

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E ELETRÔNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**João José Medeiros de Figueiredo**

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES DE ACESSO DE  
MINIGERADORES EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

**Florianópolis**

**2023**

**João José Medeiros de Figueiredo**

**SISTEMA AUTOMATIZADO PARA ANÁLISE DE SOLICITAÇÕES DE ACESSO DE  
MINIGERADORES EM GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.

**Florianópolis**

**2023**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Figueiredo, João José M. de  
Sistema Automatizado para Análise de Solicitações de  
Acesso de Minigeradores em Geração Distribuída / João José  
M. de Figueiredo ; orientador, Mauricio Valencia Ferreira  
da Luz, 2023.  
71 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia Elétrica, Florianópolis, 2023.

Inclui referências.

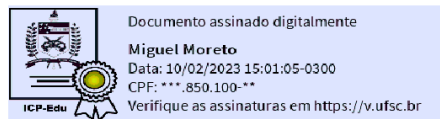
1. Engenharia Elétrica. 2. Fluxo de Potência. 3. Geração  
Distribuída. 4. Solicitações de Acesso. 5. Python. I.  
Valencia Ferreira da Luz, Mauricio. II. Universidade  
Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia  
Elétrica. III. Título.

João José Medeiros de Figueiredo

**Sistema Automatizado para Análise de Solicitações de Acesso de Minigeradores em  
Geração Distribuída**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “Bacharel em Engenharia Elétrica” e aceito, em sua forma final, pelo Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.

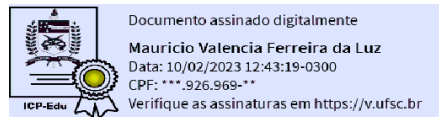
Florianópolis, 10 de fevereiro de 2023.



---

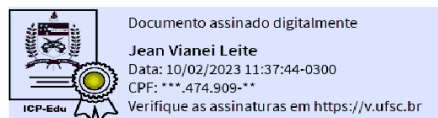
Prof. Miguel Moreto, Dr.  
Coordenador do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

**Banca Examinadora:**



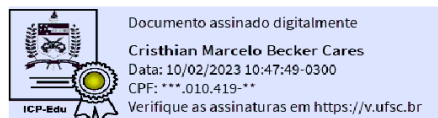
---

Prof. Mauricio Valencia Ferreira da Luz, Dr.  
Orientador  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Jean Viane Leite, Dr.  
Universidade Federal de Santa Catarina



---

Prof. Cristhian Becker Cares, Dr.  
Universidad de Santiago de Chile

Este trabalho é dedicado a todos que cruzaram meu  
caminho nessa longa jornada.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família, à minha mãe Márcia Medeiros de Lima, por me educar pelo exemplo, sua dedicação aos estudos, mesmo nos tempos mais difíceis, é inspirador a qualquer pessoa, ao meu pai João Figueiredo Pereira, por ter oferecido a sua vida para que eu pudesse estudar.

Às Minhas irmãs, Nefertiti Bastos Pereira e Francine Bastos Pereira, por terem me auxiliado na época do vestibular, ao meu irmão, Dalton Medeiros Figueiredo Pereira, por ter me ensinado a ser mais gentil e cuidadoso, à minha irmã, Mayeni Medeiros Padilha, por ter se dedicado aos meus cuidados em momentos cruciais de sua vida e ao meu irmão, Jones Cambruzzi Pereira, por ter me incentivado ainda criança aos estudos, à física, à matemática e à literatura e, assim, me inspirado a seguir seus passos e cursar Engenharia Elétrica.

Aos meus amigos de coração, pelas horas despendidas na Biblioteca Universitária trocando conhecimento, pelas conversas filosóficas, pelos momentos de apoio e descontração, que deixaram o ambiente mais leve para que eu pudesse seguir.

À Maria Júlia Garcia Dias, por ter sido meu apoio durante a escrita deste Trabalho de Conclusão de Curso.

Aos meus professores da E.E.B. Renato Ramos da Silva, do Instituto Estadual de Educação e do Instituto Federal de Santa Catarina, por fazerem parte da minha formação.

A Universidade Federal de Santa Catarina, corpo docente, servidores e colaboradores, que contribuem significativamente para o avanço da sociedade, de forma silenciosa, lapidando os que entram para que ao findar de suas caminhadas possam ser agentes de transformação social através do conhecimento adquirido.

Aos meus colegas de trabalho na Celesc S.A., por me propiciarem um ótimo ambiente de trabalho, onde tive liberdade para desenvolver vários projetos e aprender muito sobre geração distribuída e programação.

Ao meu orientador Mauricio Valencia Ferreira da Luz, por seus conselhos e ensinamentos desde a disciplina de Eletromagnetismo e durante o restante da graduação, de forma que eu pudesse redigir este trabalho.

A algo maior, que criou tudo, e fez de nós instrumentos para que possamos desvendar os mistérios da natureza.

*“Gato que me fitas com olhos de vida, quem tens lá no fundo?*

*É esse! É esse!*

*Esse mandará como Josué parar o sol e eu acordarei;*

*E então será dia.*

*Sorri, dormindo, minha alma!*

*Sorri, minha alma, será dia!”*

*(Fernando Pessoa, 1944)*

## RESUMO

Este trabalho visa explicar o funcionamento de um programa que utiliza a linguagem de programação Python, a fim de calcular o fluxo de potência do local desejado para a construção da usina até a subestação, bem como a necessidade de recondutoramento ou substituição de equipamentos, gerando, assim, um relatório completo desse estudo para envio ao acessante. Este trabalho documentou o código fonte criado para a obtenção desses parâmetros e realizou a inserção hipotética de dois minigeradores: uma UFV de 1 MW, localizada no CTC-UFSC, e uma UFV de 2,2 MW, localizada no Município de Ponte Serrada.

**Palavras-chave:** Fluxo de Potência. Geração Distribuída. Solicitações de Acesso. Python.



## **ABSTRACT**

This work aims to implement a program using the Python programming language, which, calculating the power flow, from the desired location for the construction of the plant, to the substation, calculates the need for reconducting or replacing equipment, and thus prepares a report complete version of this study to be sent to the system user. This work documented the source code created to obtain these parameters, and performed the hypothetical insertion of two mini-generators, a 1 MW UFV located at CTC-UFSC, and a 2.2 MW UFV located in the municipality of Ponte Serrada.

**Keywords:** Power Flow. Distributed generation. Access Requests. Python.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – QRCode para acesso ao código fonte.

Figura 2 – Interface do Programa de Informação de Acesso.

