173,4 \text{ kWh/dia}}{\frac{4,57 \text{ kWh/m}^2}{\text{dia}} \times 0,8} = 47,43 \text{ kWp}$$

Em seguida, foi determinada a quantidade de painéis solares necessárias

¹ Conforme o Manual Básico para o dimensionamento de Sistemas de Geração de Energia Fotovoltaica Conectados à Rede Elétrica da Concessionária da DOM a Razão de Desempenho diz respeito às perdas de energia do sistema relacionadas a fatores como sombreamento, sujeira, entre outros.

para atender a demanda média diária de consumo dos pelotões. Diante dos diferentes tipos e modelos de painéis solares no mercado, com diferentes potências e características de eficiência, neste trabalho, o autor optou-se pelo painel fotovoltaico de 330 W de potência nominal, padrão usual no mercado.

$$N_p = \frac{47,43kWp \times 1000}{330W} = 143,72 \approx 144 \text{ painéis fotovoltaicos}$$

O resultado obtido implica na instalação de 144 painéis solares de 330 Watts de potência nominal em cada PEF conectado à rede da concessionária, o que necessitaria de uma área de aproximadamente 290m² para instalação.

A tarefa de dimensionar o sistema fotovoltaico, envolveria ainda a determinação do tipo e a quantidade de inversores para o sistema, bem como dimensionar a quantidade de cabos, materiais para suporte dos painéis solares, conexões, sistemas de proteção, entre outros. Entretanto, os dados encontrados foram suficientes para a realização de pesquisa de mercado.

Já no caso do 4º PEF – Guaporé, o dimensionamento do sistema fotovoltaico *off-grid* poder aproveitar os valores de demanda energética dos outros pelotões. Entretanto, o sistema deve ser dimensionado considerando a observação feita anteriormente de que a quantidade de painéis deve permitir a produção de energia suficiente para gerar um excedente para alimentar o banco de baterias. Além disso, o banco de baterias deve ser dimensionado de modo a armazenar carga elétrica suficiente para assegurar a autonomia do sistema durante a noite.

Neste caso o autor se valeu dos dados disponíveis no âmbito do estudo técnico sobre geração de energia elétrica nos PEF do CMA realizado pelo 2º Grupamento de Engenharia (Gpt E) no ano de 2019. O relatório supracitado apresenta o caso 7º PEF do Comando de Fronteira Rio Negro/ 5º Batalhão de Infantaria de Selva, Tunuí-Cachoeira – AM. Neste pelotão há uma Planta Fotovoltaica com potência instalada em 187,20 kWp, instalado fruto de Acordo de Cooperação entre o Parque Tecnológico Itaipu e o Exército Brasileiro.

Cabe salientar que, a premissa deste trabalho é de que o sistema fotovoltaico para o 4º PEF deva ser híbrido, ou seja, combinar a geração fotovoltaica com a geração a diesel. Desta forma, o consumo de óleo diesel não

poderá ser excluído do planejamento.

Os resultados obtidos permitem a realização da pesquisa de mercado para avaliar os custos da instalação de sistemas fotovoltaicos nos PEF do C Fron JAURU/ 66º BI Mtz ser realizada na próxima seção.

5.3. A VIABILIDADE ECONÔMICA DOS SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Para a determinação os custos envolvidos com a implantação de sistemas fotovoltaicos no PEF do CMO, o autor consultou o sítio do portal eletrônico de compras do Governo Federal, cujo link é: <https://www.gov.br/compras/pt-br/assuntos/consultas-1/capa-consulta>.

O autor optou por buscar licitações realizadas nos estados do Mato Grosso (MT) e Mato Grosso do Sul (MS), por ser tratar da área de abrangência do CMO. Entretanto, diante da inexistência de licitações de sistemas fotovoltaico *off-grid* no espaço delimitados, fez-se necessário aumentar a abrangência da pesquisa.

A busca possibilitou encontrar valores praticados no âmbito da Administração Pública para sistemas fotovoltaicos de capacidade de geração similar ao estudado. O Quadro 5 apresenta os valores encontrados pelo autor.

