**ELEKTRO APOLLARIS: PLATAFORMA COMPUTACIONAL PARA PROJETO DE SISTEMAS FOTOVOLTÁIOS**

Nicolas Fernandes Ferreira

Matheus Soledade Oliveira

Orientador: Gustavo Kaefer Dill

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca

Av. Maracanã, 229 - Maracanã, Rio de Janeiro - RJ, CEP: 20271-110

gkdill@hotmail.com

**Resumo**

A matriz energética do Brasil que por hora vinha sendo de domínio hidroelétrico e termoelétrico vem abrindo cada vez mais espaço para a diversificação das fontes de geração com o objetivo de minimizar os custos de produção de energia e maximizar a performance dos sistemas elétricos. A penetração de energia solar nos sistemas elétricos é o foco deste trabalho e demanda tecnologias de projeto de sistemas fotovoltaicos robustos, capazes de garantir/estimar a produção de energia com eficiência.

Este presente trabalho apresenta um estudo de projeto de sistemas fotovoltaicos utilizando diferentes critérios de escolhas do conjunto módulo fotovoltaico e respectivos inversores. O estudo é realizado em ambiente do Octave [9], no qual foi realizada a implementação computacional de rotinas de cálculos. Diferente dos softwares comerciais, a metodologia visa customizar e otimizar a seleção dos módulos e inversores baseado em indicadores de performances do conjunto módulo fotovoltaico e inversor, custos, ponto ótimo e através de técnicas heurísticas.

Os resultados esperados incluem maior precisão no planejamento de projetos fotovoltaicos, opções de escolha para os projetistas, incentivo ao uso de energia limpa e apoio à transição energética sustentável.

**Palavras-chave**: Projeto de sistemas fotovoltaicos, Energia limpa e renovável, Seleção Otimizada utilizando inteligência computacional.

**1.Introdução**

A matriz energética do Brasil de predominância hidrelétrica e termelétrica vem abrindo cada vez mais espaço para a diversificação das fontes de geração com o objetivo de minimizar os custos de produção de energia e maximizar a performance dos sistemas elétricos. Neste cenário, a produção de energia solar tem-se mostrado atrativa e com grande crescimento nos últimos anos [1]. O aumento do uso desta fonte de geração exige cada vez mais tecnologias de ponta. Apesar disto, a grande maioria dos projetos de sistemas fotovoltaicos é realizada através de planilhas de cálculo manual e com auxílio

de alguns softwares [2].

Os softwares comerciais atuais para projetos de sistemas fotovoltaicos conectados à rede possuem uma grande quantidade de módulos solares e inversores em seus bancos de dados [5], contudo podem dificultar o trabalho de escolha de um projetista devido ao deixar a decisão de escolha de módulo fotovoltaico e inversor a cargo do usuário da ferramenta. A partir desta escolha de um módulo fotovoltaico específico, o projetista deve comparar as possíveis opções de inversores que sejam adequados para o módulo fotovoltaico escolhido com base nos valores mínimos e máximos de tensão de entrada e corrente de MPPT (Maximum Power Point Tracker).

Este trabalho propõe uma metodologia de projeto de sistemas fotovoltaicos que facilita a escolha do projetista onde o mesmo só poderá escolher conjunto de combinações possíveis de módulos fotovoltaicos e inversores. Além disto, a metodologia apresentada neste trabalho permite que o projetista possa selecionar o conjunto módulo fotovoltaico e inversor, baseado no custo, performance ou através de um critério probabilístico que considera ambos os indicadores. O projeto considera todas as restrições climáticas e combina os parâmetros de inversores e módulos fotovoltaicos para a busca de soluções otimizadas, adequadas e eficientes de acordo com o banco de dados deste [2].

Este trabalho é apresentado em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta uma breve introdução do conteúdo do trabalho com a apresentação do problema do uso dos softwares comerciais e a proposta deste estudo. O segundo capítulo apresenta o projeto de estudo desenvolvido por este grupo de trabalho com seus objetivos, motivações e planejamentos. O terceiro capítulo apresenta a metodologia de projeto implementada em ambiente Octave [9]. O quarto capítulo apresenta os resultados de projetos de sistemas fotovoltaicos para dois tipos de consumidores, pequeno e médio porte. O quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho, discussões e propostas de trabalho futuro.