Figura 3 – Processo de Acesso de Micro e Minigeração Distribuída.

Figura 4 – Sistema de 4 barras e 5 ramos.

Figura 5 – Vetores das correntes injetadas nas barras.

Figura 6 – Fluxograma para a explicação do código

Figura 7 – Alteração do arquivo alimentadorespecifico.py em comparação com o arquivo alimentadores.py.

Figura 8 – Arquivo download\_genesis.py.

Figura 9 – Correção dos dataframes que contém os Trechos Aéreos e os Trechos Subterrâneos.

Figura 10 – Definições das linhas de distribuição.

Figura 11 – Criação da barra de folga.

Figura 12 – Fluxo de potência.

Figura 13 – Caminho mais curto entre a subestação e o ponto de conexão.

Figura 14 – Recondutoramento monofásico para linha trifásica.

Figura 15 – Recondutoramento trifásico.

Figura 16 – Corrente de curto circuito e nível de tensão.

Figura 17 – Desenho .svg produzido de forma automatizada.

Figura 18 – Linha de Distribuição do alimentador TDE06.

Figura 19 – Linha de Distribuição do alimentador ATA02.

## **LISTA DE QUADROS**

- Quadro 1 – Alimentador.csv.
- Quadro 2 – Fusivel.csv.
- Quadro 3 – Reguladores.csv.
- Quadro 4 – Religadores.csv.
- Quadro 5 – Seccionadora.csv.
- Quadro 6 – Transformador.csv.
- Quadro 7 – Transformadores.
- Quadro 8 – Transformadores Subterrâneos.
- Quadro 9 – Bancos de Capacitores.
- Quadro 10 – Fusíveis.
- Quadro 11 – Religadores.
- Quadro 12 – Subestações.
- Quadro 13 – Trechos Aéreos.
- Quadro 14 – Trechos Subterrâneos.
- Quadro 15 – Reguladores.
- Quadro 16 – Chaves Seccionadoras.
- Quadro 17 – Chaves Seccionadoras Subterrâneas.
- Quadro 18 – Dados de corrente de curto circuito (ICC).
- Quadro 19 – Religadores Subestação.xlsx.
- Quadro 20 – Religadores Alimentador.xlsx.
- Quadro 21 – Lista Regionais.xlsx.

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

UTM – Universal Transversa de Mercator

GD – Geração Distribuída

S.A. – Sociedade Anônima

.CSV – Comma-separated values

kVA – kilovoltampere

kW – kilowatt

P.U. – Sistema por unidade

V – Volt

ICC – Corrente de Curto Circuito

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

UFV – Usina Fotovoltaica

UTE – Usina Termelétrica

PCHs – Pequenas Centrais Hidrelétricas

CGHs – Centrais Geradoras Hidrelétricas

UHE – Usina Hidrelétrica

EOL – Usina Eólica

PRODIST – Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no  
Sistema Elétrico Nacional

N-R – Newton-Raphson

Sistema de Compensação de Energia Elétrica – SCEE

Programa de Energia Renovável Social – PERS

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo Geral .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	15
1.3 METODOLOGIA.....	15
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1 ANÁLISE DE MINIGERADORES NO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	17
2.1.1 Contextualização Da Geração Distribuída No Brasil .....	17
2.1.2 Programa De Informação De Acesso .....	19
2.1.3 Biblioteca Pandapower E Fluxo De Potência.....	21
3 DOCUMENTAÇÃO DO CÓDIGO .....	31
4 CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS .....	55
APÊNDICE A – UFV DE 1 MW localizada no CTC.....	57
APÊNDICE B – UFV DE 2,2 MW localizada no MUNÍCIPIO DE PONTE SERRADA.....	62

## 1 INTRODUÇÃO

A Geração Distribuída é, sem dúvidas, um processo em desenvolvimento no sistema elétrico brasileiro, porém o número de usinas conectadas às linhas de distribuição cresce rapidamente a cada ano. A definição de geração distribuída, assim como seu início histórico, é bem estabelecida por Marcos V. X. Dias, em sua tese de mestrado: O termo geração distribuída pode parecer novo, mas sua concepção não é tão recente assim. Thomas A. Edison concebeu e instalou o primeiro sistema de geração de energia em Nova York, no ano de 1882. Na rua chamada Pearl Street, ele construiu a primeira central de geração que fornecia energia para lâmpadas incandescentes de cerca de 59 clientes em uma área de aproximadamente 1 km<sup>2</sup>. Essencialmente, este é o conceito mais simples de geração distribuída, uma fonte geradora localizada próxima à carga (DIAS, 2005).

Quando há necessidade de instalação de uma usina em uma linha de distribuição, o responsável pela obra deve abrir um pedido de análise para verificar a sua viabilidade junto à concessionária de energia de seu estado. Esse processo denomina-se Solicitação de Acesso, no caso de Santa Catarina, onde a concessionária de energia na maior parte do estado é a Centrais Elétricas de Santa Catarina Sociedade Anônima (Celesc S.A), tal processo é aberto pelo acessante, o qual solicita uma consulta de acesso. Esse procedimento gerará, ao fim do processo, um documento chamado “Informação de Acesso”.

O processo engloba a análise de segurança, de fluxo de potência, de substituição de equipamentos e recondutoramento, após realizados esses estudos, é repassado o orçamento para o cliente, que define sua entrada no sistema.

Atualmente, verifica-se que as concessionárias buscam métodos mais eficientes para agilizar esse processo e, dessa forma, atender aos interessados na conexão de geradores com as linhas de distribuição.

O código fonte, as pastas e arquivos necessários para a execução do programa, cujo funcionamento será explicado neste trabalho, encontram-se num repositório no GitHub, que pode ser acessado pelo QRCode ilustrado na figura 1, ou pelo link a seguir: <https://github.com/joaojosemfigueiredo/Sistema-Automatizado-para-Analise-de-Solicitacoes-de-Acesso-de-Minigeradores-em-Geracao-Distribuida>.

Figura 1 – QRCode para acesso ao código fonte.



Fonte: Elaborado pelo autor (2023).

