

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

FRANCISCO PÓVOAS

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONVERSÃO DE DADOS
DE FLUXO DE POTÊNCIA DO MODELO DESSEM PARA O
MATPOWER**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

FRANCISCO PÓVOAS

**FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA CONVERSÃO DE DADOS
DE FLUXO DE POTÊNCIA DO MODELO DESSEM PARA O
MATPOWER**

Trabalho de Conclusão de Curso
submetido ao Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia de Santa
Catarina como parte dos requisitos para
obtenção do título de Engenheiro em
Engenharia Elétrica.

Orientador
Prof. Murilo Reolon Scuzziato, Dr Eng.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

RESUMO

A análise e operação eficiente de sistemas elétricos de potência são fundamentais para garantir o fornecimento confiável de energia. Este estudo visa enriquecer a análise de fluxo de potência no âmbito acadêmico ao converter os dados do modelo DESSEM para o MATPOWER utilizando um algoritmo criado em Python. A demanda energética impulsiona o uso de ferramentas computacionais como DESSEM, essenciais na programação diária do planejamento operacional do ONS. Essa iniciativa busca contribuir para a expansão da análise de sistemas de energia, oferecendo uma ferramenta aprimorada para estudos que envolvem o fluxo de potência.

Palavras-chave: DESSEM. Fluxo de Potência. ONS. MATPOWER.

ABSTRACT

The efficient analysis and operation of electrical power systems are essential to ensure a reliable energy supply. This study aims to enhance the analysis of power flow in the academic and professional realms of the electrical sector by converting data from the DESSEM model to MATPOWER using a Python-created algorithm. The demand for energy drives the use of computational tools like DESSEM, crucial in the daily programming of operational planning by the ONS. This initiative aims to contribute to expanding the analysis of energy systems by providing an enhanced tool for studies involving power flow.

Keywords: DESSEM. Power Flow. ONS. MATPOWER.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Objetos instanciados | 19 |
| Figura 2 - Triângulo de Potência | 22 |
| Figura 3 - Modelo equivalente em pi de uma linha de transmissão | 24 |
| Figura 4 - Executando o algoritmo para um estágio específico | 33 |
| Figura 5 - Executando o algoritmo para todos os estágios | 33 |
| Figura 6 - Fluxo completo de processamento | 35 |
| Figura 7 - Organização das informações do arquivo de hidrelétrica | 42 |
| Figura 8 - Estrutura dos dados da Usina Hidráulica M. DE MORAES | 44 |
| Figura 9 - Representação alto nível da Usina Hidráulica M. DE MORAES | 45 |
| Figura 10 - Organização das informações do arquivo de termelétrica | 46 |
| Figura 11 - Estrutura dos dados da Usina Jorge Lacerda B | 47 |
| Figura 12 - Representação alto nível da Usina Termelétrica Jorge Lacerda B | 48 |
| Figura 13 - Organização das informações do arquivo de Eólica | 49 |
| Figura 14 - Estrutura dos dados de eólica para barra 322 | 50 |
| Figura 15 - Carga das ilhas principais do estágio 20 | 61 |
| Figura 16 - Geração das ilhas principais do estágio 20 | 62 |
| Figura 17 - Número de barras, cargas, geradores e ramos do estágio 20 | 63 |
| Figura 18 - Barras de referência das ilhas principais do estágio 20 | 63 |
| Figura 19 - Resumo da ilha principal 1 estágio 20 | 64 |
| Figura 20 - Demanda total do sistema por estágio DESSEM | 66 |
| Figura 21 - Demanda por submercado do sistema por estágio DESSEM | 67 |
| Figura 22 - Geração e demanda total do sistema por estágio DESSEM | 68 |
| Figura 23 - Geração total do Fluxo de potência DC por estágio MATPOWER | 69 |
| Figura 24 - Geração Fluxo de Potência DC MATPOWER e demanda total | 70 |
| Figura 25 - Geração total do sistema: DESSEM x Fluxo de Potência DC | 71 |
| Figura 26 - Geração por submercado: DESSEM x Fluxo de Potência DC | 72 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1 - Linguagens de programação de alto nível | 15 |
| Quadro 2 – Objeto Celular 1 | 17 |
| Quadro 3 - Classe Celular, objetos e atributos | 17 |
| Quadro 4 - Classe Celular, objetos, atributos e métodos | 18 |
| Quadro 5 - Representação <i>Camel Case</i> | 21 |
| Quadro 6 - Potências e unidades | 21 |
| Quadro 7 - Bus Data (mpc.bus) - versão reduzida | 27 |
| Quadro 8 - Branch Data (mpc.branch) - versão reduzida | 28 |
| Quadro 9 - Generator Data (mpc.gen) - versão reduzida | 28 |
| Quadro 10 - Arquivo com definições de diretórios para a ferramenta | 31 |
| Quadro 11 - Informações presentes no arquivo de saída MATPOWER | 34 |
| Quadro 12 - Organização das informações da classe <code>coletaInfoEstagio</code> | 36 |
| Quadro 13 - Informações do bloco DBAR | 37 |
| Quadro 14 - Informações do bloco DLIN | 38 |
| Quadro 15 - Informações do bloco DUSI | 38 |
| Quadro 16 - Informações do bloco DGLT | 39 |
| Quadro 17 - Informações do bloco DGBT | 39 |
| Quadro 18 - Informações do bloco DANC MUDA | 40 |
| Quadro 19 - Informações relativas às usinas hidráulicas | 42 |
| Quadro 20 - Informações relativas às usinas termelétricas | 46 |
| Quadro 21 - Informações relativas às usinas eólicas | 49 |
| Quadro 22 - Informações relativas a construção da matriz mpc.bus | 51 |
| Quadro 23 - Informações relativas a construção da matriz mpc.branch | 53 |
| Quadro 24 - Informações relativas a construção da matriz mpc.gen | 55 |
| Quadro 25 - Informações relativas a construção da matriz mpc.busadd | 57 |
| Quadro 26 - Informações relativas a construção da matriz mpc.genadd | 58 |
| Quadro 27 - Maiores carregamentos nas linhas de transmissão estágio 20 | 64 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-------|---|
| CEPEL | Centro de Pesquisas de Energia Elétrica |
| FCF | Função de Custo Futuro |
| ONS | Operador Nacional do Sistema Elétrico |
| POO | Programação orientada a objetos |
| SIN | Sistema Interligado Nacional |
| UHE | Usina hidrelétrica |
| VBA | <i>Virtual Basic for Applications</i> |

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 10 |
| 1.1 Justificativa | 11 |
| 1.2 Definição do Problema | 12 |
| 1.3 Objetivo Geral | 13 |
| 1.4 Objetivos Específicos | 13 |
| 1.5 Estrutura do Trabalho | 14 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 15 |
| 2.1 Linguagem de Programação Python | 15 |
| 2.2 Programação Orientada a Objetos (POO) | 16 |
| 2.2.1 Objetos | 16 |
| 2.2.2 Herança | 19 |
| 2.3 Estilo Camel Case | 20 |
| 2.4 Elementos básicos da rede | 21 |
| 2.4.1 Barras | 22 |
| 2.4.2 Linhas de transmissão | 23 |
| 2.4.3 Geradores | 24 |
| 2.4.4 Fluxo de Potência em uma rede elétrica | 24 |
| 2.5 DESSEM - Modelo de programação diária da operação | 25 |
| 2.6 MATPOWER | 27 |
| 3 METODOLOGIA | 30 |
| 3.1 Arquivo de configuração da ferramenta de conversão | 31 |
| 3.2 Fluxo geral de execução do script | 32 |
| 3.3 Estrutura do arquivo de saída MATPOWER (.m) | 33 |
| 3.4 Módulo de processamento e integração dos dados do DESSEM | 34 |
| 3.4.1 Identificação do estágio e dos arquivos de entrada | 35 |
| 3.4.2 Extração dos blocos do caso base (.pwf) | 36 |
| 3.4.3 Ajuste de cargas por patamar (arquivos patXX.afp) | 40 |
| 3.4.4 Consolidação dos dados de geração (hidro, termo e eólica) | 41 |
| 3.4.4.1 Leitura dos dados das usinas hidrelétricas (pdo_hidr.dat) | 41 |
| 3.4.4.2 Leitura dos dados das usinas termelétricas (pdo_term.dat) | 45 |
| 3.4.4.3 Leitura dos dados das usinas eólicas (pdo_eolica.dat) | 48 |
| 3.4.5 Montagem das estruturas MATPOWER | 50 |
| 3.4.5.1 Construção da matriz mpc.bus | 50 |
| 3.4.5.2 Construção da matriz mpc.branch | 53 |
| 3.4.5.3 Construção da matriz mpc.gen | 54 |
| 3.4.5.4 Geração dos metadados de barras mpc.busadd | 57 |
| 3.4.5.5 Geração dos metadados de geradores mpc.genadd | 58 |

| | |
|---|-----------|
| 4 SIMULAÇÕES | 60 |
| 4.1 Estágio de referência | 60 |
| 4.2 Dados da série temporal completa (48 estágios) | 65 |
| 5 CONCLUSÃO | 74 |
| REFERÊNCIAS | 75 |

1 INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico de potência é composto por diversos componentes, como usinas geradoras, linhas de transmissão de energia, transformadores e cargas. As usinas de geração normalmente estão localizadas próximas dos recursos naturais energéticos, como as hidrelétricas que aproveitam os desníveis e quedas de água dos rios. Essa energia é produzida em níveis de tensão da ordem de dezenas de quilovolts e aumentada por transformadores de modo a ser transmitida por longas distâncias até os centros consumidores. (Zanetta, 2006)

O Sistema Interligado Nacional (SIN) está em constante expansão e sofre variações diárias na operação. Tudo isso deve ser previsto pelo planejamento e a operação do sistema. Para o correto funcionamento e previsão do sistema é importante o emprego de ferramentas de análise de sistemas de potência, de modo a obter um correto dimensionamento da rede elétrica, programar investimentos e adequar níveis de tensões. (Zanetta, 2006)

A tarefa de coordenar e controlar as instalações de geração e transmissão no Brasil está sob responsabilidade do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS), assim como pelo planejamento da operação. Sendo uma de suas principais responsabilidades a busca pela otimização da operação do sistema elétrico, munindo-se de critérios técnicos, almejando a minimização dos custos atendendo critérios estabelecidos de confiabilidade do sistema. (ONS, 2023a) O sistema elétrico do Brasil é predominantemente atendido por usinas hidrelétricas (ONS, 2023b) e isso corrobora para a problemática de se prever resultados através de modelos matemáticos empregados no planejamento da operação. O planejamento da operação visa determinar quais unidades geradoras irão atender a demanda nos respectivos intervalos previstos, tentando ao máximo reduzir os custos e em fazer a melhor escolha para garantir a integridade do sistema através da tomada de decisão.

Hoje há ferramentas computacionais que são capazes de influenciar nas decisões do planejamento da operação e a partir disso auxiliar na tomada de decisão do que será feito com o sistema elétrico. Exemplos de ferramentas computacionais desenvolvidas pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL)¹ são o DECOMP, NEWAVE E DESSEM.

1.1 Justificativa

O setor de energia é robusto e desempenha um papel fundamental para o desenvolvimento da sociedade e para isso enfrenta desafios, como lidar com a operação de modo a garantir que a demanda por energia seja atendida. Nesse contexto, a aplicação de ferramentas computacionais desenvolvidas para atuar no setor de energia é fundamental. Atuando na modelagem, auxiliando na análise e contribuindo com a otimização do sistema.

Com isso, os modelos NEWAVE, DECOMP e DESSEM surgiram, cumprindo com o papel de otimizar o despacho das usinas e determinar o preço da energia. O NEWAVE foi proposto para atuar no planejamento de médio prazo, ao passo que o DECOMP atuaria no planejamento mensal e por fim o DESSEM trabalharia com a operação diária, operando no curtíssimo prazo. A saída de cada modelo é integrada no seguinte através da Função de Custo Futuro (FCF), a saída da FCF do NEWAVE é acoplada na entrada do DECOMP, a saída da FCF do DECOMP será por fim a entrada do DESSEM. (Barbosa, 2023)

De acordo com o manual do usuário do DESSEM (ELETROBRAS CEPEL, 2022), o programa DESSEM é um modelo de otimização desenvolvido pelo CEPEL desde 1998, e tem como principal objetivo determinar a programação diária da operação de sistemas hidrotérmicos, incluindo as fontes intermitentes, em um horizonte de algumas semanas de discretização de até meia-hora. A programação da operação, sob a utilização do DESSEM, desempenha um papel importante no setor elétrico como um todo. O modelo vem sendo utilizado pelo ONS desde o início do ano de 2020 para programação diária da operação do sistema elétrico brasileiro.

¹ O CEPEL foi criado em 1973 visando promover pesquisas científicas e desenvolver tecnologia assim como criar *softwares* e produtos para o setor elétrico. (CEPEL, 2023)

Tendo como um dos principais resultados os fluxos de potências nas linhas e injeções nas barras da rede elétrica, assim como o status de todas as restrições de segurança. O modelo DESSEM, antes de ser adotado pelo ONS como modelo determinante para o despacho ótimo da programação diária, passou por aprimoramentos e testes desde 2018, denominada de operação sombra (ONS, 2023c). A operação sombra visava relacionar as diferenças entre os resultados do DESSEM e a programação diária. A partir da análise dos primeiros meses da Operação Sombra, Rigoni (2018) identificou que, em diversas usinas da Região Sul, o programa de geração sugerido pelo DESSEM apresentava violações de faixas operativas e de limites mínimos de geração, resultando em propostas de operação não factíveis quando confrontadas com os procedimentos de rede e com os cadastrados de restrições utilizados na Programação Diária.

Além disso, é de responsabilidade do ONS elaborar e disponibilizar as comparações entre o DESSEM e a programação diária. Nesse caso, apesar de ser a última etapa do planejamento do sistema, o modelo ainda exhibe decisões que devem ser consolidadas pelos agentes. Por esse motivo, simulações com os dados do DESSEM mostram-se relevantes. Em virtude da complexidade do grande número de dados e formatação do DESSEM é necessário o emprego de algoritmos no auxílio de rotinas que adaptem os dados para uma formatação comum pretendida.

1.2 Definição do Problema

Apesar dos avanços e adoção do DESSEM por parte do ONS no planejamento da operação, os resultados do DESSEM ainda carecem de ajustes para sua aplicação em tempo real. Nesse sentido, busca-se uma ferramenta para simulação do resultado da programação da operação eletroenergética do sistema, antes que ela seja considerada como diretrizes para operação. Assim, podem ser feitos estudos e análises com base em simulações, tanto da operação elétrica quanto energética. De maneira geral, existem ferramentas que resolvem problemas clássicos e bastante difundidos, como o fluxo de potência. Como um ponto negativo desses *softwares*, nem sempre há uma formatação comum dos dados, de modo que possam ser reaproveitados e mais bem explorados.

Com a finalidade de contornar o problema de licenças de *Software* e facilitar a investigação de problemas de fluxo de potência por parte de estudantes e profissionais do setor de sistemas de energia, buscou-se investigar ferramentas gratuitas² que resolva tal problema. O *MATPOWER* (*MATPOWER*, 2023) , ferramenta instalada dentro do *Software Octave* (*Octave*, 2023), é capaz de simular os problemas de fluxo de potência desde que possua os dados de entrada adequados. Para que simulações com os dados utilizados no DESSEM sejam feitas pelo *MATPOWER*, é necessário que seja construída uma ferramenta capaz de adequar os dados de rede e usinas modeladas do DESSEM. Só assim é possível que estudantes e profissionais interessados tirem maior proveito dos dados da rede elétrica obtidos através do DESSEM.

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver uma ferramenta computacional capaz de converter os dados do DESSEM, tornando compatível com os dados de entrada do *MATPOWER*, através do emprego da linguagem de programação *Python*.

1.4 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo geral, são definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) identificar a relação entre os dados do DESSEM e a formatação aceita pelo *MATPOWER*;
- b) construir o algoritmo da ferramenta computacional através da linguagem de programação *Python*, capaz de converter dados do DESSEM para a formatação do *MATPOWER*;
- c) executar o fluxo de potência no *MATPOWER* com os dados de entrada proveniente da ferramenta computacional.

² A ideia de *Software* livre é fortemente defendida, por vários motivos, seja por motivos sociais ou acadêmicos. O pilar principal é que o conhecimento necessita ser passado, de modo que todos se beneficiem sem precisar arcar com custos elevados (GNU, 2023).