Quadro 5 - Custo de aquisição de sistemas fotovoltaicos no âmbito da Administração Pública

Nr Ord	Órgão Público	Edital	Local de Instalação	Potência instalada	Custo de aquisição
1.	Exército Brasileiro CRO/ 8ª RM	Tomada de Preços 02/2018 UASG 160215	1º PEF do CFAP/34º BIS Tiriós – PA	201,6 kWp	R\$ 2.604.506,40
2.	Justiça Federal - MT	Pregão 10/2020 UASG 090021	Sinop - MT	78,4 kWp	R\$ 219.890,00
3.	Justiça Federal - MT	Pregão 09/2020 UASG 090021	Rondonópolis - MT	111,5 kWp	R\$ 268.500,00
4.	Ministério Público do Estado do Mato Grosso	Pregão 74/2018 UASG 926625	Cuiabá - MT	45 WKp	R\$ 324.199,91

Fonte: Comprasnet, 2020

O análise dos editais de licitação constantes do Quadro 5 permitiu identificar que a Comissão Regional de Obras da 8ª Região Militar (CRO/8ª RM) contratou 01 sistema fotovoltaico *off-grid* a ser instalado no PEF de Tiriós no Pará. Já as outras contratações se referem a instalações de sistemas solares *on-grid* a serem instalados em prédios públicos conectados à rede de distribuição da concessionária.

Com base nos dados acima o autor elaborou três diferentes cenários que foram estudados. No primeiro cenário, relativo ao 4º PEF – Guaporé, foram confrontados os custos aquisição e instalação do sistema fotovoltaico *off-grid* com os benefícios da redução de dispêndios com óleo diesel para produção de energia. Neste cenário, o volume necessário de combustível por mês é impactado pelo dimensionamento do banco de baterias do sistema fotovoltaico.

O segundo e o terceiro cenário foram dedicados aos pelotões atualmente conectados à rede da concessionária. No segundo caso foi considerada superada a barreira técnica de conexão do sistema *on-grid* à rede de distribuição rural MRT da concessionária. Portanto, foram comparados os custos de aquisição do sistema *on-grid* com os benefícios advindos da redução dos valores das faturas de energia elétrica.

Já no terceiro caso, foi considerada a impossibilidade de conexão dos sistemas fotovoltaicos dos PEF à rede da concessionária. Neste caso, a solução seria a instalação de sistemas *off-grid* nestes pelotões. O custo de instalação é mais elevado, entretanto, como benefício evita-se o pagamento das faturas de energia elétrica e os gastos com alternativa de custear as obras de extensão da rede da concessionária. Em todos os cenários, o autor empregou a taxa SELIC de 2% ao ano para descontar os fluxos de caixa.

No primeiro cenário, o autor utilizou como custo de instalação o valor de R\$ 2.604.506,40 obtido pela CRO/ 8ª RM na Tomada de Preços 02/2018, ajustado pela inflação de 7,3179%². Além disso, o autor estimou a necessidade de manter uma reserva de 8000 litros anuais de óleo diesel, que permitiria realizar a manutenção dos grupos-motores-geradores e a geração, em emergência, de aproximadamente 16 horas diárias de energia elétrica durante 30 dias³. O valor unitário médio do óleo diesel combustível de R\$3,70 extraído do Quadro 3 também sofreu ajuste inflacionário anual de 3,75%, por ser essa a meta anual de inflação fixada pelo Banco Central do Brasil para o ano de 2021.

² Valor referente ao Índice Geral de Preços - Mercado (IGP-M) acumulado em 12 meses no ano de 2019 da Fundação Getúlio Vargas (FGV IBRE)

³ Valor estimado com base no estudo técnico sobre geração de energia elétrica nos PEF do CMA realizado pelo 2º Grupamento de Engenharia (Gpt E) no ano de 2019 que apontou o consumo mensal de 2.200 litros de óleo diesel por 8 horas diárias de energia elétrica gerada.