O programa foi realizado com o auxílio de alguns programadores que integraram a Divisão de Geração Distribuída: Nelson José Ferreira da Rosa Nogueira Junior, André Henrique Gomes Silva Mota, Guilherme Hosoda Souza Reis e João José Medeiros de Figueiredo. Durante o período de produção do programa, engenheiros eletricitas e estagiários ficaram encarregados de suprir a demanda das solicitações de acesso de forma manual, utilizando o software SICOTEN e pequenos softwares em Python na medida que eram finalizados, esses engenheiros e estagiários, tiveram papel fundamental na produção do programa em sua forma como está apresentada nesse trabalho, com diversas ideias e normas técnicas que devíamos seguir para a implementação do programa, e com isso ficam registrados seus nomes: Eng. Eletricista Marco Túlio Ranção de Oliveira, Eng. Eletricista André Henrique Gomes Silva Mota, Eng. Eletricista Luís Eduardo Pacheco Tomas e o Eng. Eletricista e chefe da Divisão de Geração Distribuída, Ayslan Souza Ferreira, além dos estagiários, Diego Matheus Souza Alvarez, João Antônio Cortes Amorim e Enzo da Silva Rosa.

### **1.1 EVOLUÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

Nos próximos dez anos, prevê-se que as Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGHs) e Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCHs) crescerão a um ritmo alto (2400 MW), beneficiando empresas como a WEG S.A e outras similares com a venda de seus equipamentos eletromecânicos. Além do mais, a legislação do setor elétrico abre cada vez mais as portas para

esses empreendimentos (a capacidade máxima de centrais geradoras hidrelétricas aumentou para 5 MW), com menos burocracia e mais agilidade no processo para aprovação de estudos, atraindo mais interessados em investir nesse setor elétrico (PREVE, 2018).

Sobre a quantidade de potência instalada, pode-se ter uma boa estimativa de acordo com a Associação de Brasileira de PCHs e CGHs: os potenciais de PCHs e CGHS somam um total considerável de potência em operação de 6.178.706,16 kW outorgadas, distribuindo energia a todo o território brasileiro e sendo uma fonte de baixos impactos ambientais. Em termos de potência já instalada, as PCHs estão situadas em quinto (5º) lugar entre as fontes de energia do país, com um pouco mais de 7.138.988,54 kW gerados. As CGHs ocupam o sétimo (7º) lugar, com 822.877,67 kW gerados. Em termos de potência já instalada, as PCHs estão situadas em quarto (4º) lugar entre as fontes de energia do país, com 5.271 kW gerados. À frente delas, estão as Eólicas (EOL) em terceiro (3º) lugar, com 15.099 kW em operação, já em segundo (2º) lugar, estão as Termelétricas (UTE) 41.952 kW e as Usinas Hidrelétricas (UHE), que lideram o ranking com 102.532 kW (ABRAPCH, 2019).



## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 OBJETIVO GERAL**

Este trabalho visa explicar o funcionamento de um programa que utiliza a linguagem de programação Python, a fim de calcular o fluxo de potência do local desejado para a construção da usina até a subestação, bem como a necessidade de recondutoramento ou substituição de equipamentos, gerando, assim, um relatório completo desse estudo para envio ao acessante.

### **1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Analisar a inserção hipotética de uma usina de 1 MW, localizada na UFSC Campus Florianópolis (CTC), e de uma usina de 2,2 MW, localizada no município de Ponte Serrada.
- Comparar a eficiência e agilidade do software criado com o software SICOTEN;
- Documentar um código aberto desenvolvido em linguagem de programação em python que analisa a entrada de minigeradores no sistema de geração distribuída.

## **1.3 METODOLOGIA**

Este trabalho foi realizado utilizando revisões bibliográficas que descrevem o processo histórico do crescimento da Geração Distribuída e de suas características específicas em território brasileiro e catarinense.

As informações foram coletadas da concessionária de energia de Santa Catarina, e o programa para a automatização do processo foi desenvolvido durante o período de estágio na Celesc. S.A.

Identificada a necessidade na agilização dos processos, devido às resoluções normativas descritas no capítulo seguinte, iniciou-se o processo da automatização de pequenos processos burocráticos que objetivavam: o download automático de arquivos necessários para a execução da análise manual no software SICOTEN; a realização do desenho de forma automática, utilizando a biblioteca pycairo, que contém as informações das obras necessárias ao empreendimento; a montagem do documento .docx de forma padronizada, assim que eram identificadas as obras necessárias; e um programa para a realização do documento padrão para

o envio ao Departamento de Planejamento, quando não se conseguia realizar as análises utilizando o software SICOTEN.

Ao fim da realização desses pequenos programas, iniciou-se o processo de programação utilizando a biblioteca pandapower, biblioteca utilizada para a análise do fluxo de potência e mapeamento dos equipamentos dos alimentadores, o que culminou na automatização completa do processo de Solicitações de Acesso, devido a não mais necessidade da utilização do *software* SICOTEN.

## **2 REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1 ANÁLISE DE MINIGERADORES NO SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

#### **2.1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA NO BRASIL**

A lei Nº 14.300 publicada no Diário Oficial da União, estabelece a definição de Geração Distribuída, e critérios para a inserção de novos micro ou minigeradores, além dos deveres e direitos da concessionária de energia e do acessante. Com isso institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS).

A Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, confeccionada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), estabelece diversas definições e regras para que as concessionárias de energia espalhadas pelo Brasil possam atuar de acordo com as leis. As resoluções mencionadas a seguir alteram a Resolução Normativa nº 482 ou estabelecem definições para o melhor entendimento acerca da geração distribuída no país (ANEEL, 2012)

Para a leitura deste trabalho, recomenda-se o conhecimento prévio das seguintes resoluções normativas, confeccionadas pela ANEEL:

- Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012;
- Resolução Normativa nº 687, de 24 de novembro de 2015;
- Resolução Normativa nº 786, de 17 de outubro de 2017;
- Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021.

E também da Instrução I-432.0004 - Requisitos para Conexão de Micro e Minigeradores de Energia ao Sistema Elétrico da Celesc Distribuição, confeccionada pela Celesc Distribuição S.A.

A Resolução Normativa nº 482 define mini e microgeração distribuídas da seguinte forma:

I - Microgeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada menor ou igual a 75 kW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (ANEEL, 2015.)

II - Minigeração distribuída: central geradora de energia elétrica, com potência instalada superior a 75 kW e menor ou igual a 5 MW e que utilize cogeração qualificada, conforme regulamentação da ANEEL, ou fontes renováveis de energia elétrica, conectada na rede de distribuição por meio de instalações de unidades consumidoras; (ANEEL, 2017)

De acordo com a Instrução I-432.0004, é recomendável que a central geradora com potência instalada maior que 300 kVA realize Consulta de Acesso. Devido a essa recomendação na Celesc Distribuição S.A., foram apenas realizados estudos de conexão para definir como minigeração distribuída. Os estudos de conexão contemplam a análise do Fluxo de Potência, para verificar se a variação da tensão em sistema por unidade (p.u.) não é maior que 4%, e se a corrente de curto circuito não é maior que o máximo estipulado para cada sistema. De acordo com Salgado (2020), em sua apostila Introdução a Sistemas de Energia, em linhas mais longas, com comprimento até 300 km, o carregamento depende do limite estabelecido para a queda de tensão máxima permitida. Em geral, uma queda de tensão de aproximadamente 5%, ou seja,  $0,95V_e \leq V_r \leq 1,05V_e$  é aceita na prática como razoável.