**2. O projeto Apollaris**

A crescente demanda energética global, aliada aos impactos ambientais relacionados a fontes convencionais de energia, tem impulsionado a busca e o desenvolvimento de alternativas renováveis e sustentáveis, com um destaque para a energia fotovoltaica. Porém, sua adoção ainda enfrenta uma série de desafios como melhoria da eficiência, viabilidade financeira e a otimização do dimensionamento do sistema como um todo.

Nesse âmbito, o projeto Apollaris, surge com uma inciativa para a criação de uma plataforma computacional para o cálculo, com bases cientificas, de projetos de sistemas fotovoltaicos, buscando sua otimização e viabilidade econômica. Com nossa inciativa temos como intuito unir rigor acadêmico, inovação tecnológica e aplicabilidade na prática com o objetivo de fornecer uma plataforma capaz de ajudar consumidores, técnicos, engenheiros e pesquisadores no planejamento de instalações fotovoltaicas mais eficientes e econômicas.

Com base em metodologias de seleção inteligente e fundamentação científica, o projeto busca não apenas contribuir para a difusão da energia solar, mas também incentivar sua adoção para todos por meio de um ambiente confiável, acessível e alinhado às necessidades da transição energética, promovendo um futuro mais sustentável alinhado com os objetivos de nosso polo tecnológico.

O projeto Apollaris tem como objetivo: fomentar a sustentabilidade, incentivando a substituição das tradicionais fontes de energia não renováveis por uma alternativa limpa e renovável; redução dos impactos ambientais, através da promoção da sustentabilidade e por meio da otimização de sistemas solares minimizando perdas e maximizando eficiência; segurança nas instalações fotovoltaicas, através do cálculo de dispositivos de proteção e seccionamento dos condutores atendendo as normas vigentes no Brasil; integração da pesquisa cientifica e tecnológica, oferecendo cálculos baseados em metodologias robustas e eficientes; democratização da energia renovável, fornecendo uma solução rápida com aplicabilidade prática a consumidores e empresas que busca minimização de custos e alinhada com as necessidades técnicas e de mercado.

**3. Metodologia**

Esta seção apresenta como o sistema fotovoltaico é projetado. Uma plataforma computacional, em ambiente de Octave [9] foi desenvolvida como ferramenta para realização dos cálculos de projeto. O projeto leva em consideração a demanda, quantidade de energia a ser produzida para atender a demanda de consumo, variantes de irradiação do local da instalação, temperatura média, mínima e máxima, velocidade do vento, área de instalação, tensão da rede local e etc. A irradiação local foi retirada a partir de dados do National Renewable Energy Laboratory (NREL) [citar], entretanto, atualmente reunidos pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration)*. A metodologia de projeto segue a já apresentada em [10] e será expressa aqui de forma resumida.

*3.1. Cálculo do número de módulos fotovoltaicos e inversores*

Baseado na irradiação local e no consumo de energia. Os dados são pegos do Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA) [citar] e com suporte do INPE (descrever) [citar], que provêm dados relativos ao recurso solar no Brasil. Aparentemente mais recentemente, está se utilizando dados da NASA. A geração de potência solar é dada em definição por [2]:

Equação 3.1

O fator de capacidade é usado para compensar perdas no sistema fotovoltaico devido a: desvio do espectro, incompatibilidade ou desvio de produção reduzido dos dados do fabricante, perdas por reflexão nos módulos, perdas no condutor, e outras questões. O fator de capacidade é ajustado neste trabalho para 80% [2].

O design dos módulos é baseado na produção média anual de potência produzida por (3.1) e a potência de cada módulo fotovoltaico, as quais algumas restrições devem ser satisfeitas. O número de módulos é determinado por [2]:

Equação 3.2

Onde é a potência do módulo e, e são a tensão e corrente para o ponto de potência máxima (MPP), é a área do módulo fotovoltaico com a estrutura de suporte inclusa e é área total disponível para a instalação do sistema livre de sombreamento.

A tensão do módulo muda de acordo com a temperatura nas células [2]. Por isso, a potência dos módulos também muda. A tensão equivalente, considerando a temperatura que incide no módulo PV, é calculada da seguinte forma [2].:

Equação 3.3

Onde é a temperatura estimada dos módulos como apresentado em [CITAR] com sendo a velocidade do vento, é a tensão de circuito aberto, e são os coeficientes de temperatura de e respectivamente.