Quadro 6 - Fluxo caixa do primeiro cenário (sistema *off-grid* do 4º PEF - Guaporé)

Ano	Custo Investimento	Custo Geração Sistema Híbrido (Reserva de OD)	Saldo Economizado (Economia de OD)	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado (<i>Payback</i>)
0	-R\$ 2.795.101,57	-R\$ 29.600,00	R\$ 301.439,00	-R\$ 2.523.262,57	-R\$ 2.523.262,57
1	-	-R\$ 30.710,00	R\$ 312.742,96	R\$ 276.502,90	-R\$ 2.241.229,61
2	-	-R\$ 31.861,63	R\$ 324.470,82	R\$ 281.246,83	-R\$ 1.948.620,41
3	-	-R\$ 33.056,44	R\$ 336.638,48	R\$ 286.072,14	-R\$ 1.645.038,37
4	-	-R\$ 34.296,05	R\$ 349.262,42	R\$ 290.980,24	-R\$ 1.330.072,00
5	-	-R\$ 35.582,15	R\$ 362.359,76	R\$ 295.972,55	-R\$ 1.003.294,39
6	-	-R\$ 36.916,49	R\$ 375.948,25	R\$ 301.050,51	-R\$ 664.262,62
7	-	-R\$ 38.300,85	R\$ 390.046,31	R\$ 306.215,59	-R\$ 312.517,16
8	-	-R\$ 39.737,14	R\$ 404.673,05	R\$ 311.469,29	R\$ 52.418,76
9	-	-R\$ 41.227,28	R\$ 419.848,29	R\$ 316.813,13	R\$ 431.039,77
VP	- R\$ 3.100.991,35		R\$ 3.258.092,72	VPL	R\$ 143.060,60

Fonte: o autor

Os resultados obtidos apontam para a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico *off-grid* a ser instalado no 4º PEF – Guaporé. O Quadro 6 indica que, no horizonte de 9 anos, o Valor Presente dos fluxos de caixa do custo de instalação acrescido dos custos de manutenção da reserva de óleo diesel é de - R\$ 3.100.991,35. Já o Valor Presente dos fluxos de caixa da economia anual de mais de 81.000 litros de óleo diesel é de R\$ 3.258.092,72. Portanto, o Valor Presente Líquido (VPL) da solução fotovoltaica do 4º PEF é positiva no valor de R\$ 143.060,60. A coluna Fluxo de Caixa Acumulado permite constatar que o *payback* do projeto se dá no oitavo ano do empreendimento.

No segundo cenário, o autor utilizou como custo de instalação o valor de R\$ 219.890,00 obtido pela Justiça Federal no Mato Grosso no âmbito do Pregão 10/2020. Já o retorno do investimento neste cenário foi calculado em função da redução no consumo da energia elétrica da concessionária que o sistema proporcionará. Em seu trabalho sobre geração distribuída em rede rural MRT, Silva (2015) encontrou redução de 75% na conta de energia elétrica, valor que foi aplicado pelo autor na média de gastos obtida no Quadro 2. Neste cenário o valor médio da fatura de energia também sofreu o ajuste inflacionário anual de 3,75%.

Quadro 7 - Fluxo caixa do segundo cenário (sistema *on-grid* nos 1º, 2º e 3º PEF)

Ano	Custo Investimento	Custo da Energia (25% do consumo atual)	Saldo Economizado (75% do consumo atual)	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado (<i>Payback</i>)
0	-R\$ 219.890,00	-R\$ 12.072,44	R\$ 36.217,33	-R\$ 195.745,12	-R\$ 195.745,12
1	-	-R\$ 12.525,16	R\$ 37.575,48	R\$ 25.050,32	-R\$ 170.694,80
2	-	-R\$ 12.994,85	R\$ 38.984,56	R\$ 25.989,71	-R\$ 144.705,09
3	-	-R\$ 13.482,16	R\$ 40.446,48	R\$ 26.964,32	-R\$ 117.740,77
4	-	-R\$ 13.987,74	R\$ 41.963,22	R\$ 27.975,48	-R\$ 89.765,29
5	-	-R\$ 14.512,28	R\$ 43.536,84	R\$ 29.024,56	-R\$ 60.740,73
6	-	-R\$ 15.056,49	R\$ 45.169,47	R\$ 30.112,98	-R\$ 30.627,75
7	-	-R\$ 15.621,11	R\$ 46.863,33	R\$ 31.242,22	R\$ 614,47
8	-	-R\$ 16.206,90	R\$ 48.620,70	R\$ 32.413,80	R\$ 33.028,27
9	-	-R\$ 16.814,66	R\$ 50.443,98	R\$ 33.629,32	R\$ 66.657,60
VPL	-R\$ 350.374,57		R\$ 391.453,70	VPL	R\$ 41.079,13