A Celesc Distribuição aceita uma variação de 4% como a máxima permitida, caso a variação de tensão seja superior a 4%, é realizado o recondutoramento de trechos do alimentador até estar dentro dos limites permitidos. Também é analisado se ocorre uma sobretensão (acima de 1,05 p.u.) ou subtensão (abaixo de 0,95 p.u.) no sistema, conforme Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST, e, neste caso, é analisado o melhor ponto para a inserção de um banco regulador de tensão. Concluída a análise da tensão elétrica do sistema, realiza-se ensaio de curto circuito, bem como a verificação de fusíveis, religadores e reguladores já instalados no sistema, de modo a conferir se estão compatíveis com a inserção de uma central geradora.

Para entender a necessidade de softwares que realizam esses estudos mencionados acima da forma mais rápida possível, é preciso se atentar ao Artigo 64 e ao parágrafo 5, do Artigo 668, da Resolução Normativa nº 1000, de 7 de dezembro de 2021, que estabelecem os prazos para disponibilização desses estudos por parte da concessionária de energia para o acessante (ANEEL, 2021).

Art. 64. A distribuidora deve elaborar e fornecer gratuitamente ao consumidor e demais usuários o orçamento de conexão, com as condições, custos e prazos para a conexão ao sistema de distribuição, nos seguintes prazos, contados a partir da solicitação:

I - 15 dias: para conexão de unidades consumidoras com microgeração distribuída ou sem geração, em tensão menor do que

69kV, em que não haja necessidade de realização de obras no sistema de distribuição ou de transmissão, apenas, quando necessário, a instalação do ramal de conexão;

II - 30 dias: para conexão de unidades consumidoras com microgeração distribuída ou sem geração, em tensão menor do que 69kV, em que haja necessidade de realização de obras no sistema de distribuição ou de transmissão; e

III - 45 dias: para as demais conexões.

§ 5º Para elaboração e fornecimento do orçamento de conexão nas situações enquadradas no inciso III do art. 64, de solicitações protocoladas até 31 de dezembro de 2022 e em que haja necessidade de realização de obras no sistema de distribuição, a distribuidora pode praticar os seguintes prazos, conforme o tipo de usuário: (ANEEL 2022)

I - até 120 dias: no caso de conexão de central geradora, outra distribuidora de energia, agente

importador ou exportador de energia; e (Incluído pela REN ANEEL 1.025, de 05.07.2022)

II - até 60 dias: para unidade consumidora com minigeração distribuída. (ANEEL, 2021)

### 2.1.2 PROGRAMA DE INFORMAÇÃO DE ACESSO

O *software* desenvolvido para análise do fluxo de potência chama-se “Programa de Info.de Acesso”. Na figura 2, é apresentada a interface, em que o usuário final poderá digitar as especificações do minigerador e gerar o documento.

Figura 2 – Interface do Programa de Informação de Acesso.

Programa Info. de Acesso

Nome da Solicitação: Usina Fotovoltaica CTC

Número da Solicitação: 603720

Alimentador Específico: alimentador mais próximo

Dados da Consulta de Acesso:

UTM X: 745059.16 UTM Y: 6944633.11

Potência (MW): 1

01. Emitir a Informação

Sair

Fonte: Elaborado pelo autor (2022).

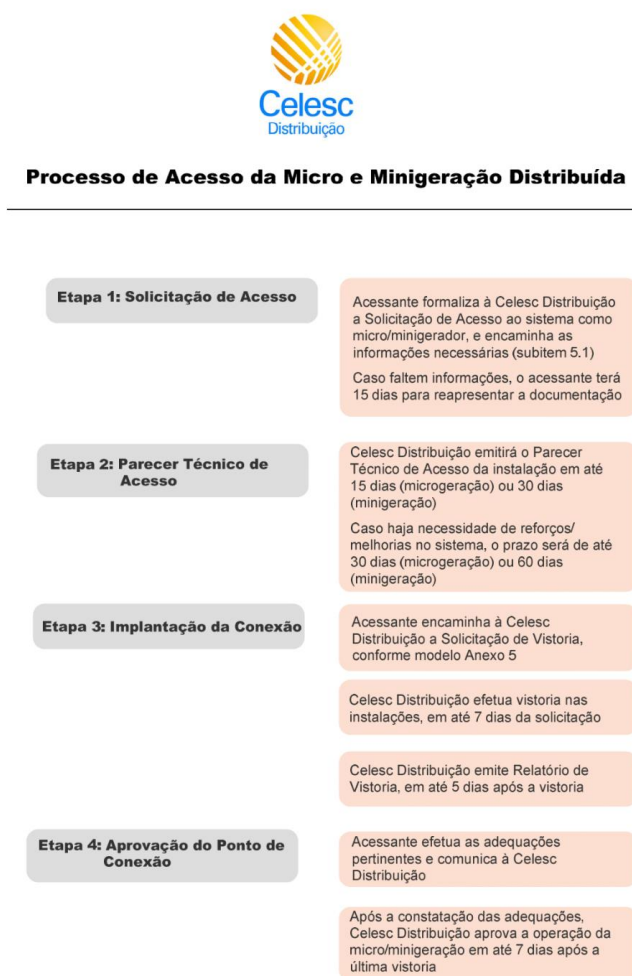
A Celesc S.A. utiliza o Sistema PEP, que é o sistema disponibilizado via internet pela Celesc Distribuição (<http://pep.celesc.com.br/>), para a apresentação e análise de projetos elétricos de particulares.

Para realizar o pedido para a entrada com seu gerador no sistema de distribuição da CELESC, o acessante deve realizar uma Consulta de Acesso, procedimento facultativo para elaboração do documento de Informação de Acesso, que apresenta alternativa de conexão, estimativa de custo e condições de implantação da central geradora.

Após o acessante cadastrar suas informações no Sistema PEP, é dado prosseguimento ao estudo para a inserção do gerador ao sistema. O fluxograma da figura 3 explicita todo o processo que o acessante deve realizar para a conexão de seu gerador ao sistema de distribuição.