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho está dividido em quatro capítulos. O primeiro capítulo do trabalho é a introdução, onde é apresentado a justificativa, objetivos gerais e específicos e a definição do problema.

O segundo capítulo contém a fundamentação teórica, abordando os conceitos de fluxo de potência e alguns detalhes importantes do sistema elétrico para o entendimento dos dados utilizados na solução do fluxo de potência, como barras, geradores e linhas de transmissão. O segundo capítulo também conta com uma abordagem da linguagem de programação *Python* e acerca da orientação a objetos, assunto importante que servirá como filosofia de programação para a construção da ferramenta computacional.

A metodologia está descrita no capítulo três deste trabalho. O capítulo quatro apresenta as simulações. Por último, é apresentada a conclusão.

O código³ fonte completo da ferramenta computacional desenvolvida neste trabalho encontra-se disponível em repositório público no GitHub.

³ Repositório GitHub da ferramenta de conversão:
<https://github.com/francisco-povoas/Ferramenta-de-conversao>

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados alguns dos princípios necessários para o entendimento do problema abordado no trabalho. Apresenta-se a linguagem Python e os princípios de programação orientada a objetos (POO) para desenvolvimento da ferramenta computacional utilizada. Além disso, são descritos os elementos básicos de um sistema elétrico, necessários para modelar e resolver o problema de fluxo de potência, assim como uma descrição dos dados do modelo de programação da operação, DESSEM e da biblioteca de Fluxo de Potência, MATPOWER.

2.1 Linguagem de Programação Python

Python foi inicialmente criada por Guido Van Rossum e seu nome foi inspirado no programa televisivo Monty Python, tendo seu primeiro lançamento oficial em 1991. Reconhecida por ser orientada a objetos, interpretada e de alto nível, essa linguagem é amplamente utilizada para propósitos gerais (Python Institute, 2023). Sua facilidade de uso e rápida curva de aprendizado a tornam uma escolha popular, especialmente quando comparada a linguagens como C (Cohen, 2015).

Uma linguagem de programação é considerada de alto nível devido à sua sintaxe ser próxima a linguagem humana, facilitando a leitura e interpretação (Weingartner, 2020). No mercado atual, várias linguagens de alto nível são amplamente adotadas. Algumas dessas linguagens estão expostas no Quadro 1.

Quadro 1 - Linguagens de programação de alto nível

| Ano de Criação | Linguagem | Autor |
|----------------|-----------|-------------------|
| 1989 | Python | Guido Van Rossum |
| 1980 | C++ | Bjarne Stroustrup |
| 1995 | PHP | Rasmus Lerdof |
| 1995 | JAVA | Sun Microsystems |
| 2000 | C# | Microsoft |

Fonte: Elaboração própria (2025).

2.2 Programação Orientada a Objetos (POO)

No fim dos anos 60 criou-se a Engenharia de *Software* com a necessidade de sanar os problemas da crise do *Software* e inúmeros métodos criados na época não foram capazes de contornar os problemas encontrados na produtividade e qualidade dos *Softwares*. Em 90 os sistemas de computadores passaram a ser amplamente utilizados dentro de empresas e os *softwares* passaram a receber mais entradas e controles por parte dos usuários. Com o passar do tempo e conforme foram sendo realizados mais testes, notou-se que havia uma grande implicação a reutilização de código na qualidade e produtividade de *softwares*. Os paradigmas procedurais não mais atendiam as necessidades e com isso seria necessário buscar uma nova alternativa, com isso passou-se a utilizar o que é hoje conhecido como orientação a objetos. (Farinelli, 2007)

A orientação a objetos é uma filosofia de desenvolvimento de *software* que busca assimilar o relacionamento abstrato de algoritmos com a realidade. A programação orientada a objetos são programas modulares, facilmente reaproveitáveis e apresentam possibilidades de extensão de código como por exemplo mecanismo de herança. (Farinelli, 2007)

2.2.1 Objetos

Na orientação a objetos, um objeto é uma instância de uma classe, representando uma entidade específica. Ele é definido por meio de classes e, em essência, não difere muito de variáveis. Uma vez definidos, ocupam espaços na memória para registrar estado e valor. Os objetos possuem uma estrutura e é recomendável que seus atributos, que são suas características, não sejam conhecidos externamente, mantendo-os privativos. Em relação aos métodos, que são funções inerentes à classe e realizam ações específicas, não é necessário conhecer sua implementação externamente, apenas compreender a ação que executam ao serem chamados para desempenhar sua funcionalidade. (Ricarte, 2001)

Para representar um objeto podem ser citados diferentes objetos reais como carro, livro, celular e assim por diante. É possível definir um objeto Celular 1 e elencar suas características, como mostra o Quadro 2.

Quadro 2 – Objeto Celular 1

| |
|------------------|
| Celular 1 |
| Ano |
| Marca |
| Modelo |
| Preço |
| Armazenamento |
| Memória |
| Cor |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os objetos no mundo real possuem características únicas que os identificam e diferem de outros objetos. Em orientação a objetos as características de um objeto são chamadas de atributos, são variáveis capazes de armazenar valores.

Objetos celulares possuem diferentes características, podendo diferir significativamente em termos de custo e desempenho, devido às diferenças no *hardware* construtivo, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 - Classe Celular, objetos e atributos

| Classe Celular | | |
|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
| Atributos | Objeto Celular 1 | Objeto Celular 2 |
| Ano | 2023 | 2022 |
| Marca | Samsung | Apple |
| Preço | 4275 R\$ | 7749 R\$ |
| Armazenamento | 128 GB | 1024 GB |
| Memória | 8 GB | 16 GB |
| Cor | Preto | Azul |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os métodos são procedimentos muito semelhantes a funções, procedimentos que executam determinadas tarefas, podem ser chamados no código

quando necessário e normalmente possuem identificação referente ao que irão executar. Diferente de funções, os Métodos são intrínsecos ao objeto. (Ricarte, 2001)

Diferentes objetos celulares possuem os mesmos métodos e isso é uma peculiaridade da classe, como mostra o Quadro 4.

As classes são responsáveis por determinar o comportamento e a estrutura de um objeto. É por meio da instanciação de uma classe que um objeto é criado. A classe mantém as características definidas pelos atributos e incorpora os métodos, que representam os comportamentos que o objeto terá. A instanciação, por sua vez, é o ato de criar o objeto, referenciando todo o modelo estruturado pela classe. (Farinelli, 2007)

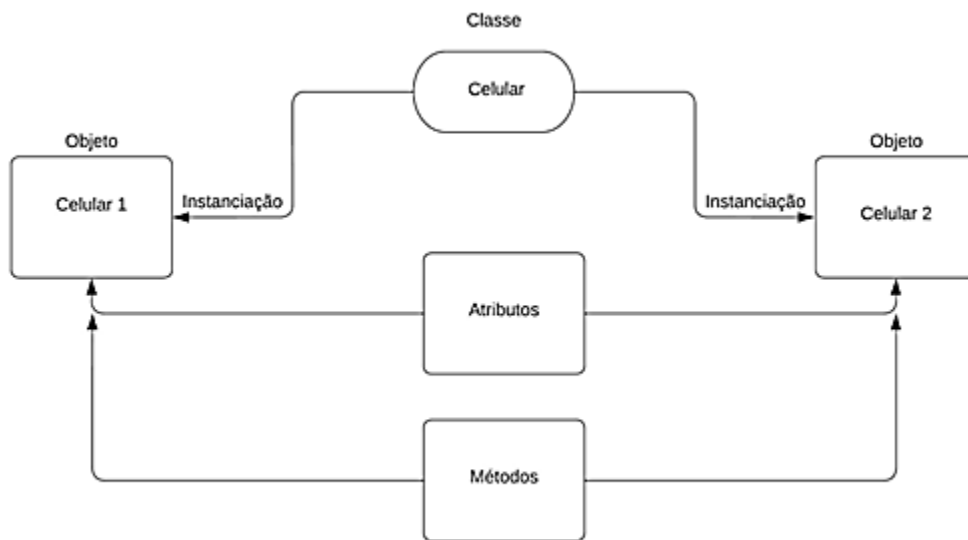
Quadro 4 - Classe Celular, objetos, atributos e métodos

| Classe Celular | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|
| Métodos | Atributos | Objeto Celular 1 | Objeto Celular 2 |
| Ligar | Ano | 2023 | 2022 |
| Despertar | Marca | Samsung | Apple |
| Consultar horas | Preço | 4275 R\$ | 7749 R\$ |
| Câmera | Armazenamento | 128 GB | 1024 GB |
| Trocar SMS | Memória | 8 GB | 16 GB |
| Calendário | Cor | Preto | Azul |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Através da instanciação da classe é possível criar diferentes objetos, com características e comportamentos semelhantes, como mostra a Figura 1.

Figura 1 - Objetos instanciados



Fonte: Elaboração própria (2025).

2.2.2 Herança

Uma das maneiras mais diretas de explicar o conceito de herança em POO é por meio do exemplo da genética. Os pais passam suas características para seus filhos, os filhos por sua vez passam suas próprias características adiante. Em orientação a objetos uma classe pode herdar todo comportamento e características de outra classe. A classe que herdou passará a ter seus próprios atributos e métodos, assim como os atributos e métodos herdados da classe pai. Essa é uma maneira inteligente de reaproveitamento de código, uma vez que é possível atribuir novos comportamentos nas classes, assim como for desejado. Ao alterar o comportamento da classe pai automaticamente será válido para a classe filho. (Farinelli, 2007)

Para viabilizar a hierarquia entre objetos as classes são organizadas em estruturas hierárquicas onde a classe que passa adiante seus métodos e atributos é

denominada superclasse e a classe que herda é denominada subclasse. A subclasse pode herdar os métodos e atributos da superclasse e nada impede de a subclasse definir seus próprios atributos e métodos. (IBM, 2023)

Por exemplo, a partir de uma superclasse *Animal* que possui atributos e métodos é possível estender sua funcionalidade através de herança para subclasses, de modo que as subclasses passem a receber os comportamentos de *Animal* e assim por diante. Tornando também possível que as subclasses tenham suas vontades próprias, implementando seus próprios atributos e métodos, além do que já herdaram.

Uma subclasse ao herdar comportamentos de uma única classe denomina o que é conhecido por herança simples. A subclasse poderá possuir seus próprios métodos e atributos além do que herdou de sua superclasse. A superclasse por sua vez terá apenas os comportamentos dela, sem ter ligação alguma com os comportamentos da subclasse que a herdou. O fato de a subclasse herdar apenas de uma superclasse não impede que a superclasse seja herdada por mais subclasses. (Farinelli, 2007)

2.3 Estilo Camel Case

A clareza e legibilidade devem ser um padrão fundamental encontrado em escritas de código, um dos estilos mais utilizados é o *Camel Case*, amplamente utilizado no universo da programação, não possuindo restrição com a linguagem empregada, já que é apenas a forma como uma variável é descrita no código.

O *Camel Case* consiste em escrever a primeira palavra em maiúscula e iniciar cada palavra subsequente em minúscula, sem utilizar espaços ou caracteres especiais entre elas. Esse formato cria uma sequência de palavras que visualmente são unificadas mas que indicam a separação dos termos (freeCodeCamp, 2025)

Vale ressaltar que a definição e atribuição do nome de uma variável não envolve acentos ou caracteres especiais. O Quadro 5 ilustra alguns exemplos da utilização do estilo *Camel Case*.

Quadro 5 - Representação Camel Case

| Variável em Camel Case |
|-------------------------|
| informacoesEstagio |
| arquivosCasoBase |
| montandoEstruturaMpcGen |
| numeroCadastroUsina |

Fonte: Elaboração própria (2025).

2.4 Elementos básicos da rede

Dentro da análise de estudos de circuitos elétricos a potência aparente é definida pela soma das potências ativas e reativas de forma complexa, sendo a parte real representada por P ao passo que Q é parte imaginária, como mostra a Equação 1.

$$S = P + jQ \quad (1)$$

Onde:

S = potência aparente (VA)

P = potência ativa (W)

jQ = potência reativa (VAr)

A potência complexa pode ser determinada também através dos fasores de tensão e corrente e sua unidade é distinta frente às unidades de potência reativa e ativa, como mostra o Quadro 6.

A parcela ativa da potência complexa é determinada a realizar trabalho, ao passo que a aparente é quem representa a potência total necessária para fornecer a potência média desejada. Através de um triângulo retângulo é possível representar as três grandezas e a partir disso obter o Fator de Potência (FP), sendo ele o cosseno do ângulo entre S e P. (Nilson, 2016)

Quadro 6 - Potências e unidades

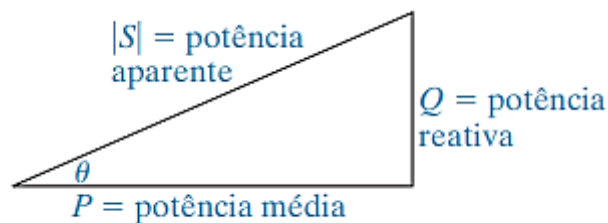
| Potência | Atributos |
|----------|--------------------|
| Aparente | volts-amperes [VA] |

| | |
|----------------|-----------|
| Ativa ou Média | watt [W] |
| Reativa | var [VAr] |

Fonte: Adaptado de Nilson (2016).

É possível inferir que o Fator de Potência (FP) será 1, quando a parcela reativa de potência do triângulo tende significativamente a zero, dado que o ângulo entre P e S será 0. A Figura 2 ilustra as grandezas envolvidas no triângulo de potência.

Figura 2 - Triângulo de Potência



Fonte: Nilson (2016).

2.4.1 Barras

Dentro do estudo de fluxos de potências, há o envolvimento de cálculo de tensões nas barras, potências injetadas ou absorvidas em pontos da rede, assim como fluxos de potência nos ramos de ligações. Para cada barra i da rede, há quatro variáveis básicas a se determinar, sendo elas P_i , Q_i , V_i , θ_i . (Zanetta, 2006)

Segundo Stevenson e Grainger (1994, p. 360), há diferentes formas de se referir a barras em um problema de fluxo de potência, sendo elas barras de carga, controlada por tensão ou *slack*, conforme os itens a seguir.

- a) barras de carga (PQ), onde se conhece os valores de potência ativa e reativa da carga. Em termos práticos, normalmente é conhecida a potência ativa e a potência reativa é estimada baseado em um fator de potência 0,85 ou superior. Desejando determinar os valores de tensão e ângulo da barra;

- b) barra de tensão controlada (PV), onde se conhece os valores de tensão e potência ativa, desejando determinar os valores do ângulo do fasor tensão e potência reativa;
- c) barra de referência ($V\bar{0}$), barra única no sistema, onde se conhece o ângulo do fasor tensão, assim como a própria tensão na barra, desejando determinar os valores de potência ativa e reativa.

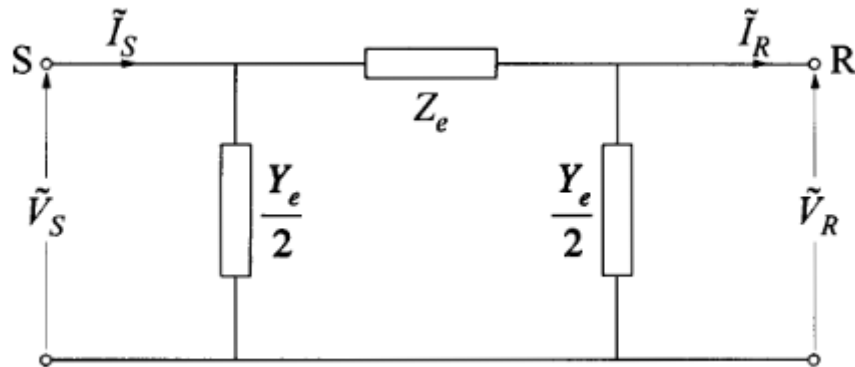
2.4.2 Linhas de transmissão

As linhas de transmissão são elementos presentes no sistema elétrico de potência, responsáveis por interligar usinas geradoras aos centros de cargas, permitindo com isso o transporte de blocos de energia. Em sistemas elétricos linhas de transmissão são segregados em níveis de tensão conforme sua função no sistema (transmissão, subtransmissão e distribuição). São projetadas para atender certos critérios, como capacidade de corrente, limites de temperatura, fatores mecânicos, estabilidade e desempenho em regime permanente transitório. (Zanetta, 2006)

Linhas de transmissão são caracterizadas por quatro parâmetros: resistências série devida a resistividade do condutor elétrico, condutância shunt devido perdas de corrente entre as fases e o chão, indutâncias série devida ao campo magnético ao redor dos condutores e capacitância shunt devido o campo elétrico entre condutores. Para questões de análises matemáticas e computacionais envolvendo elementos do sistema, o modelo equivalente π de linha de transmissão é amplamente utilizado em estudos de fluxo de potência por conseguir representar linhas de médio e longo comprimento. Nesse modelo a linha é representada por uma impedância série $Z = R + jX$ representando perdas ômicas e queda de tensão e por duas admitâncias shunt iguais $Y/2$ conectadas em cada extremidade, representando o efeito capacitivo da linha em relação a terra. (Kundur, 1994)

A Figura 3 ilustra o circuito equivalente em π de uma linha de transmissão, com a impedância série no centro e as admitâncias shunt distribuídas nos terminais da linha.