O design dos inversores é baseado em 1 e a potência nominal de cada inversor, levando em conta algumas restrições como: a mínima e máxima temperatura suportada pelos inversores, e o mínimo e máximo no intervalo de potência provido pelo inversor para evitar a baixa eficiência. Considereλ como um conjunto j de inversores. O número de inversores é determinado por [2]:

Equação 3.4

Onde é a capacidade de potência DC do k-ésimo inversor, e são a temperatura mínima e máxima suportada por cada inversor, e são a temperatura local mínima e máxima respectivamente da localização onde o sistema é instalado.

Inversores podem ter mais de um MPPT e cada um possuir um limite de strings de PV, baseados no máximo intervalo de tensão e corrente. Com o objetivo de escolher inversores que possam acomodar o número de requeridos de módulos PV, o número máximo de strings por MPPT de cada inversor e o número de módulos por string devem ser determinados. Número máximo de strings por MPPT é determinada na equação de NP e o número de módulos por string na equação NS [2].

Equação 3.5

Onde, é o máximo de corrente suportada pelo r-ésimo MPPT de qualquer k-ésimo inversor disponível.

Equação 3.6

Onde, , e são o mínimo e o máximo de tensão de entrada do k-ésimo inversor.

Uma vez que o número de módulos e inversores onde não há violação das restrições, o projetista deve escolher uma solução. Muitas vezes o projetista vê diferentes combinações de módulos e inversores o que torna difícil a seleção se qualquer critério for aplicado.

*3.2. Critério de seleção dos conjuntos módulos-inversores*

A proposição de critérios de seleção serve para que se tenha a escolha mais apropriada dentre um conjunto de equipamentos para a instalação. Seguindo a metodologia proposta [2], temos dois critérios de custos para o módulo e inversor, além de dois critérios de performance. Segundo a referência, as formulações são realizadas com dados de folha dos equipamentos e feitas de forma empírica.

*3.2.1. Indicador de performance para módulos fotovoltaicos*

Este índice tem como fator indicar o melhor módulo fotovoltaico de um conjunto disposto a seleção. Como melhores características responsáveis pela performance, precisa-se de baixa variação de tensão em relação ao coeficiente de temperatura, alta eficiência, maior tolerância de potência positiva, tempo útil de duração longo e um número mínimo de certificados de qualidade e segurança [2].

Equação 3.7

Onde e são relativos aos coeficientes de temperatura relacionados a e a respectivamente, é a classificação de Tier relacionada a quantidade de certificações relacionadas às normas internacionais, é a eficiência do módulo, a tolerância de potência e por fim, é a durabilidade.

*3.2.2. Indicador de performance para inversores*

O índice auxilia na escolha do melhor inversor dentre um conjunto de possibilidades para o sistema em específico. Alta eficiência diminuindo o número de módulos e inversores necessários. Maior capacidade de corrente de MPPT e taxas de tensão de forma a aumentar o tamanho das strings e módulos por inversor. Uma taxa de surto de potência maior permite que haja uma operação acima dos limites de capacidade e como o índice para os módulos, um número mínimo de certificações de qualidade e segurança são esperados [2]. A referência revela o índice da seguinte forma:

Equação 3.8

Desta forma os parâmetros devem ser minimizados para que haja maior performance do inversor. Nesta equação temos como eficiência dos inversores, é a soma das correntes de MPPT para o mesmo k-ésimo inversor, é a taxa de tensão da máxima e minima tensão de entrada, é a taxa de surto de potência máxima CC e a potência nominal e é a classificação de Tier.

*3.2.3. Critério de escolha baseado na performance e custo*

Esta performance está relacionada ao sistema fotovoltaico conectado a rede a partir da soma dos índices anteriores, sendo representada por *Ip =Ipv + Ipinv* e o seu inverso representa um índice de custo (*Ic*). O valor mínimo de *Ip* indica melhor performance e o máximo indica melhor custo [2]. As equações são modeladas considerando o número de módulos e inversores:

Equação 3.9

*3.2.4. Critério de escolha baseado no método Topsis [citar].*

A técnica para ordenar preferências por similaridade com a solução ideal foi proposta em [8], chamada de *Technique for Order Preferences by Similarity to an Ideal Solution (*TOPSIS), onde a solução apareceria da alternativa com maior proximidade com a solução positiva ideal (solução ótima) e o mais longe da solução negativa ideal (solução inferior) [8]. Ao ordenar as alternativas da melhor para pior, a escolha seria a melhor opção. A técnica utilizada para classificar e selecionar um número de possíveis alternativas através da medição da distância Euclidiana. O método é utilizado neste trabalho como uma ferramenta para a tomada de decisão da melhor combinação de módulos fotovoltaicos e inversores, levando em consideração critérios de performance e custo. Os critérios de performance e custo são ordenados de forma que existam critérios positivos, aqueles que maximizam a performance do conjunto módulos-inversores e critérios negativos, aqueles que minimizam a performance do conjunto, porém, diminuem o custo. A proposta desta metodologia é encontrar uma solução positiva ideal e uma solução negativa ideal e então aplicar um critério de escolha para a solução de melhor performance (solução positiva) ou a solução de menor custo (solução negativa). Seguindo um algoritmo descrito em [3]. Temos como passo 1 a construção da matriz de decisão normalizada:

Equação 3.10

Onde e são a pontuação original e normalizada da matriz de decisão. No passo 2, a construção da matriz normalizada já com os pesos.

Equação 3.11

Onde é o peso para o j-ésimo critério.

Para o passo 3, determina-se a solução ideal positiva e negativa, sendo a positiva ideal:

Equação 3.12

Onde . E a negativa ideal:

Equação 3.13

Onde .

O passo 4 é calcular as medidas de separação para cada alternativa. A separação para a alternativa ideal positiva é:

Equação 3.14

De forma análoga, para a alternativa negativa ideal:

Equação 3.15

Como último passo, deve-se calcular a proximidade para a solução ideal .

Equação 3.16

A partir disso, a alternativa com mais próximo de 1 é a ideal para o sistema.

3.3. Fluxograma com as etapas da plataforma computacional para projeto de sistemas fotovoltaicos

NICOLAS\MATHEUS, criar um fluxograma com a descrião das etapas do processo de montagem do projeto de forma gráfica, conforme mencionado no texto abaixo.

* Coleta de parâmetros do local de instalação
  + Demanda energética do consumidor (residencial, comercial ou industrial).
  + Dados ambientais: irradiação solar, temperatura ambiente e velocidade do vento, obtidos de bases como SWERA e INMET.
  + Condições de instalação: área disponível e parâmetros de sombreamento.
* Cálculos básicos
  + Estima-se a potência solar necessária para suprir a demanda para cada combinação de módulo e inversor, corrigida por um fator de capacidade que considera perdas de conversão, efeito da temperatura e eficiência de cada inversor e módulo afim de obter o mais preciso cálculo possível.
  + Estima-se também a partir do nosso banco de dados, as condições solares como as horas de sol por dia e a irradiação utilizada para corrigir a potência dos módulos e a angulação dos módulos totalmente dependente dos fatores solares.
* Seleção dos módulos fotovoltaicos
  + Primeiramente, os módulos são filtrados e usados nos cálculos apenas os que satisfazem as condições da instalação e do ambiente.
  + Nossa base de dados contém diferentes modelos de módulos, é obtida dela as especificações e parâmetros, como Vmp, Voc e Imp, dos módulos a serem utilizados.
  + O número de módulos é calculado a partir da potência requerida e da área disponível, com correções de desempenho segundo o modelo de Souza et al. (2018), que ajusta a tensão e potência do módulo conforme irradiância, temperatura e velocidade do vento reais.
  + Para cada módulo é calculado seu índice de performance a partir das variações de tensão e potência e sua eficiência, para posteriormente serem priorizados na seleção final.
* Seleção dos inversores
  + Para cada conjunto de módulo, são avaliados diferentes inversores disponíveis com base em restrições elétricas e condições do ambiente de instalação e calculado o arranjo em série e pararelo do conjunto de módulo.
  + As restrições incluem limites de tensão/corrente de MPPT, eficiência mínima, faixa operacional de temperatura e dimensionamento adequado para evitar sobre/subutilização (85–130% da potência nominal).
  + São calculados para os inversores índices de desempenho, baseado em sua eficiência, e custo para priorizar combinações que conciliem eficiência, confiabilidade e viabilidade econômica na geração de combinações.
* Geração das combinações otimizadas
  + O algoritmo retorna a combinação ideal para cada critério de seleção, sendo os critérios:
    1. Melhor performance, porém, custo elevado geralmente
    2. Balanceado, melhor relação entre custo e performance
    3. Critério TOPSIS baseado em um artigo científico em fase de desenvolvimento
    4. Melhor custo, opção mais barata
* Cálculo dos dispositivos e cabos
  + É calculado para cada uma das combinações os dispositivos de proteção e a seção dos cabos a serem utilizados, levando em consideração os fatores de temperatura, corrente elétrica e queda de tensão, com a finalidade de alcançar segurança e melhor eficiência, tudo isso com base na NBR 5410, norma técnica vigente no Brasil.