Este trabalho tem como foco a Etapa 1 - Solicitação de Acesso.

Figura 3 – Processo de Acesso de Micro e Minigeração Distribuída.



### 2.1.3 BIBLIOTECA PANDAPOWER E FLUXO DE POTÊNCIA

A biblioteca em questão foi produzida em conjunto pela Universidade de Kassel e o *Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology*, ambos localizados em Kassel, Hessen, na Alemanha central.

O solucionador de fluxo de potência utilizado na biblioteca *pandapower* é baseado no método Newton-Raphson. A implementação foi originalmente baseada no *PYPOWER* (outra biblioteca em *Python*), mas foi aprimorada em relação à robustez, tempo de execução e usabilidade.

O método Newton-Raphson é conhecido pela boa convergência em problemas de fluxo de potência e pela facilitação da aplicação de esparsidade na matriz admitância, ocasionando, assim, tempos de execução baixos.

Para o entendimento completo acerca deste trabalho, abaixo, há uma revisão teórica do método Newton-Raphson:

Para a aplicação do método, há de ser montada algumas matrizes, a primeira será a Matriz de Incidência Ramos-Barras ( $A$ ):

Primeiro, relacionam-se as tensões nos ramos às tensões nodais:

$$V_l = A \cdot V_{BARRA} \quad (1)$$

A dimensão da matriz de incidência ramos-barras ( $A$ ) é dada por:  $n_l \times N$ , sendo:

$n_l$  : número de ramos da rede elétrica;

$N$ : número de barras da rede.

$A = [a_{ij}]$  tal que:

+1, se a barra  $j$  é a barra inicial do ramo  $i$ ;

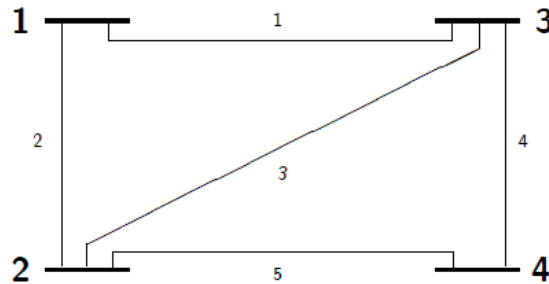
-1, se a barra  $j$  é a barra final do ramo  $i$ ;

0, se o ramo  $i$  não incidir na barra  $j$ .

Para tal, é preciso dar orientação aos ramos. A orientação dos ramos é induzida pela forma como os dados de ramo são lidos nos programas aplicativos. Tipicamente: Barra de origem do ramo, barra de destino do ramo, impedância série, susceptância shunt, etc.

Na figura 4, observa-se um exemplo da montagem da matriz  $Y_{BARRA}$ , utilizando um sistema de 4 barras e 5 ramos.

Figura 4 – Sistema de 4 barras e 5 ramos.



Fonte: Costa (2011)

Notas de aula de Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos de Potência, UFSC, 2011.

Matriz  $Y_{BARRA}$  com um sistema de 4 barras e 5 ramos.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

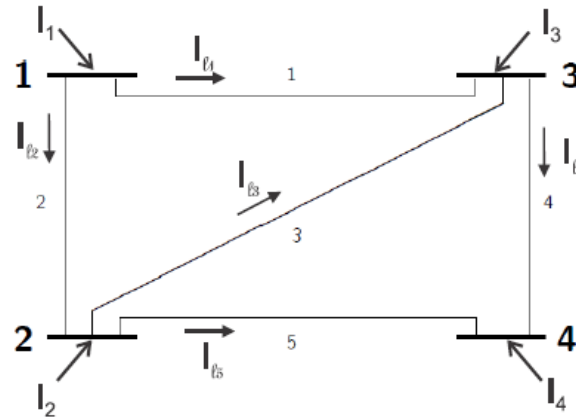
Verifica-se que:

$$A \cdot V_{BARRA} = \begin{bmatrix} V1 - V3 \\ V1 - V2 \\ V2 - V3 \\ V3 - V4 \\ V2 - V4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V11 \\ V12 \\ V13 \\ V14 \\ V15 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Agora, pode-se definir a matriz  $Ibarra$ , utilizando o mesmo sistema descrito acima, como ilustra a figura 5.



Figura 5 – Vetores das correntes injetadas nas barras.



Fonte: Costa (2011)

Notas de aula de Planejamento da Operação de Sistemas Elétricos de Potência, UFSC, 2011.

Matriz Ibarra:

$$A^T \cdot I_l = \begin{bmatrix} I_{l1} + I_{l2} \\ -I_{l2} + I_{l3} + I_{l5} \\ -I_{l1} - I_{l2} + I_{l4} \\ -I_{l4} - I_{l5} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \\ I_4 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Assim, pode-se definir  $I_l$  sendo:

$$I_{BARRA} = A^T \cdot I_l \quad (5)$$

Pode-se definir a formulação nodal para a rede elétrica:

$$I_{BARRA} = Y_{BARRA} \cdot V_{BARRA} \quad (6)$$

Sendo:

$I_{BARRA}$  = Vetor de injeções de correntes nas barras;

$Y_{BARRA}$  = Matriz (N x N) de impedância das barras;

$V_{BARRA}$  = Vetor das tensões nodais.

A Matriz de Admitâncias Primitivas ( $Y_{prim}$ ) é definida como uma matriz diagonal contendo as admitâncias caracterizadoras de cada ramo do grafo que modela a rede elétrica. Elementos transversais (shunt), se existirem, devem ser considerados tanto em  $A$  quanto em  $Y_{prim}$ .

Demonstra-se que:

$$Y_{BARRA} = A^T \cdot Y_{prim} \cdot A \quad (7)$$

Cada ramo longitudinal i-j da rede contribui para 4 posições em  $Y_{BARRA}$  : (i , i ), (i , j ), (j , i ) e (j , j ). Um elemento transversal que conecta a barra i à terra contribui apenas para o elemento (i , i ) de  $Y_{BARRA}$ .

Para conectar elementos shunt, como já mencionado, deve-se considerá-los tanto em  $Y_{prim}$  quanto em  $A$ , e, assim, criar barra adicional (N + 1). Para representar os nós terra, os elementos transversais devem ser conectados entre a barra terminal da Linha de Transmissão (LT) e os nós terra. A matriz  $Y_{BARRA}$  é, então, calculada da forma usual, utilizando a Equação 4 e, posteriormente, a linha e a coluna (N + 1) são descartadas.