Figura 3 - Modelo equivalente em pi de uma linha de transmissão



Fonte: Kundur (1994).

2.4.3 Geradores

Os geradores são os elementos responsáveis pela conversão de diferentes formas de energia primária, como fontes fósseis, solar, eólica e hidráulica, em energia elétrica, constituindo a principal fonte de potência ativa nos sistemas elétricos de potência. Do ponto de vista eletromagnético, a maior parte das usinas é conectada ao sistema por meio de máquinas síncronas ou conversores eletrônicos de potência, que realizam o acoplamento entre os geradores e a rede elétrica em corrente alternada. (Kundur, 1994).

No contexto do SIN, destacam-se, em termo de participação, as usinas hidrelétricas e fontes renováveis, como parques eólicos e, em expansão, usinas solares fotovoltaicas (Ministério de Minas e Energia, 2024)

2.4.4 Fluxo de Potência em uma rede elétrica

A principal finalidade do Fluxo de Potência é servir de base para tomadas de decisões tanto do ponto de vista do planejamento e da operação do sistema de energia elétrica, isso em regime permanente. Podem ser considerados sistemas de potência grandes indústrias, redes de distribuição de energia elétrica assim como o sistema interligado nacional (SIN). (Zanetta, 2006)

Para que o sistema elétrico trabalhe da melhor maneira possível, é preciso contar com resultados confiáveis da análise do fluxo de potência através de ferramentas adequadas. Diferente de outros problemas, o fluxo de potência não é formado por sistemas lineares de equação e sim por sistemas não lineares e de modo a resolvê-lo é preciso contar com métodos iterativos. (Zanetta, 2006)

Entre os métodos clássicos de solução de fluxo de potência destacam-se os métodos de Gauss-Seidel, Newton-Raphson amplamente utilizados em estudos de sistema de potências. Em situações em que se deseja uma formulação mais simples, é comum empregar também o fluxo de potência em corrente contínua (fluxo de potência DC), que consiste em uma aproximação linear do problema. (SAADAT, 1999)

Para que o fluxo de potência seja resolvido, é necessário dispor de um conjunto consistente de dados que represente o sistema elétrico, entre as principais informações destacam-se dados de barras, linhas de transmissão e geradores. Ferramentas computacionais de fluxo de potência são capazes de organizar essas informações na forma de tabelas ou estrutura de dados específicas. (MATPOWER, 2023)

2.5 DESSEM - Modelo de programação diária da operação

O DESSEM é um modelo de otimização de curtíssimo prazo desenvolvido pelo Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (CEPEL) com o intuito de determinar a programação diária da operação de sistemas hidrotérmicos, incluindo fontes intermitentes, em um horizonte de algumas semanas, com discretização semi-horária. O modelo representa de forma detalhada as características e restrições operativas das usinas hidrelétricas, termelétricas e usinas eólicas, além da rede elétrica de transmissão. Desde o ano de 2020, o DESSEM é utilizado pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) como modelo determinante da Programação Diária da Operação (PDO) do Sistema Interligado Nacional (SIN). A partir de 2021, passou a ser base para a formação do preço de energia elétrica pela Câmara de Comercialização de Energia Elétrica. (CEPEL, 2022)

O principal objetivo do DESSEM é resolver despachos hidrotérmicos com o mínimo custo operativo possível. Do ponto de vista da formulação matemática do problema, a função objetivo busca minimizar o custo de operação do sistema no horizonte de estudo, considerando custos de geração térmica, partida e paradas de unidades. Essa otimização é realizada com amplas restrições, como balanço de energia e água nos reservatórios, limites de vazão turbinada, vertidas e limites de armazenamento. Além disso, o modelo se atenta para que a demanda não seja única e exclusivamente atendida por hidráulicas, dado que a água não possui custo associado. (CEPEL, 2022)

Na cadeia de planejamento da operação do sistema brasileiro, o DESSEM integra-se aos modelos NEWAVE (médio prazo) e DECOMP (curto prazo). O NEWAVE fornece funções de custo futuro (FCF) associadas ao uso da água em horizontes de anos. O DECOMP utiliza essas FCF para estabelecer metas semanais de geração hidráulica e térmica. O DESSEM recebe, ao final do seu horizonte de estudo a função de custo futuro proveniente do DECOMP, refinando essas diretrizes em uma programação detalhada, em base semi-horária, da geração por usina e fluxos na rede para o dia seguinte. Cada um dos modelos encadeados necessita de modelos auxiliares que ajudam a realizar previsão de cargas, afluências, cronogramas de manutenção e afins. (CEPEL, 2022)

Os dados necessários à execução do DESSEM são organizados em decks de entrada, contendo cadastros de usinas hidrelétricas, termelétricas e eólicas, parâmetros hidrológicos, valores de demanda com correção por patamar, além do modelo elétrico detalhado do SIN. Esses decks e seus resultados são disponibilizados periodicamente pelo ONS por meio de plataformas e portais corporativos, em especial o Portal SINtegre, que atuam como canal de relacionamento com os agentes e de distribuição de produtos técnicos, incluídos os casos do DESSEM usados na Programação Diária da Operação (ONS, 2025)

2.6 MATPOWER

O MATPOWER é um conjunto de *scripts*, de possível utilização através do OCTAVE voltado a pesquisadores e educadores que necessitam resolver problemas de fluxo de potência. Trata-se de uma ferramenta gratuita, amplamente utilizada na área de sistemas de potência. O modelo de dados do MATPOWER é bastante claro, todo o sistema é descrito em uma única estrutura, normalmente chamada *mpc* que carrega os arquivos base. O modelo carregado para o MATPOWER possui uma estrutura padrão, contendo matrizes *mpc.bus* (características das barras do sistema), matriz *mpc.branch* (elementos de transmissão) e *mpc.gen* (geração e seus limites). A partir do modelo é possível utilizar rotinas como *runpf* e obter o fluxo de potência do sistema (MATPOWER, 2025)

Considerando que o MATPOWER organiza todas as informações do sistema em uma única estrutura, torna-se necessário explicitar quais campos compõem as tabelas de barra, ramos e geração. O Quadro 7 apresenta uma versão reduzida do conjunto de dados de barras (*mpc.bus*), contendo apenas os campos efetivamente utilizados neste trabalho, conforme adaptação do manual do MATPOWER.

Quadro 7 - Bus Data (*mpc.bus*) - versão reduzida

| nome | coluna | descrição |
|--------|--------|---|
| bus_i | 1 | número da barra |
| type | 2 | tipo de barra (1 = PQ, 2 PV, 3 = referência) |
| Pd | 3 | demanda de potência ativa (MW) |
| Qd | 4 | demanda de potência reativa (MVA _r) |
| Gs | 5 | condutância Shunt |
| Bs | 6 | susceptância Shunt |
| area | 7 | número da área |
| Vm | 8 | magnitude de tensão (p.u) |
| Va | 9 | ângulo de tensão (grau) |
| baseKV | 10 | base de tensão (kV) |

| | | |
|------|----|----------------------------|
| Zone | 11 | zona de perda |
| Vmax | 12 | máxima magnitude de tensão |
| Vmin | 13 | mínima magnitude de tensão |

Fonte: adaptado de Manual MATPOWER

De forma semelhante, o Quadro 8 ilustra o conjunto de dados de ramos (mpc.branch)

Quadro 8 - Branch Data (mpc.branch) - versão reduzida

| nome | coluna | descrição |
|--------|--------|---|
| fbus | 1 | Número da barra de uma das extremidades do circuito (barra DE). |
| tbus | 2 | Número da barra da outra extremidade do circuito (barra PARA). |
| r | 3 | Resistência (p.u) |
| x | 4 | Reatância (p.u) |
| b | 5 | Susceptância (p.u) |
| rateA | 6 | limite de longo prazo carregamento linha (MVA) |
| rateB | 7 | limite de curto prazo carregamento linha (MVA) |
| rateC | 8 | limite de emergência carregamento linha (MVA) |
| ratio | 9 | valor do transformador, 0 para indicar linha de transmissão |
| angle | 10 | ângulo de defasagem do transformador |
| status | 11 | 1 linha em serviço, 0 fora de serviço |
| angmin | 12 | mínimo da diferença de ângulo |
| angmax | 13 | máximo da diferença de ângulo |

Fonte: adaptado de Manual MATPOWER

Por fim, o Quadro 9 ilustra o conjunto de dados de geradores (mpc.gen)

Quadro 9 - Generator Data (mpc.gen) - versão reduzida

| nome | coluna | descrição |
|------|--------|-------------------------|
| bus | 1 | número da barra |
| Pg | 2 | potência ativa (MW) |
| Qg | 3 | potência reativa (MVAr) |

| | | |
|--------|----|---|
| Qmax | 4 | máxima potência reativa (MVA _r) |
| Qmin | 5 | mínima potência reativa |
| Vg | 6 | magnitude de tensão (p.u) |
| mBase | 7 | total MVA base da máquina |
| status | 8 | >= 1 máquina em serviço, <= 0 máquina fora de serviço |
| Pmax | 9 | máxima potência ativa |
| Pmin | 10 | mínima potência ativa |

Fonte: adaptado de Manual MATPOWER

Assim, ao longo deste trabalho, os dados elétricos do modelo DESSEM, serão apresentados em futura seção durante a metodologia do trabalho, onde serão convertidos para os formatos das estruturas de dados do MATPOWER descritas nesta seção, em especial as matrizes de barras (mpc.bus), linhas de transmissão (mpc.branch) e geradores (mpc.gen). Essa conversão viabiliza a utilização direta dos casos do DESSEM como arquivos de entrada do MATPOWER, permitindo a resolução de problemas de fluxo de potência a partir dos dados originais do modelo de programação diária da operação.

3 METODOLOGIA

A metodologia descrita neste capítulo consiste na estratégia utilizada para converter os dados do DESSEM, relacionados ao problema de fluxo de potência do sistema elétrico. Os dados são disponibilizados pela plataforma do SINtegre ONS e a conversão será realizada de modo a viabilizar a entrada dos dados do DESSEM na ferramenta MATPOWER, assim permitindo a realização de estudos de fluxo de potência.

De modo a possibilitar o processamento dos dados, definiu-se uma plataforma específica para facilitar o desenvolvimento do algoritmo. Foi escolhido o *Visual Studio Code* (VS Code) por ser gratuito e multiplataforma. Ao longo do desenvolvimento, recursos como o terminal integrado para execução de comandos, o controle de versão com repositórios Git e a inspeção de variáveis durante a depuração mostraram-se imprescindíveis.

A linguagem de programação utilizada foi Python 3, fixada na versão 3.10.8. A definição da versão favorece a reprodutibilidade dos resultados e evita incompatibilidades de sintaxe entre diferentes instalações. A opção por Python se justifica por sua ampla utilização na área de sistemas de potência e pela facilidade de manipulação de arquivos, strings e estruturas de dados, além de apresentar curva de aprendizado acessível a estudantes de Engenharia Elétrica interessados em reproduzir o algoritmo construído.

O sistema operacional empregado para instalação da IDE e execução da ferramenta foi o Ubuntu 22.04 (LTS), distribuição Linux gratuita e amplamente adotada no meio acadêmico.

Dentre os principais arquivos disponibilizados no deck do DESSEM são inicialmente de interesse o arquivo `desselet.dat` que contém as referências para os arquivos de casos bases, sendo eles `leve.pwf`, `media.pwf` e `pesada.pwf`. Cada um desses arquivos contém as configurações básicas da rede elétrica para algumas combinações de patamar de carga. Além das referências para os casos bases, o arquivo `desselet.dat` também contém referência para arquivos de modificações dos

casos bases, sendo eles variados pelos nomes de pat00.dat a pat48.dat, que possuem informações dos casos bases modificados para a semi-hora específica. O procedimento geral acerca da conversão é composto pelos seguintes passos:

- a) buscar no segundo bloco do arquivo 'desselet.dat' a informação do patamar de carga de acordo com a hora selecionada pelo usuário;
- b) identificar o arquivo de caso base para a semi-hora escolhida atentando-se para o valor da coluna Base de 1 a 3 que relaciona os arquivos de caso base respectivamente por leve.pwf, media.pwf e pesada.pwf;
- c) iniciar a varredura dos dados elétricos do caso base previamente selecionado;
- d) iniciar a varredura do arquivo de modificação do caso base para a semi-hora escolhida, dentro das 48 possibilidades diárias sendo eles variados por pat00.afp a pat48.afp;
- e) formalizar as informações necessárias para gerar as matrizes mpc.bus, mpc.gen e mpc.branch do arquivo MATPOWER.

Em posse do arquivo de entrada do MATPOWER proveniente da conversão através da ferramenta, será possível realizar estudos de fluxo de potência no MATPOWER para cada um dos 48 períodos definidos.

3.1 Arquivo de configuração da ferramenta de conversão

Antes da execução da ferramenta de conversão, é necessário configurar os caminhos de arquivos de entrada e saída no arquivo defines.py. Neste arquivo ficam centralizados o diretório onde estão os arquivos do DESSEM (deck), os nomes dos casos base e o local onde serão gravados os arquivos de saída “.m”. O Quadro 10 apresenta uma descrição breve sobre as variáveis contidas no arquivo defines.py e indica para cada variável se há necessidade de alteração.

Quadro 10 -Arquivo com definições de diretórios para a ferramenta

| Nome da variável | Alterar | Descrição |
|-----------------------------------|---------|--|
| CAMINHO | Sim | Caminho do diretório raiz do programa que conterá o diretório com as scripts da ferramenta de processamento dos dados e o diretório com os dados da revisão do Dessem. |
| BLOCO_REVISAO | Sim | Diretório com os arquivos obtidos do DESSEM, exemplo para revisão 0d29 de 12 Dezembro de 2023: <code>ds_ons_122023_rv0d29</code> . |
| DESSELET_DAT | Não | Arquivo que mapeia o caso base em relação a um estágio específico. |
| LEVE_PWF | Não | Arquivo base para obtenção dos dados da rede ID 1. |
| MEDIA_PWF | Não | Arquivo base para obtenção dos dados da rede ID 2. |
| PESADA_PWF | Não | Arquivo base para obtenção dos dados da rede ID 3. |
| USINA_HIDRAULICA | Não | Arquivo de Usina Hidráulica. |
| USINA_TERMOELETRICA | Não | Arquivo de Usina Termoeletrica. |
| USINA_EOLICA | Não | Arquivo de Usina Eólica. |
| CMO_BARRAS | Não | Arquivo para obtenção dos custos por barra. |
| DIRETORIO_COM_RESULTADOS_DE_SAIDA | Sim | Diretório com os resultados dos arquivos <code>.m</code> de saída. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.2 Fluxo geral de execução do script

O processo de conversão é orquestrado pelo script `main.py`. Ao iniciar, o usuário escolhe entre dois modos de execução: (i) gerar um único arquivo com extensão no formato `.m` para um estágio específico ou (ii) gerar automaticamente os 48 arquivos `.m`, correspondentes aos estágios de 00:00 a 23:30. As entradas de hora e minuto são validadas (hora entre 0 e 23; minutos iguais a 00 ou 30) em caso de inconsistência, a aplicação informa o erro e encerra a execução, sendo necessário que o usuário realize uma nova tentativa. Ao final de cada execução, é exibida a mensagem de conclusão e a indicação da pasta de resultados.

A Figura 4 mostra um exemplo para a execução do algoritmo para um estágio específico através da opção 1, sendo possível escolher as horas entre 0h e 23h30. A entrada de informação pedida ao usuário é validada, sendo obrigatório a passagem de parâmetros informados, caso haja algum erro será avisado e será necessário a re-execução da rotina.