Fonte: o autor

Assim como no primeiro cenário, os resultados obtidos apontam para a viabilidade econômica do sistema fotovoltaico *on-grid* a ser instalado nos pelotões conectados à rede da concessionária. No Quadro 7 é possível observar que, no horizonte de 9 anos, o Valor Presente dos fluxos de caixa do custo de instalação acrescido dos custos remanescentes de 25% dos atuais valores da fatura de energia é de -R\$ 350.374,57. Já o Valor Presente dos fluxos de caixa da economia anual com a redução de 75% no valor pago nas faturas de energia elétrica é de R\$ 391.453,70 para cada pelotão. Portanto, o VPL da solução fotovoltaica para os 1º, 2º e 3º PEF é positiva no valor de R\$ 41.079,13 e que o *payback* do projeto se dá ao início do sétimo ano do empreendimento.

Por último, no terceiro cenário, que considera a impossibilidade de conexão à rede da concessionária, o autor se valeu do custo de aquisição e instalação de R\$ 2.604.506,40 obtido pela CRO/ 8ª RM. Já o retorno financeiro neste cenário foi calculado em função da redução no consumo da energia elétrica da concessionária, bem que o sistema proporcionará, fluxos de caixa positivos da eliminação dos dispêndios com as faturas de energia elétrica da concessionária. Neste cenário, ainda, considerou-se como benefício a eliminação do custo da Participação Financeira do Consumidor na obra de extensão da rede da concessionária no valor de R\$ 668.133,85 apresentado na Figura 15, que seria a alternativa ao sistema fotovoltaico para garantir a segurança energética destes PEF.

Quadro 8 - Fluxo caixa do terceiro cenário (sistema *off-grid* nos 1º, 2º e 3º PEF)

Ano	Custo Investimento	Custo Geração	Saldo Economizado	Fluxo de Caixa	Fluxo de Caixa Acumulado (Payback)
0	-R\$ 2.795.101,57	R\$ 00,00	R\$ 716.423,62	-R\$ 2.078.677,95	-R\$ 2.078.677,95
1	-	R\$ 00,00	R\$ 50.100,64	R\$ 50.100,64	-R\$ 2.028.577,32
2	-	R\$ 00,00	R\$ 51.979,41	R\$ 51.979,41	-R\$ 1.976.597,91
3	-	R\$ 00,00	R\$ 53.928,64	R\$ 53.928,64	-R\$ 1.922.669,27
4	-	R\$ 00,00	R\$ 55.950,96	R\$ 55.950,96	-R\$ 1.866.718,31
5	-	R\$ 00,00	R\$ 58.049,12	R\$ 58.049,12	-R\$ 1.808.669,18
6	-	R\$ 00,00	R\$ 60.225,97	R\$ 60.225,97	-R\$ 1.748.443,22
7	-	R\$ 00,00	R\$ 62.484,44	R\$ 62.484,44	-R\$ 1.685.958,78
8	-	R\$ 00,00	R\$ 64.827,61	R\$ 64.827,61	-R\$ 1.621.131,17
9	-	R\$ 00,00	R\$ 67.258,64	R\$ 67.258,64	-R\$ 1.553.872,53
VPL	-R\$ 2.795.101,57		R\$ 1.190.072,11	VPL	-R\$ 1.605.029,46

Fonte: o autor

No terceiro cenário resultados obtidos apontam para a inviabilidade econômica da instalação de sistemas fotovoltaicos *off-grid* nos pelotões conectados à rede da concessionária. O Quadro 8 é possível observar que, no horizonte de 9 anos, o Valor Presente dos fluxos de caixa do custo de instalação é de -R\$ 2.795.101,57. Já o Valor Presente dos fluxos de caixa da economia anual com a redução de 100% no valor pago nas faturas de energia elétrica, acrescido do valor economizado com a obra de extensão da rede da concessionária é de R\$ 1.190.072,11. Neste cenário, o VPL da solução fotovoltaica é negativo, inviabilizando, do ponto de vista estritamente econômico, o investimento.