Em segunda instância, no âmbito de nossa solução baseada em Inteligência Artificial, será utilizado a mesma disposição de cálculos da plataforma construída com o MATLAB, todavia esses cálculos serão utilizados para “alimentar” a Inteligência Artificial. Nossa Inteligência Artificial será treinada com a biblioteca *SKLearn* no Python, posteriormente esse modelo será convertido para o *Tensorflow* que executaremos na linguagem JavaScript. Construiremos nossa plataforma em linguagens Web, pois assim é assegurado que o código rode em todos os dispositivos com navegador a fim do objetivo de democratizar seu uso.

* Eleição dos módulos e inversores
  + Antes do algoritmo prosseguir para a estimação dos índices é feita uma seleção dos módulos e inversores para assegurar que sejam utilizadas apenas componentes que satisfaçam as condições da instalação e do ambiente.
* Regressão dos Indices
  + Com o *Deep Learning*, utilizaremos o algoritmo de regressão para estimar precisamente os índices de performance, custo e desempenho.
  + O código fará a combinação entre os módulos e inversores e estimará o índice da combinação.
* Selecionamento das melhores combinações
  + O algoritmo buscará pelas combinações com melhores índices, seguindo os mesmos critérios que na plataforma MATLAB/Octave.
  + Para essas combinações, a fim de assegurar compatibilidade com as restrições físicas e elétricas e melhoras a precisão do código, são refeitos os cálculos corretivos e de restrições, caso a combinação não atenda o algoritmo é punido e a regressão é refeita. Os índices também são calculados e utilizados para treinar o *Deep Learning*. Ou seja, assim podemos aperfeiçoar os resultados de forma contínua.
* Cálculo dos dispositivos e cabos
  + Seguindo o mesmo passo que o código em Octave, é calculado os dispositivos de proteção, cabos e diodos, seguindo todas as normas de segurança.

**4.Resultados e Discussão**

Os resultados deste trabalho são apresentados para dois tipos de sistemas de produção de energia fotovoltaica. Um projeto residencial, de pequeno porte, considerando o consumo de energia variável mensalmente de um consumidor de baixa tensão, com média anual de 300kWh e um projeto para consumidor comercial, de médio porte, considerando o consumo de energia médio anual deste de 3000kWh. Todos os projetos são realizados para consumidores localizados na cidade do Rio de Janeiro/RJ cujos dados necessários para o projeto são apresentados na Tabela 4.1. Para os dados da Tabela 4.1, o número de horas de sol por dia, bem como o número de horas de sol cuja irradiação é 1000W/m² é apresentada na Figura 4.1.