Figura 4 - Executando o algoritmo para um estágio específico

```
▼ TERMINAL
francisco@francisco:~/Documents/TCC2/Projeto/Ferramenta-de-conversao/Script_Captura_dados$ python3 main.py
Qual procedimento voce gostaria de seguir? Gerar arquivo matpower para um estagio especifico ou gerar os 48 estagios?

(1) para estagio especifico
(2) para gerar para os 48 estagios de 00h:00m ate 23h:30m

Entre com sua opcao:
1
Opcao 1 escolhida, sera gerado um arquivo .m para um estagio especifico

Horario entre 00:00 e 23:30
Informe a hora, respeitando as seguintes entradas: 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23
Hora desejada: 00
Informe os minutos, respeitando as seguintes entradas: 00, 30
Minuto desejado: 00
Finalizado, confira na pasta de resultados
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 5 mostra um exemplo para a execução do algoritmo para todos os estágios.

Figura 5 - Executando o algoritmo para todos os estágios

```
✓ TERMINAL
francisco@francisco:~/Documents/TCC2/Projeto/Ferramenta-de-conversao/Script_Captura_dados$ python3 main.py
Qual procedimento voce gostaria de seguir? Gerar arquivo matpower para um estagio especifico ou gerar os 48 estagios?

(1) para estagio especifico
(2) para gerar para os 48 estagios de 00h:00m ate 23h:30m

Entre com sua opcao:
2
Opcao 2 escolhida, sera gerado um arquivo .m para cada um dos estagios
Isso pode levar um tempo, aguarde ate a finalizacao.
Gerando arquivo para o estagio 01...
Gerando arquivo para o estagio 04...
Gerando arquivo para o estagio 03...
Gerando arquivo para o estagio 04...
Gerando arquivo para o estagio 06...
Gerando arquivo para o estagio 06...
Gerando arquivo para o estagio 06...
Gerando arquivo para o estagio 09...
Gerando arquivo para o estagio 09...
Gerando arquivo para o estagio 10...
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.3 Estrutura do arquivo de saída MATPOWER (.m)

Ao fim da execução, o programa grava um arquivo MATPOWER no formato “.m” no diretório de resultados configurado conforme as explicações do

Quadro 11. Vale ressaltar que esse diretório é criado automaticamente, caso ainda não exista. O nome do arquivo de saída segue um padrão iniciado pelo nome do diretório que contém os arquivos do DESSEM, seguido da concatenação de um sublinhado (“_”), da identificação do estágio e, por fim, da extensão.

Cada arquivo é uma função MATLAB cujo nome coincide com o nome do arquivo sem a extensão presente. O arquivo apresenta as informações contidas no Quadro 11 de forma resumida, que serão detalhadas posteriormente.

Quadro 11 - Informações presentes no arquivo de saída MATPOWER

| Informações | Descrição |
|--------------------|--|
| Cabeçalho | Autores da ferramenta e comentários. |
| mpc.version | Arbitrado em 2. |
| mpc.baseMVA | Arbitrado em 100. |
| mpc.bus | Dados de barras. |
| mpc.gen | Dados de geradores. |
| mpc.branch | Dados de interligações de barras. |
| mpc.gencost | Dados de custos de geração. |
| mpc.genadd | Metadados auxiliares de geradores para rastreabilidade de informações. |
| mpc.busadd | Metadados auxiliares de barras para rastreabilidade de informações. |

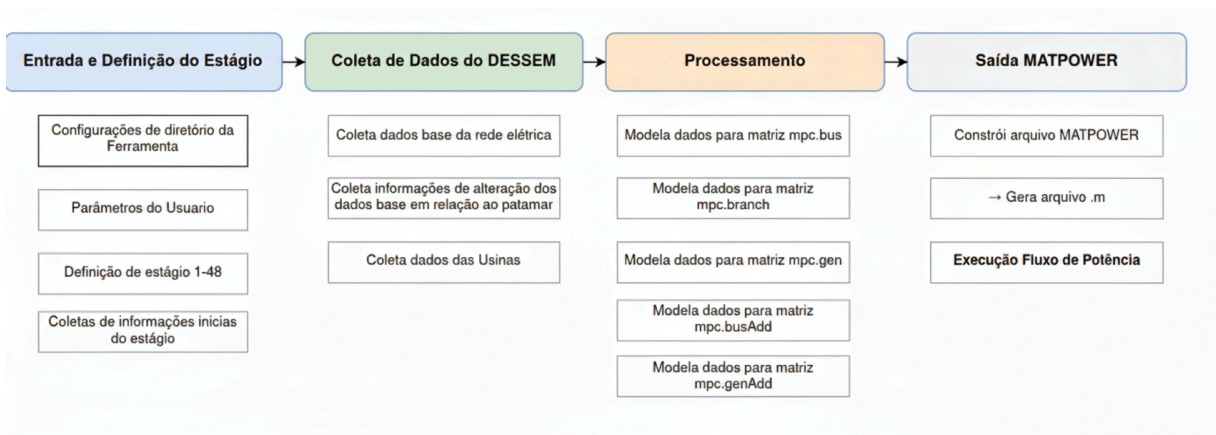
Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4 Módulo de processamento e integração dos dados do DESSEM

A classe `tratamentoGeralArquivos` é o centro da ferramenta de conversão, responsável por integrar as diversas fontes de dados do DESSEM e organizá-las na estrutura de caso do MATPOWER. No código, a implementação é disponibilizada pela classe `tratamentoGeralArquivos` presente no script `mod_Arquivos.py`, instanciada a partir dos parâmetros de execução hora e minuto informados pelo usuário. A partir desses parâmetros é determinado o estágio de interesse, consultando o mapeamento entre estágios e arquivos de entrada, e são identificados, de forma automática, o caso base (por exemplo, leve, média ou pesada) e o arquivo de patamar correspondente.

A Figura 6 reúne uma visão geral das informações que a classe organiza, entradas de execução e de configuração, atributos calculados, dados coletados e métodos de montagem. Nas seções seguintes serão descritas as etapas de coleta de dados e processamento.

Figura 6 - Fluxo completo de processamento



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.1 Identificação do estágio e dos arquivos de entrada

A classe `coletaInfoEstagio` é instanciada na própria inicialização da classe `tratamentoGeralArquivos` dentro do script `mod_arquivos.py`. A classe recebe um estágio entre 1 e 48 e localiza o caso base (“`.pwf`”) com as configurações básicas da rede elétrica e o arquivo de patamar (`patXX.afp`) com as propostas de alteração do caso base. A classe é responsável por ler o arquivo `desselet.dat`, encontra a linha que possui a string “Estágio” seguida do número do estágio, e extrai um conjunto de informações.

O estágio consumido por essa classe é calculado previamente por `defineEstagio` através de hora e minuto informados. É realizado um mapeamento “HH:MM” para “01–48” através de um dicionário. Entradas inválidas são rejeitadas durante execução do `main.py`. A classe `tratamentoGeralArquivos` usa os atributos produzidos por `coletaInfoEstagio` para formar os caminhos absolutos do “`.pwf`” (caso base) e do `.afp` (patamar).

O Quadro 12 reúne informações do processo executado pela classe `coletaInfoEstagio`.

Quadro 12 - Organização das informações da classe `coletaInfoEstagio`

| Item | O que faz | Observações |
|------------|--|--|
| Entrada | Estágio definido (“01”–“48”), intervalo de meia hora. | Obtido por <code>defineEstagio(hora, minuto)</code> . |
| Leitura | Abre <code>desselet.dat</code> e procura <code>EstagioXX</code> . | Seleciona a linha correspondente ao estágio. |
| Extração | <code>anoMesDia, hora, minuto, base, arquivoPatamar</code> . | Extrai informações da linha para identificar o caso base e o patamar. |
| Mapeamento | <code>base</code> → { <code>leve.pwf, media.pwf, pesada.pwf</code> } | Base pode ser composta pelos IDs (1, 2 e 3), que respectivamente identificam os arquivos do caso base <code>leve.pwf</code> , <code>media.pwf</code> e <code>pesada.pwf</code> . |
| Saídas | <code>arquivoBase.pwf, arquivoPatamar.afp</code> . | Objetivo final: obter o nome do arquivo caso base (rede elétrica para a meia hora definida) e o nome do arquivo patamar (alterações na rede elétrica para a meia hora). |
| Erros | Base não mapeada ou falha de leitura → <code>sys.exit()</code> . | Falha de leitura ou base sem mapeamento encerra a execução com mensagem. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.2 Extração dos blocos do caso base (.pwf)

Nesta etapa de coleta dos dados de blocos do caso-base tem como objetivo extrair dos arquivos de referência do DESSEM (`leve.pwf`, `media.pwf` e `pesada.pwf`), as informações elétricas fundamentais que serão convertidas para a estrutura de dados do MATPOWER. A leitura é sequencial, identifica o início pelos mnemônicos DBAR, DLIN, DGLT, DGBT, DUSI, descarta cabeçalhos e encerra cada bloco ao encontrar o marcador 99999. Cada linha útil é interpretada conforme manual e convertida em registros estruturados, organizados em dicionários por tipo de dado (barras, ramos e vínculos usina-barra).

Nem todas as informações obtidas foram posteriormente aproveitadas para construir as matrizes de entrada do MATPOWER. Entre os blocos presentes

nos casos bases, destacam-se DBAR, DLIN, DGLT, DGBT e DUSI, dos quais foram recolhidas as características do sistema elétrico para posterior conversão para o MATPOWER. A seguir, são descritos esses blocos em maior detalhe.

O bloco DBAR, possui informações referente às características das barras da rede elétrica e possui a estrutura definida pelo Quadro 13.

Quadro 13 - Informações do bloco DBAR

| Campo | Colunas | Descrição |
|---------------------------|----------------|--|
| Número | 01–05 | Número de identificação da barra CA. |
| Estado | 07–07 | Estado da barra: L – ligada D – desligada |
| Tipo | 08–08 | Tipo de barra: 0 – carga (PQ); 1 – tensão regulada (PV); 2 – referência (V θ); |
| Grupo de Base de Tensão | 09–10 | Identificador do grupo base de tensão (até dois caracteres alfanuméricos), definido no Código de Execução DGBT ; valores não definidos terão 1 kV. |
| Nome | 11–22 | Identificação alfanumérica da barra. |
| Grupo de Limite de Tensão | 23–24 | Identificador do grupo de limite de tensão (até dois caracteres alfanuméricos), definido no Código de Execução DGLT ; valores não definidos terão limites de 0,8 p.u. (mínimo) e 1,2 p.u. (máximo) . |
| Tensão | 25–28 | Magnitude inicial da tensão, em p.u. |
| Ângulo | 29–32 | Ângulo de fase inicial da tensão da barra, em graus. |
| Geração Ativa | 33–37 | Valor de geração de potência ativa na barra, em MW. |
| Geração Reativa | 38–42 | Valor de geração de potência reativa na barra, em Mvar. |
| Geração Reativa Mínima | 43–47 | Valor do limite mínimo de geração de potência reativa na barra, em Mvar. |
| Geração Reativa Máxima | 48–52 | Valor do limite máximo de geração de potência reativa na barra, em Mvar. |
| Carga Ativa | 59–63 | Valor da carga ativa da barra, em MW. |
| Carga Reativa | 64–68 | Valor da carga reativa da barra, em Mvar. |
| Capacitor/Reator | 69–73 | Potência reativa injetada na barra (em Mvar) |
| Área | 74–76 | Número da área à qual pertence a barra. |

Fonte: Adaptado de Manual DESSEM V09.

O bloco DLIN, possui informações referente às linhas de transmissão da rede elétrica e possui a estrutura definida pelo Quadro 14.

Quadro 14 - Informações do bloco DLIN

| Campo | Colunas | Descrição |
|---------------------|----------------|---|
| Da Barra | 01–05 | Número da barra de uma das extremidades do circuito (barra DE). |
| Abertura Da Barra | 06–06 | Situação da barra DE (L – Ligado, D – Desligado). |
| Abertura Para Barra | 10–10 | Situação da barra PARA (L – Ligado, D – Desligado). |
| Para Barra | 11–15 | Número da barra da outra extremidade do circuito (barra PARA). |
| Circuito | 16–17 | Número de identificação do circuito. |
| Estado | 18–18 | Estado do circuito (L – Ligado, D – Desligado). |
| Resistência | 21–26 | Valor da resistência do circuito, em %. |
| Reatância | 27–32 | Valor da reatância do circuito, em %. |
| Susceptância | 33–38 | Valor da susceptância do circuito, em %. |
| Tap | 39–43 | Valor do tap referido à barra definida no campo <i>Da Barra</i> , em p.u. |
| Defasagem | 54–58 | Valor do ângulo de defasamento em graus, para transformadores defasadores. É aplicado em relação ao ângulo da barra definida no campo <i>Da Barra</i> . |

Fonte: Adaptado de Manual DESSEM V09.

O bloco DUSI, possui informações referente às conexões das unidades geradoras (hidroelétricas e termoelétricas) às barras da rede elétrica e possui a estrutura definida pelo Quadro 15.

Quadro 15 - Informações do bloco DUSI

| Campo | Colunas | Descrição |
|-----------------|----------------|--|
| Número DUSI | 01–04 | Número de identificação do elemento DUSI |
| Barra | 07–10 | Número da barra à qual o elemento está conectado |
| Nome Usina | 13–24 | Nome do elemento, identificando a usina à qual pertence |
| Número unidades | 27–29 | Para usinas hidráulicas: número de unidades geradoras que compõem o elemento. Para usinas térmicas: número de identificação da unidade da usina a compor o elemento. |

| | | |
|----------------------|-------|---|
| Geração mínima | 33–38 | Geração ativa mínima, para cada unidade geradora do elemento |
| Geração máxima | 39–44 | Geração ativa máxima, para cada unidade geradora do elemento |
| Número Cadastro DUSI | 73–76 | Número de cadastro da usina à qual pertencem as unidades geradoras |
| Número grupo | 77–77 | Número do grupo da usina à qual as unidades geradoras pertencem (somente para o caso das unidades hidroelétricas) |
| Mnemônico | 78–78 | Mnemônico de identificação do tipo da usina (H – Hidroelétrica, T – Termoelétrica) |

Fonte: Adaptado de Manual DESSEM V09.

O bloco DGLT, possui informações referente aos grupos de limites de tensão para as barras da rede elétrica e possui a estrutura definida pelo Quadro 16.

Quadro 16 - Informações do bloco DGLT

| Campo | Colunas | Descrição |
|---------------|----------------|--|
| Grupo | 01-02 | Identificador do grupo de limite de tensão, como definido no campo <i>Grupo Limite de Tensão</i> do código de execução DBAR. |
| Limite Mínimo | 04-08 | Valor mínimo de tensão a ser associado ao grupo de limite de tensão, em p.u (default 0,8). |
| Limite Máximo | 10-14 | Valor máximo de tensão a ser associado ao grupo de limite de tensão, em p.u (default 1,2). |

Fonte: Adaptado de Manual DESSEM V09.

O bloco DGBT, possui informações referentes aos diferentes níveis de tensão da rede elétrica, organizados em grupos de tensão. Cada barra do sistema possui um nível de tensão de referência expresso em p.u. Cada registro do bloco segue a estrutura definida pelo Quadro 17.

Quadro 17 - Informações do bloco DGBT

| Campo | Colunas | Descrição |
|--------------|----------------|--|
| Grupo | 01-02 | Identificador do grupo de limite de tensão, como definido no campo <i>Grupo de Limite de Tensão</i> no bloco DBAR. |
| Tensão | 04-08 | Tensão base associada ao grupo, em kV. |

Fonte: Adaptado de Manual DESSEM V09.

3.4.3 Ajuste de cargas por patamar (arquivos patXX.afp)

Após a identificação dos dados da rede elétrica para o caso base, é dado início a coleta de informações referente ao patamar identificados por patXX.afp, variando de 00 a 48 para cada semi-hora. Como a demanda do sistema varia ao longo do dia, esses arquivos fornecem fatores de correção das cargas do caso base para cada patamar semi-horário. Assim, os valores de carga são ajustados para representar de forma mais realista o comportamento da rede em cada instante do horizonte de estudo.

A classe `coletaBlocosArquivosPatamar` dentro do script `comum_functions_patamar`, é responsável por processar esses arquivos. A lógica implementada é semelhante à aplicada no caso base. O arquivo é percorrido sequencialmente em busca de blocos delimitados, nesse caso o único bloco de interesse é o DANC MUDA.