É importante registrar que o valor da obra de extensão da rede apenas fora estimado pela concessionária para o caso do 2º PEF – Fortuna. O que implica afirmar que, a análise da solução fotovoltaica *off-grid* para o 1º e 3º PEF pode, eventualmente, resultar em outras conclusões diante dos custos de extensão da rede da concessionária para tais pelotões.

Assim sendo, do exposto nesta seção, foi possível constatar a viabilidade econômica da implantação de sistema fotovoltaico *off-grid* no 4º PEF. Já no caso dos 1º, 2º e 3º PEF, a viabilidade econômica só existe no cenário de implantação de sistemas fotovoltaico *on-grid*, ou seja, conectados à rede da concessionária. Portanto, é lícito afirmar que o aproveitamento do efeito fotovoltaico pode garantir a segurança energética dos Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste, fornecer energia elétrica de qualidade para os equipamentos do SISFRON.

6. CONCLUSÃO

Ao final deste trabalho, os dados analisados na pesquisa permitem afirmar que o SISFRON é um sistema de sensoriamento e de apoio à decisão que tem por objetivo prover os meios necessários para o Exército Brasileiro monitorar e controlar a faixa de fronteira terrestre brasileira, ampliando a presença e a capacidade de atuação dos entes governamentais por meio de equipamentos de sensoriamento, de apoio à decisão e de apoio ao emprego operacional.

Constatou-se também, que este programa estratégico irá dotar os Pelotões Especiais de Fronteira do Comando Militar do Oeste de modernos sensores, tais como o Binóculo Óptico *Steiner Military 7x50*, o Monóculo de Visão Noturna *LORIS* e o Equipamento Termal CORAL CR. Soma-se a estes, radares de vigilância terrestre e câmeras de longo alcance. O que permite concluir que o SISFRON é um importante projeto para o país aprimorar sua política de fronteira, enfrentar os problemas existentes nesta área e garantir a soberania nacional.

Entretanto, restou claro que a realidade do fornecimento de energia elétrica na área do CMO não é compatível com as necessidades do SISFRON. Na amostra analisada, por exemplo, existem 03 pelotões de fronteira conectados à rede da concessionária de distribuição de energia e 01 pelotão cujo fornecimento se dá por intermédio de Grupo-Motor-Gerador a Diesel. A rede de distribuição que conecta os pelotões é do tipo Monofilar com Retorno pela Terra (MRT), típica das zonas rurais do país, não assegurando energia elétrica de qualidade para os equipamentos do SISFRON.

Para superar tal óbice, a pesquisa identificou que o Brasil possui grande potencial para produção de energia elétrica pelo aproveitamento da irradiação solar. No caso da região do CMO, os totais diários de irradiação global horizontal são da faixa de 5,07 kWh/m²/dia e a irradiação global média no plano inclinado é de 5,20 kWh/m²/dia. Tais valores indicam níveis mais elevados de irradiação solar e com menor variabilidade mensal do que países como Alemanha, Espanha, Itália, Portugal e França, onde tal aproveitamento já é realidade consolidada.

Por intermédio do levantamento do histórico de consumo de eletricidade dos pelotões de fronteira da amostra, constatou-se que a atual demanda de cada pelotão é de aproximadamente 4335 kWh, implicando em uma demanda diária de 144,5 kWh. Entretanto, espera-se que os equipamentos do SISFRON impactem

positivamente esses valores e cujo aumento foi estimado em 20%, passando cada PEF a demandar mensalmente cerca de 5202 kWh e cerca de 173,4 kWh por dia.