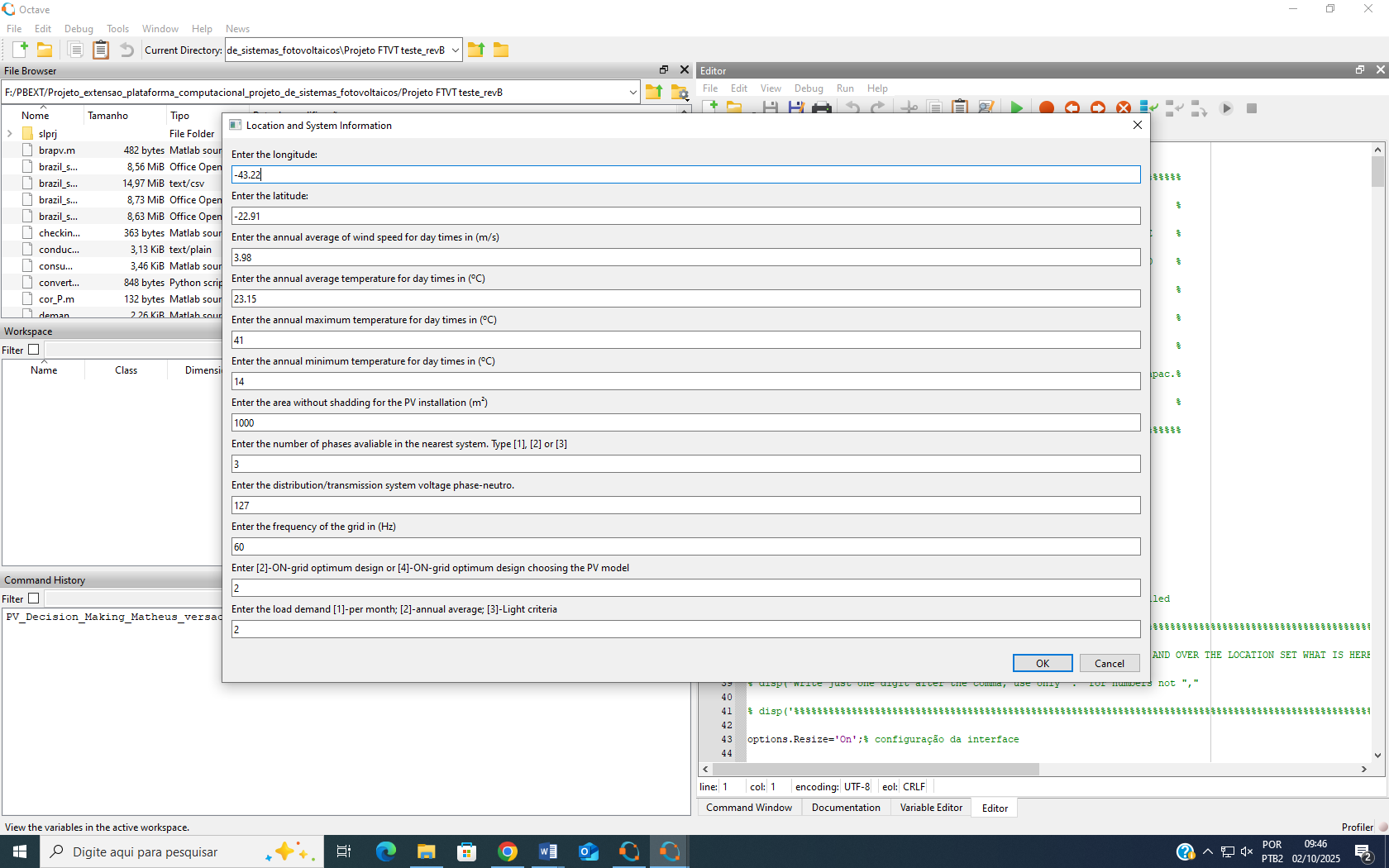


Tabela 4.1. Dados de entrada para realização do projeto fotovoltaico (Nicolas\Matheus, criar uma tabela com os dados digitalizados em portugues)

Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figura 4.1. Horas de sol por dia (Nicolas\Matheus, criar um gráfico na forma de barras com os dados de horas, digitalizado em português, conforme dados obtidos em Resultados de pequeno porte)

Três diferentes critérios de escolha para o projeto de sistemas fotovoltaicos são analisados neste estudo. O critério de escolha do conjunto módulos fotovoltaicos e respectivos inversores adequados para os módulos fotovoltaicos encontrados com melhor desempenho, definido aqui como *“Performance”*, um critério de escolha do conjunto com menor custo, definido aqui como *“Custo”* e um critério de escolha do conjunto baseado em uma técnica heurística que utiliza o método Topsis [citar] para escolha da melhor solução, definida aqui como *“Topsis”.*

*3.1.Projeto de pequeno porte*

Este projeto é realizado para um consumidor residencial com consumo de energia baseado na conta de luz mensal de determinado ano. A Figura 4.2 ilustra o consumo de energia mensal deste consumidor, bem como, a quantidade de energia gerada por cada critério de escolha de projeto.

Interface gráfica do usuário, Tabela

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figura 4.2 – Demanda e energia produzida (Nicolas\Matheus criar um gráfico tipo barras com os 3 critérios de escolha e a demanda conforme dados obtidos em Resultados de pequeno porte)

Baseado no consumo de energia mensal deste consumidor, observa-se que o maior consumo ocorre nos meses de verão e o menor consumo nos meses de inverno, conforme a curva de demanda da Figura 4.2. A produção de energia fotovoltaica, considerando os diferentes critérios de escolha do conjunto módulos-inversores segue o mesmo comportamento de produção de energia, com as maiores produções nos meses mais quentes e com baixa produção nos meses com menor número de horas de sol por dia (inverno). Os resultados de cada projeto são apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parâmetros | Performance | Custo | Topsis |
| Número de módulos |  |  |  |
| Número de inversores |  |  |  |
| Número de módulos por inversor |  |  |  |
| Máximo no. de MPPT por inversor |  |  |  |
| Máximo no. de string por MPPT |  |  |  |
| Strings por inversor |  |  |  |
| Seção do cabo CC [mm²] |  |  |  |
| Faixa de ajuste da proteção CC por string [A] | 12,82 – 15,0 |  |  |
| Seção do cabo CA [mm²] |  |  |  |
| Faixa de ajuste da proteção CA [A] | 16,66 – 17,0 |  |  |