O bloco DANC MUDA contém os fatores de correção de carga por área, que serão armazenados e aplicados posteriormente nas cargas obtidas do caso base. Durante a varredura, a classe identifica o início do bloco no arquivo através da ocorrência da string DANC MUDA e o término quando encontra a marcação 9999. Cada linha encontrada é guardada em uma estrutura de dicionário.

O Quadro 18 resume a estrutura de informações que a rotina armazena.

Quadro 18 - Informações do bloco DANC MUDA

| Campo | Colunas | Descrição |
|----------------------|----------------|---|
| Número | 01-02 | Número da área, como definido no campo <i>Área do Código de Execução</i> no bloco DBAR. |
| Fator de Carga Ativa | 05-11 | Fator a ser aplicado à parte ativa das cargas da área especificada, em %. |

Fonte: Adaptado de Manual DESSEM V09.

3.4.4 *Consolidação dos dados de geração (hidro, termo e eólica)*

A classe `coletaDadosUsinas` é responsável por organizar as informações referente a geração elétrica proveniente das usinas hidrelétricas, termelétricas e eólicas. A coleta é realizada através dos arquivos disponibilizados pelo modelo: `pdo_hidr.dat`, `pdo_term.dat` e `pdo_eolica.dat`.

A classe é instanciada recebendo três parâmetros, sendo eles os caminhos para os três arquivos de usinas, além do estágio específico de estudo pretendido pelo usuário. Na sequência são executados os métodos específicos responsáveis pela varredura de cada arquivo. O resultado é um conjunto de dicionários contendo para cada usina, atributos como potência gerada, limites operacionais e associações com barras do sistema. Essa etapa é muito importante para posteriormente permitir que os geradores sejam representados corretamente nas matrizes `mpc.gen` do MATPOWER. A leitura para cada um dos tipos de usinas é descrito nas seções seguintes.

3.4.4.1 *Leitura dos dados das usinas hidrelétricas (pdo_hidr.dat)*

O Método `varreArquivoUsinaHidraulica` da classe `coletaDadosUsinas` é responsável por percorrer o arquivo `pdo_hidr.dat` e extrair os registros referentes às usinas hidrelétricas no estágio específico na coluna representada pelo IPER. O processo dá início a identificação do bloco IPER, que delimita os dados por período. Após essa marcação, cada linha do arquivo é decomposta em um vetor de valores, que são interpretados pela função auxiliar `getusinaHInformacoesDalinha`.

| | | |
|-----------------------------|----|---|
| Número de cadastro da Usina | 2 | identificador único da usina Térmica ou Hidráulica |
| Usina | 3 | nome da Usina |
| Sistema | 4 | submercado |
| Conjunto | 5 | grupo que reúne unidades |
| Unidade | 6 | unidade que pertence a um grupo |
| Geração-MW | 32 | geração ativa da usina |
| Geração-Máxima-MW | 33 | máxima geração ativa da usina - sem resultado, só apresenta somatório do conjunto |
| Capacidade-MW | 34 | máxima geração ativa por unidade |
| Estado | 35 | ligada ou desligada |

Fonte: Elaboração própria (2025).

O algoritmo percorre o conjunto de informações criando uma chave principal na estrutura de dicionários com o número de cadastro da usina. A Figura 8 faz uma representação lógica de como os dados foram armazenados através de uma estrutura de dados que o python é capaz de armazenar, o dicionário. Na Figura 8 tem-se a ilustração da representação dos dados armazenados para o algoritmo 7 (Usina Hidráulica M. DE MORAES), que é a chave de cadastro da usina para o primeiro estágio do bloco de arquivos da data 20/12/2023. O valor da chave de cadastro da usina é um novo dicionário contendo chaves de grupos de unidades, sendo composto pelos grupos 1, 2, 3, 4 e 99. Cada grupo possui um novo dicionário que armazena chaves referente às unidades pertencentes ao grupo.

Na Figura 8 cada unidade pertencente ao grupo possui as informações que foram descritas no Quadro 16, devido a quantidade de dados, as informações foram omitidas.

Figura 8 - Estrutura dos dados da Usina Hidráulica M. DE MORAES

```
{
  7 : {
    1: {
      1: {...},
      2: {...},
    },
    2: {
      1: {...},
      2: {...},
    },
    3: {
      1: {...},
      2: {...},
      3: {...},
      4: {...},
    },
    4: {
      1: {...},
      2: {...},
    },
    99: {
      99: {...},
    },
  },
}
```

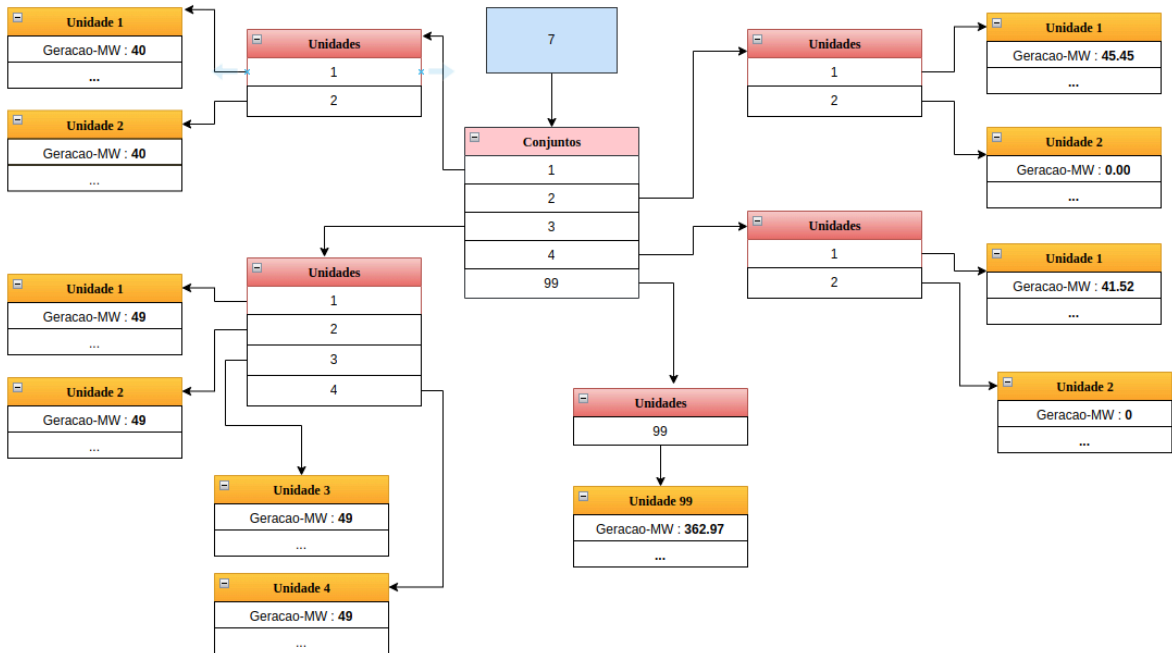
Fonte: Elaboração própria (2025).

Esse formato hierárquico é fundamental para manter a consistência entre os dados do DESSEM e o mapeamento posterior para aproveitamento das estruturas na construção do mpc.gen do MATPOWER.

Vale ressaltar que o conjunto 99 reúne a geração total de todas as unidades da Usina, posteriormente o conjunto 99 não foi considerado como um gerador conectado à barra, apesar de suas informações terem sido guardadas pela rotina nessa fase.

Por sua vez, na Figura 9 tem-se essa mesma representação de armazenamento em alto nível.

Figura 9 - Representação alto nível da Usina Hidráulica M. DE MORAES



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.4.2 Leitura dos dados das usinas termelétricas (pdo_term.dat)

O Método `varreArquivoUsinaTermoeletrica` da classe `coletaDadosUsinas` é bastante semelhante ao método `varreArquivoUsinaHidraulica` mencionado anteriormente, `varreArquivoUsinaTermoeletrica` é responsável por percorrer o arquivo `pdo_term.dat` e extrair os registros referentes às usinas termelétricas no estágio específico na coluna representada pelo IPER. O processo dá início a identificação do bloco IPER, que delimita os dados por período. O cabeçalho de informações nesse caso difere levemente do caso anterior, há uma linha a mais que deve ser ignorada antes do início da linha inicial com informações do primeiro estágio. Novamente após a marcação, cada linha do arquivo é decomposta em um vetor de

valores, que são interpretados pela função auxiliar `getusinaTInformacoesDalinha`.

A Figura 10 mostra uma parte de como as informações estão organizadas no arquivo `pdo_term.dat`

Figura 10 - Organização das informações do arquivo de termelétrica

| IPER | Pat | USIT | Nome | Unid | Sist | Geracao | GMin | GMax | Capacidade | L/D | CustoLinear |
|------|------|------|-------------|------|------|---------|---------|---------|------------|-----|-------------|
| | | | | | | MW | MW | MW | MW | | \$/ (MWh) |
| 1 | LEVE | 1 | ANGRA 1 | 1 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 640.00 | D | 31.17 |
| 1 | LEVE | 1 | ANGRA 1 | 99 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 640.00 | - | |
| 1 | LEVE | 4 | ST. CRUZ 34 | 3 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 218.00 | D | 310.41 |
| 1 | LEVE | 4 | ST. CRUZ 34 | 4 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 218.00 | D | 310.41 |
| 1 | LEVE | 4 | ST. CRUZ 34 | 99 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 436.00 | - | |
| 1 | LEVE | 12 | GUIABA G CC | 1 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 245.00 | D | 0.00 |
| 1 | LEVE | 12 | GUIABA G CC | 2 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 245.00 | D | 0.00 |
| 1 | LEVE | 12 | GUIABA G CC | 3 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 490.00 | D | 0.00 |
| 1 | LEVE | 12 | GUIABA G CC | 99 | SE | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 980.00 | - | |
| 1 | LEVE | 13 | ANGRA 2 | 1 | SE | 1350.00 | 0.00 | 1350.00 | 1350.00 | L | 20.12 |
| 1 | LEVE | 13 | ANGRA 2 | 99 | SE | 1350.00 | 1350.00 | 1350.00 | 1350.00 | - | |

Fonte: Elaboração própria (2025).

O cabeçalho de informações com os dados das termelétricas é menor do que o contido no arquivo `pdo_hidr.dat` para hidráulicas, a Figura 10 conseguiu reunir ele por completo. Para esse caso, as informações extraídas são: número de cadastro da usina, unidade geradora, potência gerada no estágio, capacidade instalada e limite operacional de geração. O Quadro 20 resume a estrutura que a rotina armazena de informações, exceto tipo de usina.

Quadro 20 - Informações relativas às usinas termelétricas

| Campo | Posição no vetor | Descrição |
|-----------------------------|------------------|--|
| Estágio | 0 | índice do período |
| Patamar | 1 | leve, média ou pesada |
| Número de cadastro da Usina | 2 | identificador único da usina Térmica ou Hidráulica |
| Usina | 3 | nome da Usina |
| Unidade | 4 | unidade geradora |
| Sistema | 5 | submercado |
| Geração-MW | 6 | geração ativa |

| | | |
|-------------------|----|----------------------------------|
| Geração-Mínima-MW | 7 | geração ativa mínima |
| Geração-Máxima-MW | 8 | geração ativa máxima |
| Capacidade-MW | 9 | geração ativa máxima considerada |
| Estado | 10 | ligada ou desligada |
| Custo | 11 | custo operativo por MWh |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Novamente o algoritmo percorre o conjunto de informações criando uma chave principal na estrutura de dicionários com o número de cadastro da usina. No caso do exemplo da Figura 11, é a representação dos dados armazenados para a chave de valor 25 (Usina Jorge Lacerda B), que é a chave de cadastro da usina para o primeiro estágio do bloco de arquivos da data 20/12/2023. O valor da chave de cadastro da usina é um novo dicionário contendo chaves de unidades, sendo composto pelas unidades 5 e 6. Cada unidade possui um dicionário que contempla as informações que foram descritas no Quadro 20. Os valores que são armazenados nas unidades 5 e 6 também foram omitidos devido a quantidade de dados, mas os valores armazenados são referentes ao Quadro 20.

Figura 11 - Estrutura dos dados da Usina Jorge Lacerda B

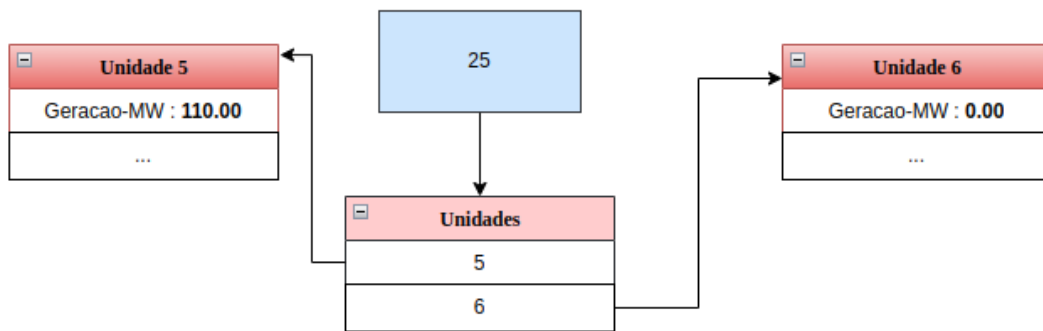
```
{
  25 : {
    5: {...},
    6: {...},
  },
}
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

No contexto das usinas termelétricas, o conjunto 99 reúne a geração total de todas as unidades da usina. Esse conjunto não é considerado como um gerador associado a uma barra, por isso suas informações não são preservadas nessa fase do processamento.

A Figura 12 ilustra a mesma representação de armazenamento em alto nível.

Figura 12 - Representação alto nível da Usina Termelétrica Jorge Lacerda B



Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.4.3 Leitura dos dados das usinas eólicas (*pdo_eolica.dat*)

O Método `varreArquivoUsinaEolica` da classe `coletaDadosUsinas` é bem semelhante aos métodos `varreArquivoUsinaHidraulica` e `varreArquivoUsinaTermoeletrica` mencionados anteriormente, `varreArquivoUsinaEolica` é responsável por percorrer o arquivo `pdo_eolica.dat` e extrair os registros referentes às usinas eólicas no estágio específico na coluna representada pelo IPER. O processo dá início a identificação do bloco IPER, que delimita os dados por período. Cada linha do arquivo é decomposta em um vetor de valores, que são interpretados pela função auxiliar `getusinaEInformacoesDaLinha`.

A Figura 13 ilustra parcialmente a organização das informações presente arquivo pdo_eolica.dat.

Figura 13 - Organização das informações do arquivo de Eólica

| IPER | NUM | Nome | Barra | Submerc | Potencia | FatCap | Geracao | Geracao Operada |
|------|-----|-------------|-------|---------|----------|--------|---------|-----------------|
| 1 | 1 | 5G260_MMGD | 260 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 2 | A3AREA_AREA | 260 | SE | 9999.0 | 1.000 | 2.0 | 2.0 |
| 1 | 3 | 5G262_MMGD | 262 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 4 | 5G263_MMGD | 263 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 5 | 5G266_MMGD | 266 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 6 | 5G271_MMGD | 271 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 7 | 5G272_MMGD | 272 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 8 | 5G273_MMGD | 273 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 9 | 5G274_MMGD | 274 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 10 | A3BRAC_BRAC | 274 | SE | 9999.0 | 1.000 | 4.0 | 4.0 |
| 1 | 11 | 5G275_MMGD | 275 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |
| 1 | 12 | 5G276_MMGD | 276 | SE | 9999.0 | 1.000 | 0.0 | 0.0 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 13 conseguiu reunir os dados das colunas das eólicas por completo, apesar de não representar todas as linhas do arquivo. Para esse caso, as informações extraídas são: número de identificação da usina, estágio, nome, barra, subsistema, geração operada e tipo. O Quadro 21 resume a estrutura que a rotina armazena de informações, exceto geração mínima e tipo de usina.

Quadro 21 - Informações relativas às usinas eólicas

| Campo | Posição no vetor | Descrição |
|-----------------|------------------|--|
| Estágio | 0 | Índice do período. |
| Número | 1 | Número de identificação da primeira usina conectada à barra. |
| Nome | 2 | Nome da usina. |
| Barra | 3 | Número da barra de conexão com a rede elétrica. |
| Subsistema | 4 | Submercado onde está alocada a usina. |
| Geração Operada | 8 | Geração realizada efetivamente. |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Para organizar as informações, o algoritmo percorre o conjunto de registros e constrói um dicionário indexado pelo número da barra à qual cada usina eólica está conectada. Assim, a barra passa a ser a chave principal da estrutura.

Sempre que um uma nova linha do arquivo faz referência a uma barra já existente, o valor de geração operada é acumulado e o nome da usina é concatenada ao nome previamente armazenado, utilizando o operador pipe “|” como separador. A Figura 14 apresenta a estrutura resultante para a barra 322 no estágio 20, tomando como exemplo o arquivo correspondente a data de 20/12/2023.

Figura 14 - Estrutura dos dados de eólica para barra 322