Podem ser feitas algumas observações sobre o sistema apresentado:

Mesmo se as impedâncias transversais forem desprezadas, os elementos diagonais de  $Y_{BARRA}$  são não-nulos (supondo que todas as barras têm pelo menos um ramo longitudinal incidente);

Um elemento fora da diagonal  $Y_{ij}$  será não-nulo se as barras i e j estão conectadas por um ramo da rede;

Em sistemas de potência reais, a grande maioria dos elementos de  $Y_{BARRA}$  é igual a zero, ou seja,  $Y_{BARRA}$  é esparsa;

Em termos computacionais, é preferível não se utilizar a equação 4, e sim utilizar um algoritmo que faz uso das observações acima sobre a estrutura de  $Y_{BARRA}$ .

Para o equacionamento das potências ativas e reativas injetadas na rede, tem-se:

$$P_i(V, \delta) + jQ_i(V, \delta) = V_i \cdot I_i^* = V_i \cdot \sum_{k=1}^N (Y_{BARRA})_{ik}^* V_K^* \quad (8)$$

Com  $V_i = V_{i\angle\delta_i}$  e  $V_k = V_{k\angle\delta_k}$  isso fornece:

$$P_i(V, \delta) = V_i \cdot \sum_{k \in \Omega_i}^N (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}) V_k \quad (9)$$

$$Q_i(V, \delta) = V_i \cdot \sum_{k \in \Omega_i}^N (G_{ik} \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \delta_{ik}) V_k \quad (10)$$

Sendo:

$$\delta_{ik} \triangleq \delta_i - \delta_k \quad (11)$$

$$(Y_{BARRA})_{ik} \triangleq G_{ik} + jB_{ik} \quad (12)$$

As potências ativas ou reativas devem ser especificadas em cada barra e, assim, calculam-se as tensões complexas nas barras para que os resíduos de potência nas barras sejam iguais a zero.

$$\Delta P_i = P_i^{spec} - P_i(V, \delta) \quad (13)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{spec} - Q_i(V, \delta) \quad (14)$$

Portanto, têm-se:

- 4 variáveis por barra e
- 2 equações para cada barra.

Duas das variáveis devem ser especificadas para que a solução do sistema seja determinada. Além disso,  $P_i$  não pode ser especificada em todas as barras, pois as perdas de transmissão são desconhecidas.

Classificação das barras:

- Barras PQ:  $P_i$  e  $Q_i$  são especificados;
- Barras PV:  $P_i$  e  $V_i$  são especificados;
- Barras  $V_\delta$ , ou de folga:  $V_i$  e  $\delta_i$  são especificados.

Equações para as barras PQ:

$$\Delta P_i = P_i^{spec} - P_i(V, \delta) = 0 \quad (15)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{spec} - Q_i(V, \delta) = 0 \quad (16)$$

Equações para as barras PV:

$$\Delta P_i = P_i^{spec} - P_i(V, \delta) = 0 \quad (17)$$

Nenhuma equação é necessária para a barra de folga, o método de Newton-Raphson é utilizado para resolver o sistema de equações acima.

Os fundamentos para essa solução de equação não linear são demonstrados a seguir:

Deseja-se resolver a seguinte equação, onde  $f$  é não-linear e  $x$  é escalar:

$$f(x) = 0 \quad (18)$$

A função de  $f$  é expandida em série de Taylor em torno de um ponto  $x^k$  e posteriormente truncada no termo de 1ª ordem

$$f(x) \approx f(x^k) + f'(x^k)\Delta x \quad (19)$$

A solução iterativa:

$$\Delta x = \frac{-f(x^k)}{f'(x^k)} \quad (20)$$

$$x^{k+1} = x^k + \Delta x \quad (21)$$

Deseja-se agora resolver um sistema de  $n$  equações não-lineares a  $n$  incógnitas:

$$f(x) = 0 \quad (22)$$

A solução pelo método de Newton-Raphson fornece:

$$x^{k+1} = x^k + \Delta x \quad (23)$$

$$F(x^k)\Delta x = -f(x^k) \quad (24)$$

Sendo:

$$F(x^k) \triangleq \left[ \frac{\partial f_i}{\partial x_j} \right] \Big|_{x=x^k} \text{ é a matriz jacobiana de } f(x) \quad (25)$$

Suponha que agora têm-se dois conjuntos de equações não-lineares, funções de dois conjuntos de incógnitas de natureza distinta:

$$f_1(x_1, x_2) = 0 \quad (26)$$

$$f_2(x_1, x_2) = 0 \quad (27)$$

Neste caso, a aplicação do método de N-R fornece

$$\begin{aligned} & [F_{11}(x_1^k, x_2^k) \ F_{12}(x_1^k, x_2^k) \ F_{21}(x_1^k, x_2^k) \ F_{22}(x_1^k, x_2^k) ] [\Delta x_1 \ \Delta x_2] \\ & = -[f_1(x_1, x_2) \ f_2(x_1, x_2)] \end{aligned} \quad (28)$$

Sendo:

$$F_{ij}(x_1^k, x_2^k) = \frac{\partial f_i(x_1, x_2)}{\partial x_j} \Big|_{x_1=x_1^k, x_2=x_2^k} \quad (29)$$

O objetivo é resolver o sistema de equações não-lineares composto por:

Equações para as barras PQ e PV:

$$\Delta P_i = P_i^{spec} - P_i(V, \delta) = 0 \quad (30)$$

Equações para as barras PQ:

$$\Delta Q_i = Q_i^{spec} - Q_i(V, \delta) = 0 \quad (31)$$

Portanto:

- Equações de potência ativa  $\leftrightarrow f_1 = 0$
- Equações de potência reativa  $\leftrightarrow f_2 = 0$ 
  - $V, \delta \leftrightarrow x_1, x_2$

Consequentemente, o sistema de equações do método de N-R

$$[F_{11} \ F_{12} \ F_{21} \ F_{22}] [\Delta x_1 \ \Delta x_2] = -[f_1(x_1^k, x_2^k) \ f_2(x_1^k, x_2^k)] \quad (32)$$

pode ser reescrito como

$$[H \ N \ J \ L] [\Delta \delta_{PV \ e \ PQ} (\Delta V/V)_{PQ}] = [\Delta P_{PV \ e \ PQ} \Delta Q_{PQ}] \quad (33)$$