Os valores encontrados permitiram ao autor, empregar a metodologia prevista pela Diretoria de Obras Militares (DOM) para dimensionar os sistemas fotovoltaicos para os PEF do CMO. Em se tratando de sistemas *on-grid* a pesquisa retornou o valor de 47,43 kWp de Potência de Pico. No caso de sistemas *off-grid* se valeu dos valores encontrados no âmbito da Tomada de Preços 02/2018 da CRO/ 8ª RM, cujo sistema dimensionado possui 201,6 kWp de Potência de Pico.

O levantamento do histórico de consumo de eletricidade dos pelotões, permitiu ainda concluir que o C Fron JAURU/66º BI Mtz emprega cerca de R\$ 331.327,30 para adquirir óleo diesel para gerar energia para o 4º PEF. No caso dos pelotões conectados à rede da concessionária, o gasto anual é de aproximadamente R\$ 48.289,77 por PEF, perfazendo um total de R\$ 144.869,30 anual com pagamento de faturas de energia elétrica.

O investimento necessário para implantação de um sistemas fotovoltaico *off-grid* no 4º PEF, é de R\$ 2.795.101,57 e o retorno do investimento ocorrerá após 08 anos de sua instalação. Já com relação aos 1º, 2º e 3º PEF, restou constatada a viabilidade econômica apenas no caso da instalação de sistema fotovoltaico *on-grid* cujo investimento inicial foi orçado em R\$ 219.890,00.

Além disso, a pesquisa permitiu identificar, que por intermédio da Geração Distribuída, especialmente, nas modalidades de Empreendimento com Múltiplas Unidade Consumidoras e Geração Compartilhada, a instalação de sistemas fotovoltaicos nos pelotões de fronteira permitiria a compensação de energia elétrica do batalhão sede. No caso examinado, o C Fron JAURU/ 66º BI Mtz poderia se beneficiar dos créditos gerados por seus pelotões, reduzindo o dispêndio com as faturas de energia elétrica da concessionária.

É fato que os valores iniciais necessários para implantação das soluções fotovoltaicas são elevados. Entretanto, no curso da pesquisa, além do escopo dos objetivos inicialmente definidos, o autor encontrou a alternativa adotada pela Força Aérea Brasileira (FAB) para financiar a instalação de seus sistemas fotovoltaicos sem ônus para a força.

A Instrução do Comando da Aeronáutica (ICA) nº 400-54, de 29 de junho de 2018, "Implantação do Programa de Eficiência Energética (PEE) no âmbito do COMAER" e a Diretriz do Comando da Aeronáutica (DCA) 14-13, de 13 de agosto

de 2019, “Diretriz sobre a Gestão de Energia no COMAER”, apresentam as bases do Programa de Eficiência Energética (PEE) da FAB, onde consta que as ações decorrentes para a implantação do PEE priorizarão a obtenção de recursos oriundos da Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000, por intermédio da Chamada Pública. Tal legislação determina que as Distribuidoras de Energia apliquem 0,5% de sua Receita Operacional Líquida (ROL) em ações de eficiência energética, viabilizando a transferência desses recursos a fundo perdido.

Em cumprimento ao disposto nas portarias acima citadas, diferentes organizações militares da FAB têm participado das Chamadas Públicas de seleção de Projetos de Eficiência Energética (CPP) das companhias distribuidoras de energia elétrica, logrando êxito de terem seus projetos selecionados e financiados sem ônus para a instituição.

Portanto, foi possível concluir que o aproveitamento da irradiação solar nos PEF é uma alternativa economicamente viável para assegurar o fornecimento de energia elétrica de qualidade para os equipamentos do SISFRON. Bem como, tem potencial liberar espaço no orçamento do Exército Brasileiro, reduzindo, principalmente, as despesas com a aquisição de óleo diesel combustível. E que, diante da possibilidade de replicar a solução encontrada pela FAB, o financiamento de tais projetos pode ocorrer sem ônus para o Exército Brasileiro.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, Israel de Oliveira e colab. **Sistema Integrado de Monitoramento de Fronteiras em Perspectiva**. - Texto para Discussão / IPEA, p. 35, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Abnt. **ABNT NBR 10899 - Energia solar fotovoltaica — Terminologia**. Abnt. [S.l: s.n.], 2013

BARBOZA, Filipe Alves e SOUZA, Lucas Lira e PINTO, Adeon Cecilio. **Financial feasibility analysis in the implementation of a photovoltaic microgeneration system**. ITEGAM- Journal of Engineering and Technology for Industrial Applications (ITEGAM-JETIA), v. 5, n. 17, 2019.