```
{
  '322': {
    'Estagio': '20',
    'Numero': '42',
    'Nome': '5G322 _MMGD | A2CFLO _CAMP | A2COCF _CORU | ASCRDO _Cerr | ASUTF _FRUT',
    'Barra': '322',
    'Subsistema': 'SE',
    'Geracao-Operada': '58.0',
    'Tipo': 'E0'
  }
}
```

Fonte: Elaboração própria (2025).

3.4.5 Montagem das estruturas MATPOWER

Após reunir todas as informações da rede elétrica para uma semi-hora específica é preciso realizar a associação dos dados para a estrutura de entrada do MATPOWER, sendo elas `mpc.bus`, `mpc.branch`, `mpc.gen`, `mpc.busadd` e por fim `mpc.genadd`. Para realizar a conversão foram utilizados métodos da classe `TratamentoGeralArquivos` de tal forma que foi fácil recuperar os dados armazenados anteriormente. Destaca-se que as matrizes `mpc.busadd` e `mpc.genadd` são matrizes de informações adicionais do sistema, tais como tipo de usina e cmo da barra, não sendo necessárias para resolver o problema de fluxo de potência. No entanto, elas fornecem informações importantes para compreender a topologia do sistema, nesse sentido também foram armazenadas no mesmo arquivo do MATPOWER.

3.4.5.1 Construção da matriz `mpc.bus`

A matriz `mpc.bus` reúne as barras que serão consideradas no caso do MATPOWER. Grande parte de suas informações são originadas do bloco DBAR do

arquivo do DESSEM, a partir do qual a ferramenta verifica quais barras estão ativas e descarta as que estão desligadas.

O Quadro 22 ilustra as informações presentes na matriz mpc.bus e também faz referência aos detalhes de implementação que são detalhados logo abaixo do quadro.

Quadro 22 - Informações relativas a construção da matriz mpc.bus

| Campo | Coletado DESSEM | Detalhes de implementação |
|--------------|------------------------|----------------------------------|
| bus_i | DBAR colunas 0–5 | Ver item a |
| type | DBAR coluna 7 | Ver item b |
| Pd | DBAR colunas 58–63 | Ver item c |
| Qd | DBAR colunas 63–68 | Ver item d |
| Gs | 0 | Ver item e |
| Bs | DBAR colunas 68–73 | Ver item f |
| area | DBAR colunas 73–76 | Ver item g |
| Vm | DBAR colunas 24–28 | Ver item h |
| Va | DBAR colunas 28–32 | Ver item i |
| baseKV | DGBT colunas 3–8 | Ver item j |
| zone | 0 | Ver item k |
| Vmax | DGLT colunas 9–14 | Ver item l |
| Vmin | DGLT colunas 3–8 | Ver item m |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os detalhes de implementação do Quadro 22 são detalhados a seguir:

a) **bus_i: identificação da barra;**

- Se Estado DBAR coluna 6 for 'D' Desligado a barra não é inserida na matriz mpc.bus.

b) **type: tipo da barra (PQ, PV ou Vδ);**

- Se DBAR coluna 7 não apresentar um valor, é assumido valor default DESSEM PQ = 0;

- É realizado conversão de tipo de barra DESSEM PQ=0,PV=1,REFERENCIA=2 para MATPOWER PQ=1,PV=2,REFERENCIA=3;

- Se a barra for do tipo PV=2 e não apresentar geração hídrica ou térmica ela é convertida para PQ=1.

c) Pd: demanda de potência ativa;

- Se DBAR colunas 58-63 não apresentar um valor, é assumido valor 0;

- Se área DBAR colunas 73-76 estiver presente em área DANC MUDA colunas 0-3 aplica-se em Pd fator de correção de carga DANC MUDA colunas 4-10;

- Se bus_i for uma barra contida nas informações armazenadas de Usina Eólica Pd é subtraído pela Geração Operada da Usina.

d) Qd: demanda de potência reativa;

- Se DBAR colunas 63-68 não apresentar um valor, é assumido valor 0.

e) Gs: condutância shunt;

- Sem correspondente.

f) Bs: susceptância shunt;

- Se DBAR colunas 68-73 não apresentar um valor, é assumido valor 0.

g) area: número da área;

- Nenhum detalhe importante de implementação.

h) Vm: magnitude de tensão;

- Coletado Grupo de base de tensão DBAR colunas 8-10 com isso é encontrado a tensão nominal grupo base de tensão em DGBT para cálculo de Vm em pu.

i) Va: ângulo de tensão;

- Nenhum detalhe importante de implementação.

j) baseKV: base de tensão;

- Nenhum detalhe importante de implementação.

k) zone: zona de perda;

- Nenhum detalhe importante de implementação.

l) Vmax: máxima magnitude de tensão;

- Se DGLT colunas 9-14 não apresentar um valor, é assumido valor 1.2.

m) Vmin: mínima magnitude de tensão;

- Se DGLT colunas 3-8 não apresentar um valor, é assumido valor 0.8.

3.4.5.2 Construção da matriz mpc.branch

A matriz mpc.branch descreve as interligações entre as barras do sistema no formato do MATPOWER. Suas informações vêm principalmente do bloco DLIN do arquivo DESSEM, onde estão definidas as linhas de transmissão. A partir desse bloco, a ferramenta identifica a barra de origem e destino, verifica quais ramos estão ligados e descarta os desligados. Nessa etapa também são carregados os parâmetros elétricos resistência, reatância e susceptância, assim como os limites de fluxo de potências das linhas.

O Quadro 23 apresenta os campos que compõem a matriz mpc.branch e também faz referência aos detalhes de implementação que são detalhados logo abaixo do quadro.

Quadro 23 - Informações relativas a construção da matriz mpc.branch

| Campo | Coletado DESSEM | Detalhes de Implementação |
|--------------|------------------------|----------------------------------|
| fbus | DLIN colunas 0–5 | Ver item a |
| tbus | DLIN colunas 10–15 | Ver item b |
| r | DLIN colunas 20–26 | - |
| x | DLIN colunas 26–32 | - |
| b | DLIN colunas 32–38 | - |
| rateA | DLIN colunas 64–68 | - |
| rateB | DLIN colunas 64–68 | - |
| rateC | DLIN colunas 68–72 | - |
| ratio | DLIN colunas 38–43 | Ver item c |
| angle | DLIN colunas 53–58 | Ver item d |
| status | DLIN coluna 17 | Ver item e |
| angmin | -360 | Ver item f |
| angmax | +360 | Ver item g |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os detalhes de implementação do Quadro 23 são detalhados abaixo.

a) fbus: barra de origem da linha de transmissão;

- Se a barra 'from' ou 'to' não estiverem contidas nas barras da matriz mpc.bus não são inseridas em mpc.branch.

b) tbus: barra de destino da linha de transmissão;

- Se a barra 'from' ou 'to' não estiverem contidas nas barras da matriz mpc.bus não são inseridas em mpc.branch.

c) ratio: valor do transformador;

- Se DLIN colunas 38-43 não apresentar um valor, é assumido valor 0.

d) angle: ângulo de defasagem do transformador;

- Se DLIN colunas 53-58 não apresentar um valor, é assumido valor 0.

e) status: estado operativo da linha;

- Se DLIN coluna 17 não apresentar um valor, é assumido valor 1, circuito ligado;

- Se DLIN coluna 17 apresentar valor 'D', indica circuito desligado, status recebe valor 0.

f) angmin: mínimo da diferença de ângulo;

- Sem correspondente.

g) angmax: máximo da diferença de ângulo;

- Sem correspondente.

3.4.5.3 Construção da matriz mpc.gen

A matriz mpc.gen lista os geradores que vão aparecer no caso do MATPOWER. Ela é montada a partir do bloco DUSI do DESSEM, que informa em qual barra cada unidade está conectada. Primeiro a ferramenta confere se a barra existe no DBAR e se o gerador está ativo. Os que não atendem a isso são ignorados. Depois disso são preenchidos os valores de potência ativa (P_g , P_{max} e P_{min}) vindos dos dados das usinas.

O Quadro 24 apresenta os campos que compõem a matriz mpc.gen e também faz referência aos detalhes de implementação que são detalhados logo abaixo do quadro.

Quadro 24 - Informações relativas a construção da matriz mpc.gen

| Campo | Coletado DESSEM | Detalhes de Implementação |
|--------------|------------------------|----------------------------------|
| bus | DUSI colunas 6–11 | Ver item a |
| Pg | – | Ver item b |
| Qg | DBAR colunas 37–42 | Ver item c |
| Qmax | DBAR colunas 47–52 | - |
| Qmin | DBAR colunas 42–47 | - |
| Vg | DBAR colunas 24–28 | Ver item d |
| mBase | 100 MVA | Ver item e |
| Pmax | – | Ver item f |
| Pmin | – | Ver item g |
| Pc1 | 0 | - |
| Pc2 | 0 | - |
| Qc1min | 0 | - |
| Qc1max | 0 | - |
| Qc2min | 0 | - |
| Qc2max | 0 | - |
| ramp_agc | 0 | - |
| ramp_10 | 0 | - |
| ramp_30 | 0 | - |
| ramp_q | 0 | - |
| apf | 0 | - |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os detalhes de implementação do Quadro 24 são detalhados abaixo.

a) bus: identificador da barra que o gerador está conectado;

- Se DUSI colunas 6-11 não estiver presente nas barras coletadas em DBAR, a barra não é inserida no mpc.gen;
- Se a barra for do tipo 1 PQ, não é inserida no mpc.gen.

b) Pg: potência ativa;

- É montado com base no Número DUSI, se for tipo 'T' térmica recebe valor armazenado de informações de Usina Térmica, Geração-MW;
- Se for tipo 'T' térmica recebe valor armazenado de informações de Usina Térmica, Geração-MW;
- Se for tipo 'H' Hidráulica, recebe valor armazenado de informações de Usina Hidráulica, Geração-MW. É somado as gerações das unidades do grupo pertencente.

c) Qg: potência reativa;

- O QG obtido em DBAR é dividido pelo número de unidades geradoras da barra.

d) Vg: magnitude de tensão;

- Dividido por 1000V para transformar em pu.

e) mBase: base de potência da unidade geradora;

- Arbitrado.

f) Pmax: máxima potência ativa;

- Se Pg for proveniente de Termoelétrica pego informação de GMAX MW obtido em pdo_term.dat;
- Se Pg for proveniente de Hidráulica como as informações obtidas através de GMAX de pdo_hidr.dat de cada unidade pertencente ao grupo.

g) Pmin: mínima potência ativa;

- Se Pg for proveniente de Termoelétrica pego informação de GMIN MW obtido em pdo_term.dat;
- Se Pg for proveniente de Hidráulica arbitro em 0. Não possui informação em pdo_hidr.dat.

3.4.5.4 Geração dos metadados de barras *mpc.busadd*

A matriz *mpc.bus* é composta de tudo que o MATPOWER precisa para resolver o fluxo de potência, porém, a criação de uma estrutura auxiliar para garantir uma rastreabilidade se faz necessário para facilitar análises posteriores dos resultados.

A geração desses metadados é feita no método `montandoEstruturaMpcBusAdd()` da classe `tratamentoGeralArquivos`, no script `mod_arquivos.py`. O método percorre as mesmas barras já lidas do bloco DBAR (as mesmas usadas em *mpc.bus*) e, para cada barra ligada, monta um dicionário com informações adicionais. Barras em estado “D” não são incluídas, exatamente como já ocorre na montagem de *mpc.bus*.

O Quadro 25 ilustra os campos que são incluídos na matriz de rastreabilidade *mpc.busadd*. Os detalhes de implementação são detalhados logo após o Quadro 25.

Quadro 25 - Informações relativas a construção da matriz *mpc.busadd*

| Campo | Detalhes de Implementação |
|-----------------------|---------------------------|
| <code>bus_i</code> | Ver item a |
| <code>bus_name</code> | Ver item b |
| <code>bus_subs</code> | Ver item c |
| <code>gen_type</code> | Ver item d |
| <code>gen_name</code> | Ver item d |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os detalhes de implementação do Quadro 25 são detalhados abaixo.

- a) **`bus_i`** - Número da barra como veio do DBAR;
- b) **`bus_name`** - O algoritmo tenta utilizar o nome da barra coletado em `pdo_cmobar.dat`, se não existir coloca um tracejado;
- c) **`bus_subs`** - Se o arquivo `pdo_cmobar.dat` obtiver coloca o que encontrar (SE, S, NE, N) para a barra, caso contrário adiciona um tracejado;

d) **gen_type/name** - Esses dois campos tentam relacionar uma possível usina que esteja conectada a barra. Nem toda barra conterá um gerador, caso identifique um gerador na barra o identifica através de mnemônicos (H, T e EO) respectivamente representando Hidráulica, Térmica e Eólica.

3.4.5.5 Geração dos metadados de geradores *mpc.genadd*

A matriz *mpc.gen* reúne apenas as informações elétricas que o MATPOWER precisa (barra, potência ativa, reativa, limites etc.). Porém, durante a conversão dos arquivos do DESSEM é possível identificar de qual usina, tipo de geração e até de qual conjunto/unidade aquele gerador se origina. Como essas informações não existem no formato padrão do MATPOWER, foi criada uma estrutura auxiliar chamada *mpc.genadd* para preservar essa origem e facilitar a rastreabilidade.

O Quadro 26 ilustra os campos que são incluídos na matriz de rastreabilidade *mpc.genadd*. Os detalhes de implementação são detalhados logo após o Quadro 26.