Tabela 4.2. Resultados obtidos com por cada critério de escolha de projeto (Nicolas\Matheus, preencher tabela com os dados digitalizados em português, considerando os resultados obtidos no relatório de pequeno porte)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Dados do fabricante de módulos fotovoltaicos | | | |
| Parâmetros | Performance | Custo | Topsis |
| Modelo\Fabricante | A | B | C |
| Tensão de circuito aberto [V] |  |  |  |
| Corrente de curto-circuito [A] |  |  |  |
| Tensão de operação ótima [V] |  |  |  |
| Corrente de operação ótima [A] |  |  |  |
| Potência nominal [W] |  |  |  |
|  |  |  |  |
| Dados do fabricante de inversores | | | |
| Modelo\Fabricante |  |  |  |
| Potência CC [W] |  |  |  |
| Número de MPPT |  |  |  |
| Corrente máxima por MPPT [A] |  |  |  |
| Faixa de tensão por MPPT [V] | 160 - 530 |  |  |
| Potência CA [VA] |  |  |  |
| Faixa de tensão CA [V] | 211 - 264 |  |  |

Tabela 4.3. Dados dos modelos de módulos e inversores e seus respectivos parâmetros (Nicolas\Matheus, preencher tabela com os dados digitalizados em português, considerando os resultados obtidos no relatório de pequeno porte)

Para não fazer nenhuma crítica específica aos fabricantes de módulos fotovoltaicos e inversores, neste artigo, os modelos e marcas foram omitidos e classificado por letras. De acordo com os resultados apresentados nas Tabelas 4.2 e 4.3, observa-se que o Topsys apresenta uma leve melhora com relação aos demais critérios de escolha, devido ao tier, definido aqui como índice de desempenho, apresentar um conjunto módulo-inversor com desempenho adequado e com custo não tão alto.

*3.2.Projeto de médio porte*

Este projeto é realizado para um consumidor comercial com consumo de energia médio anual de 3000kWh. A Figura 3 ilustra o consumo de energia mensal deste consumidor, bem como, a quantidade de energia gerada por cada critério de escolha de projeto.

Interface gráfica do usuário, Aplicativo, Tabela, Excel

O conteúdo gerado por IA pode estar incorreto.

Figura 4.3 – Demanda e energia produzida (Nicolas\Matheus criar um gráfico tipo barras com os 3 critérios de escolha e a demanda conforme dados obtidos em Resultados de pequeno porte)

Para o projeto de médio porte, o parâmetro área xxxx da Tabela 4.1 foi ajustado para 100.00m² afim de garantir espaço suficiente para a instalação dos módulos fotovoltaicos. A produção de energia fotovoltaica, considerando os diferentes critérios de escolha do conjunto módulos-inversores segue o mesmo comportamento de produção de energia, com as maiores produções nos meses mais quentes e com baixa produção nos meses com menor número de horas de sol por dia (inverno). Os resultados de cada projeto são apresentados nas Tabelas 4.4 e 4.5.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Parâmetros | Performance | Custo | Topsis |
| Número de módulos |  |  |  |
| Número de inversores |  |  |  |
| Número de módulos por inversor |  |  |  |
| Máximo no. de MPPT por inversor |  |  |  |
| Máximo no. de string por MPPT |  |  |  |
| Strings por inversor |  |  |  |
| Seção do cabo CC [mm²] |  |  |  |
| Faixa de ajuste da proteção CC por string [A] |  |  |  |
| Seção do cabo CA [mm²] |  |  |  |
| Faixa de ajuste da proteção CA [A] |  |  |  |

Tabela 4.4. Resultados obtidos com por cada critério de escolha de projeto (Nicolas\Matheus, preencher tabela com os dados digitalizados em português, considerando os resultados obtidos no relatório de pequeno porte)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Dados do fabricante de módulos fotovoltaicos | | | |
| Parâmetros | Performance | Custo | Topsis |
| Modelo\Fabricante | A | B | C |
| Tensão de circuito aberto [V] |  |  |  |
| Corrente de curto-circuito [A] |  |  |  |
| Tensão de operação ótima [V] |  |  |  |
| Corrente de operação ótima [A] |  |  |  |
| Potência nominal [W] |  |  |  |
|  |  |  |  |
| Dados do fabricante de inversores | | | |
| Modelo\Fabricante | a | b | c |
| Potência CC [W] |  |  |  |
| Número de MPPT |  |  |  |
| Corrente máxima por MPPT [A] |  |  |  |
| Faixa de tensão por MPPT [V] |  |  |  |
| Potência CA [VA] |  |  |  |
| Faixa de tensão CA [V] |  |  |  |