BRASIL. **Lei Complementar 97, de 9 de junho de 1999. preparo e emprego das FFAA**. Presidência da República Casa Civil Subchefia para Assuntos Jurídicos, 1999. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/lcp/lcp97.htm>.

BRASIL. **Livro Branco de Defesa Nacional (LBDN)**.

BRASIL. **Política Nacional de Defesa. Estratégia Nacional de Defesa**. Diário Oficial da União - Seção 1 - 26/9/2013, Página 1, 2012b.

BRASIL, ANEEL. **Resolução Normativa nº 482, de 17 de Abril de 2012**. Brasília, set. [S.l: s.n.], 2012

BRASIL, ANEEL. **Resolução Normativa nº 687 de 2015 da ANEEL**. Aneel, p. 24, 2015.

BRASIL, Estado-Maior do Exército. **Portaria Nr 193, de 22 de dezembro de 2010**. Boletim do Exército, v. 52, 2010.

BRASIL. Exército. Centro Tecnológico do Exército. **Radar SENTIR M20**. Disponível em: <<http://www.ctex.eb.mil.br/projetos-em-andamento/83-radar-sentir-m20#galeria-deimagens>>. Acesso em: 12 ago. 2020.

BRASIL. Exército. 4ª Brigada de Cavalaria Mecanizada. **A 4ª Bda C Mec e o SISFRON**. APRESENTAÇÃO NA ESCOLA DE APERFEIÇOAMENTO DE OFICIAIS. Rio de Janeiro, RJ: 27 out. 2018.

FERNANDES, Alexandre Silva. Solução Limpa. **Aerovisão, a Revista da Força Aérea Brasileira**, v. 236, n. 40, p. 20-25, 2013.

GREEN, M. A. e A., M. **Solar cells: Operating principles, technology, and system applications**. ph, 1982.

PAIM, Dalmo José Braga. **Utilização de energia solar no SISCEAB**. 2008. 35 f. Escola de Comando e Estado-Maior da Aeronáutica, 2008. Disponível em: <https://redebta.direns.aer.mil.br/index.asp?codigo_sophia=9311>.

PEREIRA, Enio Bueno e colab. **Brazilian Atlas for Solar Energy**. 2017. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3PERDJE>>.

PINHEIRO, E e colab. **Avaliação do potencial da geração fotovoltaica em diferentes condições climáticas na matriz elétrica brasileira**. V Congresso Brasileiro de Energia Solar, v. 2010, p. 1–10, 2014.

PINHO, João Tavares e GALDINO, Marco Antonio. **Manual de engenharia para sistemas fotovoltaicos**. [S.l: s.n.], 2014.

SILVA, Eduardo Teixeira Da e JÚNIOR, Carlos Reisser e AZEVEDO, Rodrigo M. **ESTUDO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA EM REDE RURAL MONOFILAR DE RETORNO POR TERRA (MRT) E OS IMPACTOS SOCIOECONÔMICOS AMBIENTAL**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 4, 2015.

SOUZA, Ronilson Di. **Introdução a sistemas de energia solar fotovoltaica**. Bluesol - energia solar, v. v1, p. 114, 2016. Disponível em: <<https://programaintegradoronline.com.br/wp-content/uploads/2016/03/Livro-Digital-de-Introdução-aos-Sistemas-Solares-novo.pdf>>.

SOUZA JÚNIOR, Alberto Jorge De e colab. **Energia solar em organizações militares: uma análise da viabilidade econômico-financeira**. Navus - Revista de Gestão e Tecnologia, 2019.