Quadro 26 - Informações relativas a construção da matriz *mpc.genadd*

| Campo | Detalhes de Implementação |
|--------------|----------------------------------|
| bus_i | Ver item a |
| gen_name | Ver item b |
| gen_type | Ver item c |
| gen_id | Ver item d |
| gen_grupo | Ver item e |
| gen_unid | Ver item f |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Os detalhes de implementação do Quadro 26 são detalhados abaixo.

a) **bus_i** - Número da barra onde o gerador foi conectado, o mesmo utilizado em *mpc.gen*;

- b) **gen_name** - Nome da usina exatamente como identificado nos arquivos de origem (hidraulico, térmico ou eólico). Útil para identificação do gerador daquela linha.
- c) **gen_type** - mnemônico de identificação do tipo de gerador (H, T e EO) respectivamente representando Hidráulica, Térmica e Eólica.
- d) **gen_id** - Número/código de cadastro do elemento DUSI.
- e) **gen_group** - Para usinas hidráulicas, indica o conjunto ou grupo de unidade ao qual aquele gerador está associado. Térmica não possui.
- f) **gen_unid** - Lista das unidades efetivamente consideradas para formar a potência daquele gerador.

4 SIMULAÇÕES

Este capítulo apresenta os resultados do uso dos arquivos gerados a partir da ferramenta de conversão desenvolvida. São feitas análises e resolvidos fluxos de potência com os dados convertidos a partir de um deck do DESSEM. As simulações foram executadas por meio do Octave, utilizando a biblioteca MATPOWER e os arquivos “.m” gerados pela ferramenta computacional descrita nos capítulos anteriores.

A análise concentrou-se no resultado do fluxo de potência DC, considerando que o modelo DESSEM representa apenas o problema de forma linearizada. Embora existam informações relacionadas à potência reativa, elas não estão devidamente consolidadas nos dados de entrada, um dos fatores é que não há variações do caso base, o que impossibilita a formulação completa de um fluxo de potência AC. Ainda assim, o conversor transfere todas as informações disponíveis; portanto, caso os dados fornecidos pelo DESSEM sejam suficientes para a realização de um fluxo de potência AC, o aplicativo desenvolvido será capaz de contemplar essa funcionalidade e permitirá a resolução do fluxo de potência AC. O conversor foi testado para o deck do DESSEM do dia 29/12/2023 (ds_ons_122023_rv0d29), cujos resultados são apresentação em duas etapas:

- a) Resultado individual de um estágio;
- b) Resultado da série temporal completa, com 48 estágios de meia hora.

4.1 Estágio de referência

Na primeira etapa foi selecionado o estágio 20 como referência para descrever as informações detalhadas da rede elétrica convertida. O arquivo de saída do MATPOWER referente a esse estágio foi carregado pela função *loadcase*, produzindo a estrutura mpc que contém as matrizes geradas mpc.bus, mpc.gen e mpc.branch conforme descrito anteriormente.

Em seguida foi utilizada uma rotina chamada *extract_islands* para segregar as ilhas do sistema elétrico. A partir do resultado da rotina, foi possível

obter um resumo global de todas as ilhas presentes no caso por meio da função *case_info*, que mostra o sistema completo e para cada ilha, o número de barras, cargas, geradores, ramos, respectivas demandas e gerações totais.

Para o estágio 20 a ferramenta identificou 36 ilhas, mas a análise foi concentrada nas 4 principais, que reúnem praticamente todos os elementos relevantes do sistema. A Figura 15 apresenta um resumo das cargas ativas e reativas do sistema completo e das quatro ilhas principais.

Figura 15 - Carga das ilhas principais do estágio 20

| | Full System | Island 1 | Island 2 | Island 3 | Island 4 |
|------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Load | | | | | |
| active (MW) | | | | | |
| dispatched | 58005.7 | 55635.9 | 697.6 | 1105.0 | 224.0 |
| fixed | 58005.7 | 55635.9 | 697.6 | 1105.0 | 224.0 |
| dispatchable | - | - | - | - | - |
| curtailed | - | - | - | - | - |
| nominal | 58005.7 | 55635.9 | 697.6 | 1105.0 | 224.0 |
| on | 58005.7 | 55635.9 | 697.6 | 1105.0 | 224.0 |
| off | - | - | - | - | - |
| fixed | 58005.7 | 55635.9 | 697.6 | 1105.0 | 224.0 |
| dispatchable | - | - | - | - | - |
| on | - | - | - | - | - |
| off | - | - | - | - | - |
| reactive (MVar) | | | | | |
| dispatched | 161285.6 | 160438.3 | 346.8 | 228.9 | 104.2 |
| fixed | 161285.6 | 160438.3 | 346.8 | 228.9 | 104.2 |
| dispatchable | - | - | - | - | - |
| curtailed | - | - | - | - | - |
| nominal | 161285.6 | 160438.3 | 346.8 | 228.9 | 104.2 |
| on | 161285.6 | 160438.3 | 346.8 | 228.9 | 104.2 |
| off | - | - | - | - | - |
| fixed | 161285.6 | 160438.3 | 346.8 | 228.9 | 104.2 |
| dispatchable | - | - | - | - | - |
| on | - | - | - | - | - |
| off | - | - | - | - | - |

Fonte: Elaboração própria (2025).

Observa-se que a ilha 1 concentra a maior parte da demanda do sistema, com aproximadamente 55,6 GW de carga ativa, frente a 58 GW do sistema completo. As ilhas 2,3 e 4 apresentam demandas significativamente menores, em relação à principal, caracterizando pequenos subsistemas. Esses subsistemas estão

conectados por meio de linhas de corrente contínua (não representadas no MATPOWER) ou são representações de pequenas áreas isoladas do sistema.

O comportamento é semelhante na geração, a ilha 1 reúne praticamente toda a geração despachada no estágio 20, enquanto as demais ilhas possuem pequenas parcelas de geração, como mostra a Figura 16.

Figura 16 - Geração das ilhas principais do estágio 20

| | Full System | Island 1 | Island 2 | Island 3 | Island 4 |
|------------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Generation | | | | | |
| active (MW) | | | | | |
| dispatched | 52449.9 | 50371.2 | 275.1 | 442.2 | 189.9 |
| max capacity | 127701.8 | 122811.1 | 594.9 | 799.3 | 735.7 |
| on | 127701.8 | 122811.1 | 594.9 | 799.3 | 735.7 |
| off | - | - | - | - | - |
| min capacity | - | - | - | - | - |
| on | - | - | - | - | - |
| off | - | - | - | - | - |
| reactive (MVar) | | | | | |
| dispatched | 20354.3 | 20476.2 | -4.4 | 129.8 | -16.5 |
| max capacity | 26932.9 | 24899.2 | 132.8 | 1040.6 | 153.9 |
| on | 26932.9 | 24899.2 | 132.8 | 1040.6 | 153.9 |
| off | - | - | - | - | - |
| min capacity | -25311.4 | -23704.7 | -120.2 | -719.4 | -127.1 |
| on | -25311.4 | -23704.7 | -120.2 | -719.4 | -127.1 |
| off | - | - | - | - | - |

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 17 mostra o número de barras, cargas, geradores e ramos de transmissão do sistema completo e das quatro ilhas principais. O sistema completo possui 11.251 barras, 3.697 cargas, 469 geradores e 13.889 ramos de transmissão. A ilha 1, considerada principal, reúne 10.836 barras, 3.599 cargas, 435 geradores e 13.449 ramos de transmissão, correspondendo a 96% das barras, 97% das cargas e 93% dos geradores do sistema total. As ilhas 2, 3 e 4 reúnem, somadas um pouco mais de 250 barras e 70 cargas, reforçando sua característica de ilhas pequenas ou trechos marginalmente conectados.

Figura 17 - Número de barras, cargas, geradores e ramos do estágio 20

| | Full System | Island 1 | Island 2 | Island 3 | Island 4 |
|-------------------|-------------|----------|----------|----------|----------|
| Number of: | | | | | |
| buses | 11251 | 10836 | 118 | 102 | 52 |
| loads | 3697 | 3599 | 24 | 37 | 10 |
| on | 3697 | 3599 | 24 | 37 | 10 |
| off | - | - | - | - | - |
| fixed | 3697 | 3599 | 24 | 37 | 10 |
| dispatchable | - | - | - | - | - |
| on | - | - | - | - | - |
| off | - | - | - | - | - |
| generators | 469 | 435 | 3 | 22 | 5 |
| on | 469 | 435 | 3 | 22 | 5 |
| off | - | - | - | - | - |
| shunt elements | 5 | 5 | - | - | - |
| branches | 13889 | 13449 | 141 | 127 | 60 |
| on | 13181 | 12760 | 141 | 124 | 59 |
| off | 708 | 689 | - | 3 | 1 |
| ties (off) | 15 | 15 | - | - | - |

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 18 mostra as barras de referência identificadas pelo MATPOWER. No sistema completo existem apenas 4 barras de referência (501, 1100, 7051 e 8004) e apenas a ilha principal apresentou barra de referência dentro das 4 primeiras ilhas do sistema.

Figura 18 - Barras de referência das ilhas principais do estágio 20

| | Full System | Island 1 | Island 2 | Island 3 | Island 4 |
|------------------------|-----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| Reference Buses | | | | | |
| num of ref buses | 4 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| ref bus numbers | 501 1100 7051 8004 | 501 | | | |

Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 19 reúne de forma geral um resumo da rede elétrica principal (*island 1*) do estágio 20.

Figura 19 - Resumo da ilha principal 1 estágio 20

Demanda total = 55635.9 MW e 160438.3 Mvar
 Geração total = 50371.2 MW e 20476.2 Mvar
 Capacidade Max. Geração = 122811.1 MW e 24899.2 Mvar
 Capacidade Min. Geração = 0.0 MW e -23704.7 Mvar
 Quantidade de barras = 10836
 Quantidade de linhas de transmissão = 13449
 Barra de referencia = 501
 Quantidade de barras PV = 252
 Quantidade de barras PQ = 10583
 Quantidade de geradores = 435
 Quantidade de barras com geradores = 253
 Quantidade de cargas = 3599

Fonte: Elaboração própria (2025).

No caso da ilha principal do estágio 20, o fluxo de potência DC ajusta automaticamente a geração na barra de referência de forma que a soma das injeções de geração coincida exatamente com a soma das demandas. Esse balanço foi verificado no ambiente Octave por meio de expressões que somaram os resultados das cargas nas barras e gerações dos geradores do resultado do fluxo de potência.

Complementando, foi feita uma verificação do carregamento das linhas de transmissão a partir do resultado do fluxo de potência DC do estágio 20. As potências ativas em cada ramo foram ordenadas em valor absoluto e para as dez maiores foram calculados os carregamentos percentuais em relação ao limite importado do DESSEM. O Quadro 27 mostra os resultados, apresentando cada linha, origem e destino, submercado, fluxo ativo em MW, limite cadastrado e o respectivo carregamento percentual.

Quadro 27 - Maiores carregamentos nas linhas de transmissão estágio 20

| Barra De | Submercado | Barra Para | Submercado | Potência (MW) | Limite (MW) | Carregamento (%) |
|----------|------------|------------|------------|---------------|-------------|------------------|
| 538 | SE | 501 | SE | -8522.5 | 3573 | 238.5 |
| 1106 | S | 61 | SE | 5081.6 | 2728 | 186.3 |

| | | | | | | |
|------|----|------|----|---------|------|-------|
| 1106 | S | 1107 | S | -5081.6 | 9999 | 50.8 |
| 5060 | NE | 5061 | NE | -3028.1 | 3200 | 94.6 |
| 1027 | S | 556 | SE | 2365 | 2837 | 83.4 |
| 538 | SE | 478 | SE | 2293.3 | 1524 | 150.5 |
| 540 | SE | 561 | SE | 2227.3 | 2030 | 109.7 |
| 478 | SE | 561 | SE | 2213.7 | 1524 | 145.3 |
| 538 | SE | 572 | SE | 2203.9 | 1616 | 136.4 |
| 536 | SE | 538 | SE | -2171.6 | 1524 | 142.5 |

Fonte: Elaboração própria (2025).

A maior transferência de potência ocorre entre as barras 538 e 501, sendo a barra 501 a barra de referência da ilha principal, de modo que parte relevante do ajuste de geração necessária para fechar o balanço de potência do sistema aparece concentrada nos ramos que a conectam. Destaca-se que devido a modelagem dos retificadores/conversores e linhas de corrente contínua, o fluxo de potência ativa deve ter valores diferente no DESSEM⁵, visto que em seu modelo as capacidades não devem ser violadas.

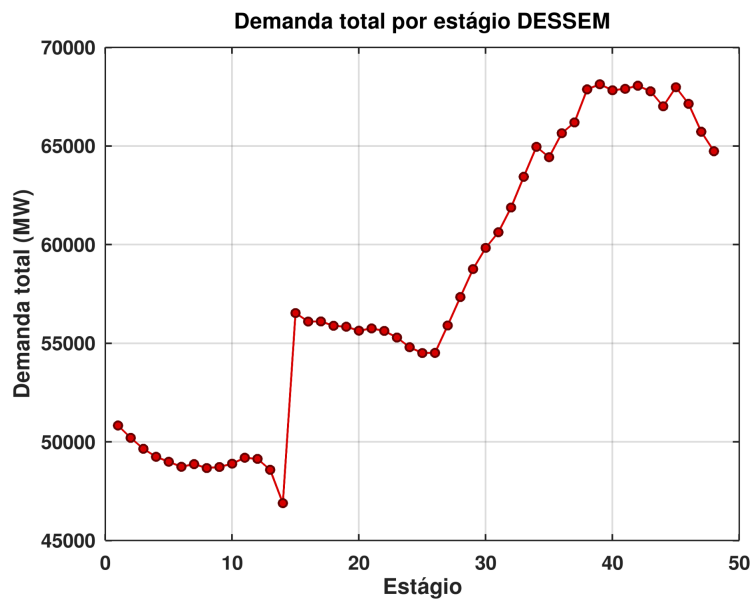
4.2 Dados da série temporal completa (48 estágios)

Na segunda etapa de simulação foram utilizados todos os 48 arquivos, 24 horas, gerados pela ferramenta de conversão, correspondentes pelas semi-horas do dia de estudo do deck de 29/12/2023 (rv0d29). Para cada estágio, meia hora, os casos foram carregados no MATPOWER por meio da função *loadcase* e extraída somente a ilha principal das matrizes *mpc.bus*, *mpc.gen* e *mpc.branch*. Para cada meia hora foram calculados a demanda total do sistema, a geração ativa total, o número de barras, geradores, assim como os valores de demanda e geração total por submercado.