Tabela 4.5. Dados dos modelos de módulos e inversores e seus respectivos parâmetros (Nicolas\Matheus, preencher tabela com os dados digitalizados em português, considerando os resultados obtidos no relatório de pequeno porte)

Com o aumento da demanda de energia, observa que o critério de escolha Topsis [citar] apresenta uma leve melhora de desempenho em relação aos demais critérios pois utiliza o menor número de módulos fotovoltaicos e ainda encontrou um conjunto módulo-inversor com bom índice de desempenho e custo mediano.

**5. Conclusões e Considerações Finais**

O Apollaris representa um avanço significativo na integração entre ciência, inovação tecnológica e sustentabilidade. A implementação inicial em Octave [9] demonstrou a viabilidade de automatizar o processo de dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, permitindo a seleção criteriosa de módulos e inversores com base em índices de desempenho e custo além de prezar pela segurança das instalações ao calcular seus respectivos dispositivos de instalação. Essa abordagem promove maior eficiência energética e racionalização dos recursos investidos, contribuindo para a democratização da energia solar. Os resultados com os três critérios de projeto são adequados e permitem ao usuário escolher o conjunto módulo fotovoltaico – inversor com base no custo, desempenho ou ainda através do critério de escolha do topsys [citar] que combina ambos indicadores.

O projeto ainda encontra-se em fase de desenvolvimento para melhoria do banco de dados, cálculo da inclinação e orientação ideal para a instalação dos módulos baseados na latitude e longitude do local da instalação, bem como, a determinação da distância entre módulos e strings para garantir a máxima produção de energia. Assim, será possível ampliar o estudo para projetos de grande porte e melhorar ainda mais a eficiência das instalações fotovoltaicas. Além disto, uma nova plataforma está em desenvolvimento, com a aplicação de Inteligência Artificial, para ampliar o escopo da plataforma, tornando-a capaz de aprender com dados reais, ajustar-se a diferentes contextos climáticos, sugerir soluções otimizadas e corrigir erros e falhas de forma autônoma. Essa evolução aponta para a construção de uma ferramenta inteligente, adaptável e acessível, alinhada às demandas atuais de transição energética e mitigação dos impactos ambientais.

Assim, o Apollaris reforça os objetivos do polo de inovação Elektro, ao unir rigor científico, inovação aplicada em prol da sustentabilidade, aplicabilidade prática e democratização dessa tecnologia, estimulando a redução das emissões de carbono e consolidando-se como um instrumento estratégico para o futuro das energias renováveis.

**Referências**

[1] ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica, Nota técnica N. 0056/2017 – SRD/ANEEL –maio/2017.

[2] Freitas G., Dill G. K., A Selection Criterion for Grid-connected Photovoltaic Systems” – 13th IEEE/IAS International Conference on Industry Applications – INDUSCON 2018, São Paulo - SP, Brazil, from 11 a 14 de Novembro, 2018.

[3] Behzadian M., Otaghsara S. K., Yazdani M., Ignatius J., A state-of the-art survey of TOPSIS applications, Expert Systems with Applications, Elsevier, 2012.

[4] Hwang, C. L., & Yoon, K. P., Multiple attribute decision making: Methods and applications, New York: Springer-Verlag, 1981

[5] Valentin Software, PV\*Sol Software. https://valentin-software.com/produkte/pvsol-premium/

[6] Rufino R. D., Resolução Normativa REN 687/2015. http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf,

Novembro, 2015.

[7] SOUZA, Muryllo Amalio de; SOUZA, Jean Przybysz de; PEREIMA, Antonio Tadeu. Simplified Methodology for Temperature Calculation of Operation and Photovoltaic Modules Yield in Non-Standardized Environmental Conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, v. 61, n. spe, e18000170, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4324-smart-2018000170>.

[8] Citar Hwang e Yoon – Topsis

[9] GNU Project, Octave. https://octave.org/

[10] MALAGRIS; Matheus de Queiroz; MALAGRIS. Projeto de Sistemas Fotovoltaicos conectados diretamente à rede utilizando o TOPSIS – janeiro/2021