⁵ O deck de resultados do DESSEM não apresenta os valores de fluxo de potência em cada uma das linhas mas somente somas de fluxos entre regiões do sistema.

A Figura 20 apresenta a demanda total do sistema ao longo dos 48 estágios. É possível observar um comportamento coerente com um perfil diário típico, onde os primeiros estágios correspondem a valores mais baixos, com um crescimento gradual ao longo do dia e um patamar mais elevado no fim do horizonte.

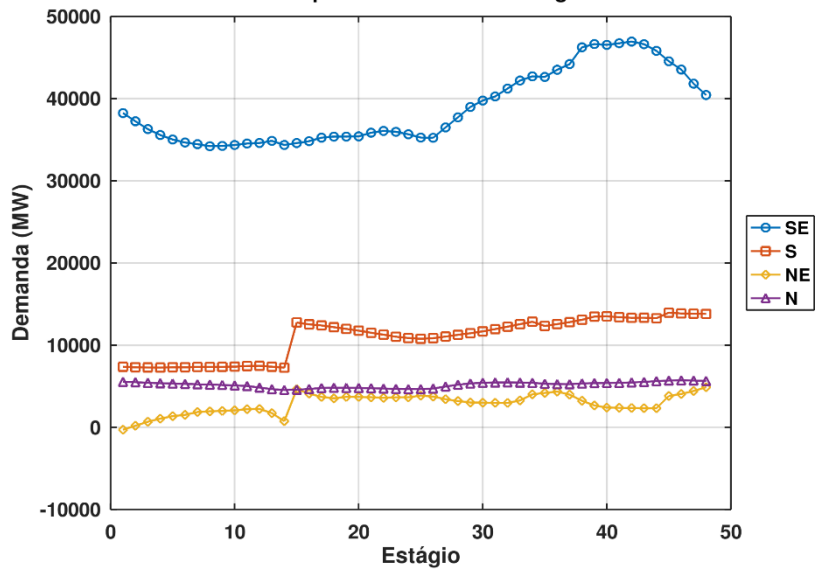
Figura 20 - Demanda total do sistema por estágio DESSEM



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 21 apresenta a informação de demanda segregada por submercado. O submercado Sudeste (SE) concentra a maior parcela da demanda em todos os estágios, seguido pelo Sul (S), enquanto Nordeste (NE) e Norte (N) apresentam cargas significativamente menores. Além disso, a variação ao longo do dia acompanha a tendência geral, com mudanças de patamar que coincidem entre os subsistemas.

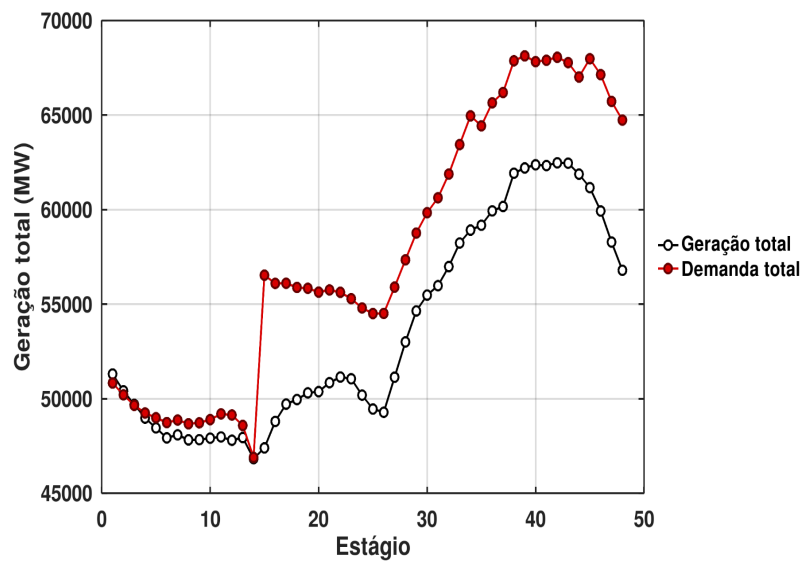
Figura 21 - Demanda por submercado do sistema por estágio DESSEM
Demanda total por submercado e estágio DESSEM



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 22 apresenta a geração total do sistema nos 48 estágios. A curva acompanha o comportamento da demanda total, com aumento de geração nos mesmos intervalos que a carga cresce, mostrando consistência. Nota-se que os dados de entrada provenientes do DESSEM possuem diferenças entre geração e demanda, que após a resolução do fluxo de potência no MATPOWER são ajustadas.

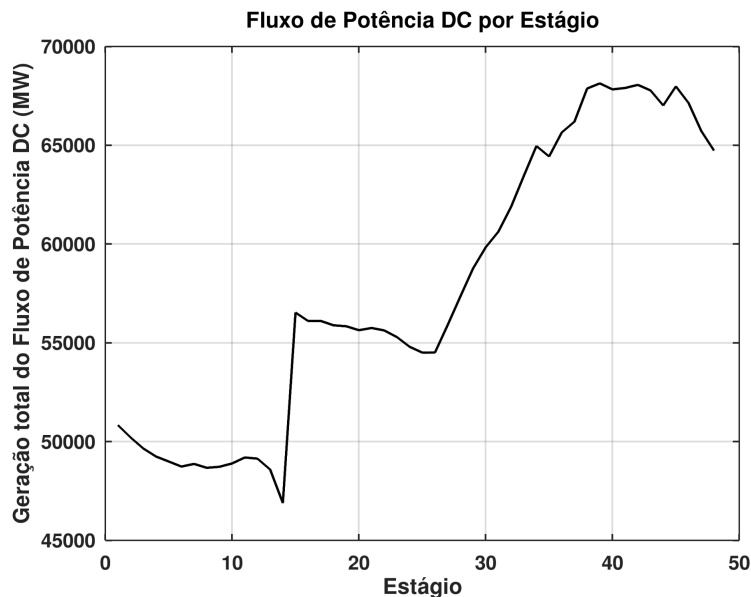
Figura 22 - Geração e demanda total do sistema por estágio DESSEM



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 23 apresenta a geração total do sistema nos 48 estágios para a solução do fluxo de potência DC no MATPOWER. O comportamento da curva é bastante parecido ao obtido a partir dos dados do DESSEM Figura 22, com níveis de geração mais elevados em períodos de maior demanda. As pequenas diferenças ocorrem devido aos ajustes realizados na barra de referência. O comportamento mostrado indica que o fluxo de potência preservou o padrão semi-horário estabelecido pelo DESSEM.

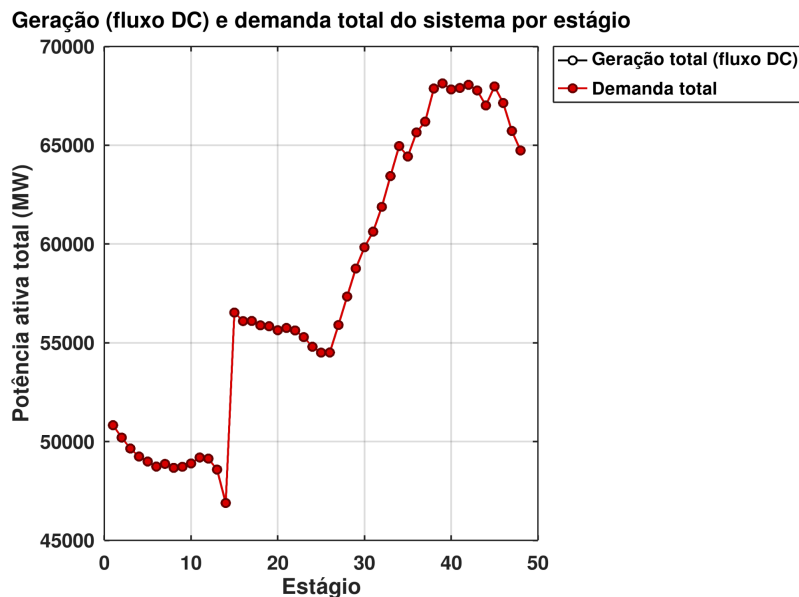
Figura 23 - Geração total do Fluxo de Potência DC por estágio MATPOWER



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 24 apresenta a geração total obtida pelo fluxo de potência DC e a demanda do sistema ao longo dos 48 estágios. As curvas se sobrepõem, indicando que para cada semi-hora, a soma das potências injetadas pelos geradores após o fluxo de potência DC é compatível com a carga do sistema. O fato das curvas coincidirem indica que a ferramenta é capaz de reproduzir adequadamente o equilíbrio entre geração e demanda em todos os estágios ao longo do horizonte analisado.

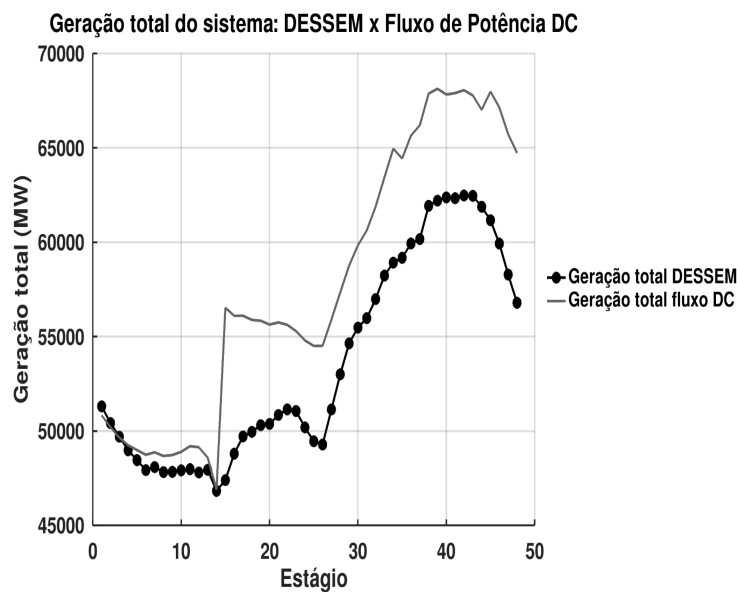
Figura 24 - Geração Fluxo de Potência DC MATPOWER e demanda total



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 25 realiza a comparação entre a geração total informada pelo DESSEM com a geração total resultante do fluxo de potência DC para cada estágio da série. As duas curvas seguem praticamente o mesmo traçado, com diferenças apenas de magnitude distribuídas ao longo do tempo. A ferramenta de conversão foi capaz de manter o despacho consistente, sendo necessárias apenas correções pontuais associadas à solução do fluxo de potência DC no MATPOWER.

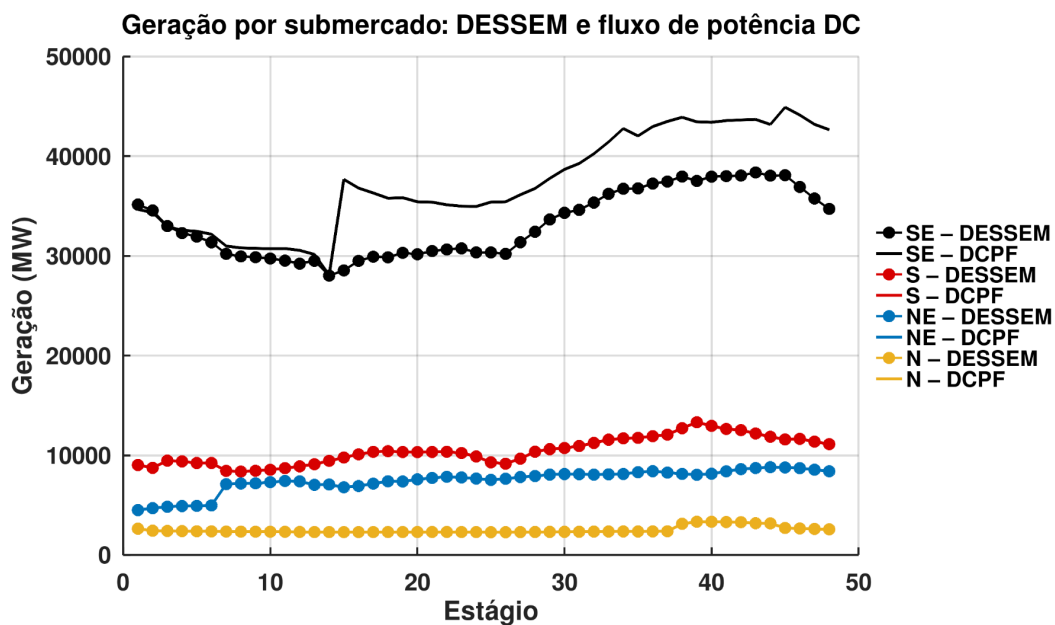
Figura 25 - Geração total do sistema: DESSEM x Fluxo de Potência DC



Fonte: Elaboração própria (2025).

A Figura 26 apresenta a geração por submercado do DESSEM e do resultado do fluxo de potência DC. De maneira semelhante ao que ocorre com a demanda, a predominância da geração está nos submercados SE e S, enquanto NE e N possuem menor participação. O fato da geração por submercado acompanhar o perfil de demanda e dos valores globais indica que associações entre usinas, barras e submercados foram preservadas corretamente pela ferramenta. Mesmo após o fluxo de potência DC as gerações nos submercados S, N e NE permaneceram as mesmas, apenas o submercado ao qual pertencia o gerador conectado a barra de referência da rede mudou. Os cálculos do fluxo de potência fez com que o gerador na referência fechasse o balanço de potência do sistema.

Figura 26 - Geração por submercado: DESSEM x Fluxo de Potência DC



Fonte: Elaboração própria (2025).

5 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi desenvolvida uma ferramenta computacional, implementada em Python, para converter os dados de entrada e saída do modelo DESSEM para o formato de entrada do MATPOWER. A ferramenta integra informações de diferentes arquivos do DESSEM (casos base da rede elétrica em formato pwf, arquivos de patamar, dados de usinas hidráulicas, térmicas e eólicas) e organiza esses dados nas estruturas principais mpc.bus, mpc.branch, mpc.gen e em matrizes auxiliares de rastreabilidade mpc.genadd e e mpc.busadd. Dessa forma o objetivo geral de viabilizar a utilização dos dados da rede do DESSEM em uma ferramenta livre de fluxo de potência foi atingido.

A partir da metodologia, verificou-se que a rotina de conversão foi capaz de mapear os blocos do DESSEM (DBAR, DLIN, DGLT, DGBT, DUSI, pdo_hidr.dat, pdo_term.dat, pdo_eolica.dat, DANC MUDA) para o modelo de dados do MATPOWER. No processo foram estabelecidos tratamentos definidos para barras desligadas, classificação de tipos de barras, associação de usinas a barras, definição de limites operacionais e construção de metadados auxiliares para rastreabilidade. Foram utilizadas ferramentas livres que garantem a fácil reprodução dos resultados e não dependem de softwares proprietários.

Do ponto de vista das simulações, os estudos realizados com fluxo de potência DC indicaram que os arquivos “.m” gerados se mostraram consistentes. No estágio de referência 20 para as 9h30 do dia 29 de Dezembro de 2023, observou-se coerência nos perfis de demanda, geração e nos carregamentos das linhas de transmissão da ilha principal. Na análise da série temporal completa, composta pelos 48 estágios do deck de 29/12/2023, as curvas de demanda e geração total e por submercado preservaram as variações temporais. Esses resultados indicaram que os fatores de ajuste de carga com base nos patamares foram aplicados de forma adequada e que a estrutura da rede foi mantida de maneira estável ao longo de todos os casos convertidos.

Em termos de limitações, a análise se concentrou no fluxo de potência DC, visto que o modelo DESSEM não forneceu as informações adequadas para um fluxo de potência AC, como informações mais detalhadas de reativo. Além disso, alguns parâmetros tiveram que ser arbitrados ou aproximados, como a geração mínima de determinadas usinas hidráulicas. Outro ponto importante a se destacar é que o processo de obtenção dos arquivos do DESSEM ainda depende de download manual dos decks na plataforma SINtegre e da configuração prévia de diretórios no arquivo de definições da ferramenta.

Como sugestão de trabalhos futuros, a partir da estrutura disponível pela ferramenta, seria possível a realização de estudos de fluxo de potência encadeada ao longo dos 48 estágios, uma vez que os casos para cada semi-hora já são gerados de forma consistente. Além disso, sugere-se investigar a representação de conversores/retificadores e linhas de corrente contínua no MATPOWER. Neste trabalho, os fluxos foram executados de forma independente para cada estágio, nada impede que sejam desenvolvidos scripts para explorar a série acoplada temporalmente, utilizando resultados de um estágio como condição inicial do seguinte, avaliando violações persistentes. Esses estudos, porém, ficam como sugestão de trabalho futuro, pois o foco principal desta monografia foi a concepção, implementação e validação da ferramenta de conversão de dados.

REFERÊNCIAS

BARBOSA, Marcella C. **Programação diária energética com o uso do DESSEM e acoplamento com a realidade operativa**. 2022. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2022.

CEPEL. **CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA**. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/secretarias/sntep/quem-e-quem/setor-publico-1/cepel> Acesso em: 10 out. 2023.

COHEN, Marcelo. **A Linguagem de Programação Python**. 2015. Disponível em: <https://www.inf.pucrs.br/flash/progbio/aulas/seq/build/progbio/Python.html> Acesso em: 1 nov. 2023.

ELETROBRAS CEPEL. **Modelo DESSEM: programação diária da operação de sistemas hidrotérmicos com representação detalhada das unidades geradoras, fontes intermitentes, consideração da rede elétrica e restrições de segurança**. Versão 19.0.24.3. Rio de Janeiro: ELETROBRAS CEPEL, 2022.

FARINELLI, Fernanda. **Conceitos básicos de programação orientada a objetos**. Apostila, Universidade Federal de Brasília, 2007.

FREECODECAMP. **Snake case vs camel case vs pascal case vs kebab case: what's the difference?** 29 nov. 2022. Disponível em: <https://www.freecodecamp.org/news/snake-case-vs-camel-case-vs-pascal-case-vs-kebab-case-whats-the-difference/> Acesso em: 01 nov. 2025.

GNU. **O Sistema Operacional GNU, Movimento Software livre**. Disponível em: <https://www.gnu.org/philosophy/free-software-intro.pt-br.html> Acesso em: 10 out. 2023.

IBM. **Herança**. Disponível em: <https://www.ibm.com/docs/pt-br/spss-modeler/18.4.0?topic=programming-inheritance> Acesso em 01 nov. 2023.

KUNDUR, P. **Power System Stability and Control**. New York: McGraw-Hill, 1994.

MATPOWER. **Free, open-source tools for electric power system simulation and optimization**. Disponível em: <https://matpower.org/> Acesso em: 10 out. 2023.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (Brasil). **SIN ultrapassa a capacidade 200GW**. Brasília, DF, 7 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/sin-ultrapassa-a-capacidade-de-200-gw> Acesso em 01 nov. 2025.

NILSON, W; RIEDEL S. **Circuitos Elétricos**. Iowa: Pearson, 2016.

OCTAVE. **Gnu Octave**. Disponível em: <https://octave.org/> Acesso em: 10 out. 2023.

ONS. **ONS INICIA UTILIZAÇÃO DE NOVO MODELO DE PROGRAMAÇÃO DO DESPACHO EM TEMPO REAL NO DIA 1º**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/Paginas/Noticias/ONS-inicia-utiliza%C3%A7%C3%A3o-de-novo-modelo-de-programa%C3%A7%C3%A3o-do-despacho-em-tempo-real-no-dia-1%C2%BA.aspx> Acesso em: 24 nov. 2023a.

ONS. **OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO. Portal SINtegre - Portal colaborativo de relacionamento com os agentes**. Disponível em: <https://sintegre.ons.org.br> Acesso em: 20 nov. 2025.

ONS. **SOBRE O ONS O QUE É ONS**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-ons/o-que-e-ons> Acesso em: 10 out. 2023b.

ONS. **SOBRE O SIN O SISTEMA EM NÚMEROS**. Disponível em: <https://www.ons.org.br/paginas/sobre-o-sin/o-sistema-em-numeros> Acesso em: 10 out. 2023c.

Python. **Welcome to Python.org**. Disponível em: <https://www.python.org/> Acesso em: 10 out. 2023.

Python. **Python the language of today and tomorrow**. Disponível em: <https://pythoninstitute.org/about-python#:~:text=Python%20was%20created%20by%20Guido,called%20Monty%20Python's%20Flying%20Circus>. Acesso em: 01 nov. 2023.

RICARTE, Luiz M. **Programação Orientada a Objetos: Uma Abordagem com Java**. Apostila, Universidade Estadual de Campinas.

RIGONI, Murilo D. **Análise de resultados da implementação do modelo DESSEM na operação do sistema interligado nacional**. 2018. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2018.

SAADAT H. **Power System Analysis**. New York: McGraw-Hill, 1999.

STEVENSON, D; GRAINGER, J. **Power System Analysis**. North Carolina: McGraw-Hill Series, 1994.

WEINGAERTNER, D. *et al.* **Algoritmos e Estrutura de Dados 1**. Curitiba: UFPR, 2020.

ZANETTA, Luiz C. **Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.