Sendo:

$$H = \frac{\partial P_{PV \ e \ PQ}}{\partial \delta} \quad (34)$$

$$N = V \cdot \frac{\partial P_{PV \ e \ PQ}}{\partial V} \quad (35)$$

$$J = \frac{\partial Q_{PQ}}{\partial \delta} \quad (36)$$

$$L = V \cdot \frac{\partial Q_{PQ}}{\partial V} \quad (37)$$

Submatriz **H**:

$$H_{ii} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_i} = -V_i^2 B_{ii} - \sum_{k \in \Omega_i}^N V_i V_k (G_{ik} \sin \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \cos \delta_{ik}) \quad (38)$$

$$Q_i^{calc} = \sum_{k \in \Omega_i}^N V_i V_k (G_{ik} \sin \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \cos \delta_{ik}) \quad (39)$$

$$H_{ik} = \frac{\partial P_i}{\partial \delta_k} = V_i V_k (G_{ik} \sin \sin \delta_{ik} - B_{ik} \cos \cos \delta_{ik}) \quad (40)$$

Submatriz **J**:

$$J_{ii} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_i} = -V_i^2 G_{ii} + \sum_{k \in \Omega_i}^N V_i V_k (G_{ik} \cos \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \sin \delta_{ik}) \quad (41)$$

$$P_i^{calc} = \sum_{k \in \Omega_i}^N V_i V_k (G_{ik} \cos \delta_{ik} + B_{ik} \sin \delta_{ik}) \quad (42)$$

$$J_{ik} = \frac{\partial Q_i}{\partial \delta_k} = -V_i V_k (G_{ik} \sin \delta_{ik} + B_{ik} \cos \delta_{ik}) \quad (43)$$

Com as equações 36 e 39, podem-se simplificar os cálculos para as próximas submatrizes:

Submatriz **N**:

$$N_{ii} = V_i \cdot \frac{\partial P_i}{\partial V_i} = P_i^{calc} + V_i^2 G_{ii} \quad (44)$$

$$N_{ik} = V_k \cdot \frac{\partial P_i}{\partial V_k} = -J_{ik} \quad (45)$$

Submatriz **L**:

$$L_{ii} = V_i \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial V_i} = Q_i^{calc} - V_i^2 B_{ii} \quad (46)$$

$$L_{ik} = V_k \cdot \frac{\partial Q_i}{\partial V_k} = H_{ik} \quad (47)$$

Passo 1:

Para realizar o sistema iterativo, inicializa-se o contador  $k=0$  e sugerem-se valores iniciais para os módulos e ângulos das tensões nodais,  $\delta^0$  e  $V^0$ .

Passo 2:

Calculam-se os resíduos de potência ativa para as barras PV e PQ e de potência reativa para as barras PQ:

$$\Delta P_i = P_i^{espec} - P_i^{calc}(\delta^k, V^k) \quad (48)$$

$$\Delta Q_i = Q_i^{espec} - Q_i^{calc}(\delta^k, V^k) \quad (49)$$

Passo 3:

Verifica-se convergência se  $\Delta P_i$  e  $\Delta Q_i$  forem maiores que um erro estipulado:

$$\Delta P_i > \varepsilon \quad (50)$$

$$\Delta Q_i > \varepsilon \quad (51)$$

Faz-se  $k = k+1$  e segue-se para o passo 4. Se não, a convergência foi alcançada.

Passo 4:

Formação da matriz Jacobiana e resolução do sistema linear da equação (30)

Passo 5:

Atualização das tensões nodais

$$\delta^k = \delta^{(k-1)} + \Delta\delta \quad (52)$$

$$V^k = V^{(k-1)} + \Delta V \quad (53)$$

Passo 6:

Para as barras PV, verificar os limites de geração de potência reativa: se  $Q_i^{calc}$  está fora dos limites, fixar  $Q_i$  no limite violado e tratar a barra i como barra PQ;

Passo 7:

Retornar ao passo 2



### 3 DOCUMENTAÇÃO DO CÓDIGO

Este capítulo visa à documentação e à explicação do código fonte do programa de informação de acesso.

A seguir, constam as versões da linguagem de programação python e das bibliotecas utilizadas.

- Python==3.10.8
- BeautifulSoup4==4.11.1
- docx==0.2.4
- easygui==0.98.3
- ipython==8.8.0
- networkx==2.8.8
- numpy==1.24.0
- openpyxl==3.0.10
- pandapower==2.10.1
- pandas==1.5.2
- plotly==5.11.0
- pycairo==1.23.0
- pyproj==3.4.1
- PySimpleGUI==4.60.4
- python-docx==0.8.11
- requests==2.28.1
- selenium==4.7.2
- Unidecode==1.2.0
- numba==0.56.4
- matplotlib==3.6.2

O programa começa pela introdução por parte do usuário das informações necessárias para a inicialização do programa que são:

- Nome da usina;
- Código da solicitação;
- Alimentador específico (opcional);
- Coordenadas m E, m S em UTM.
- Potência da usina.

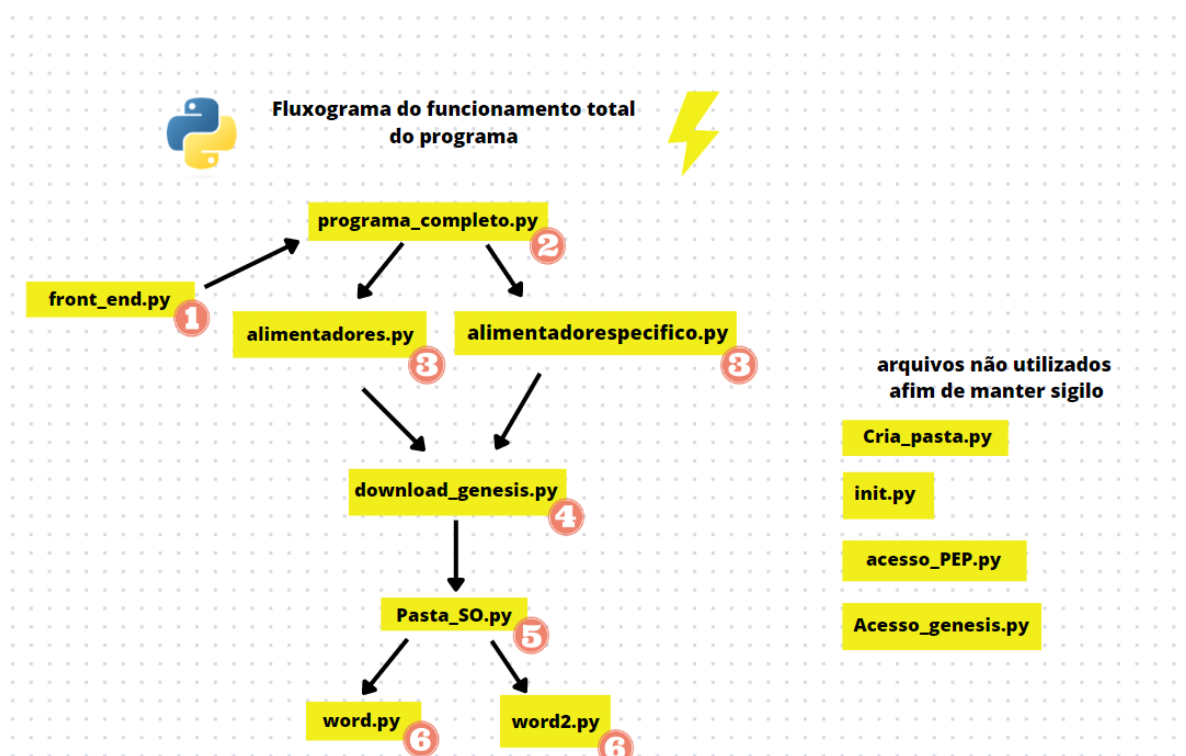
O programa conta com os seguintes arquivos em python:

- Acesso\_genesis.py
- acesso\_PEP.py
- alimentadores.py
- alimentadorespecifico.py
- Cria\_pasta.py
- download\_genesis.py

- front\_end.py
- init.py
- Pasta\_SO.py
- programa\_completo.py
- word.py
- word2.py

Podemos acompanhar pelo fluxograma, presente na figura 6, qual é a ordem de execução de cada um dos arquivos descritos:

Figura 6 – Fluxograma para a explicação do código



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A seguir, serão explicadas a funcionalidade de cada arquivo e sua sequência de execução.

O primeiro arquivo a ser executado é o front\_end.py, que é responsável por criar a interface ao usuário, utilizando a biblioteca PySimpleGUI, após o preenchimento das informações por parte do usuário e o clique no botão 01. Emitir a Informação, há a execução do programa\_completo.py, que, durante sua execução, chama todos os outros arquivos descritos acima.

A primeira função que o programa\_completo.py chama é a ponto\_analise (UTMX, UTM Y), que está dentro do arquivo alimentadores.py, o ponto\_análise utiliza seis arquivos .csv que são:

- Alimentador.csv – Quadro 1
- Fusivel.csv – Quadro 2
- Reguladores.csv – Quadro 3
- Religadores.csv – Quadro 4
- Seccionadora.csv – Quadro 5
- Transformador.csv – Quadro 6

O arquivo alimentadores.py tem por objetivo procurar os alimentadores mais perto do ponto de conexão com base nos equipamentos que estão descritos nos arquivos com extensão .csv mencionados acima. O programa utiliza um enquadramento que vai aumentando a cada iteração, quando o quadrado fica suficientemente grande e acusa a leitura de pelo menos dois equipamentos do mesmo alimentador dentro de seu perímetro, o programa indicará que este deve ser o alimentador, no qual se deve realizar a conexão. Ao final do programa, ele retorna um dicionário que contém o alimentador, o código do equipamento, a distância do equipamento até o ponto de conexão, a regional na qual o alimentador está alocado e a tensão do alimentador.

A seguir, será descrito cada Quadro dos seis arquivos com extensão .csv. Cada quadro contém todos os equipamentos em todas as regionais que estão sob domínio da Celesc Distribuição S.A. A fim de manter os dados da Celesc sob sigilo, será apenas demonstrado até a segunda linha de cada arquivo.

A configuração dos Quadros de que o programa realiza as leituras fica a critério de cada concessionária de energia ou pessoa física que utilizar um banco de dados e achar necessário ao seu estudo.

O arquivo **Alimentador.csv** tem a seguinte configuração:

Quadro 1 – Alimentador.csv.

Regional. Nome da Regional	Alimentador. Código do Alimentador	Alimentador. Coordenada X	Alimentador. Coordenada Y	Alimentador.Tens ão Nominal do Alimentador
S MIGUEL OESTE	MCR04	260737.29	7000781.97	2 - 23 kV
BLUMENAU	BND16	689745.35	7036150.18	1 - 13.8 kV

Fonte: Celesc (2023)

O arquivo **Fusivel.csv** tem a seguinte configuração:

Quadro 2 – Fusivel.csv.

Alimentador. Código do Alimentador	Chave Fusível. Número Operacional	Chave Fusível. Fase Ligada	Chave Fusível. Em Serviço	Chave Fusível. Coordenada X	Chave Fusível. Coordenada Y
IRA06	4444	11 - RTS	1 - sim	637364.29	7015736.27
PGI01	70171	13 - STR	1 - sim	626585.48	7019230.83

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo **Reguladores.csv**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 3 – Reguladores.csv.

Alimentador. Código do Alimentador	Banco Regulador de Tensão. Número Operacional	Banco Regulador de Tensão. Em Serviço	Banco Regulador de Tensão. Coordenada X	Banco Regulador de Tensão. Coordenada Y	Banco Regulador de Tensão. É Banco?
BND02	311	1 - sim	697078.29	7050967.43	1 - Sim
SMD11	321	1 - sim	265796.28	7033377.31	1 - Sim

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo **Religadores.csv**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 4 – Religadores.csv.

Alimentador. Código do Alimentador	Religador. Número Operacional	Religador. Em Serviço	Religador. Coordenada X	Religador. Coordenada Y	Religador. Fase Ligada
VDA01	539	1 - sim	477020.04	7007811.7	11 - RTS
IOS52	89021	1 - sim	613889.26	7085573.24	2 - S

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo **Seccionadora.csv**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 5 – Seccionadora.csv.

Alimentador. Código do Alimentador	Seccionaliza dorNúmero Operacional	Seccionaliza dor.Fase Ligada	Seccionaliza dor.Em Serviço	Seccionaliza dor.Coorden ada X	Seccionaliza dor.Coorden ada Y
FBO03	104	15 - TSR	1 - sim	519475.29	6977129.48

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo **Transformador.csv**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 6 – Transformador.csv.

Alimentador. Código do Alimentador	Transformad or.Número Operacional	Transformad or.Conectado ?	Ramal de Ligação. Fase	Ramal de Ligação. Coordenada X	Ramal de Ligação. Coordenada Y
PGI03	7961	1 - sim	7 - ABC	612458.33	7030361.34
IRA06	9837	1 - sim	4 - AB	638213.35	7017789.22

Fonte: Celesc (2023)

Seguindo o *programa\_completo.py*, percebe-se um desvio que o programa poderá tomar, caso o usuário escolha um alimentador específico. Por padrão, caso o usuário não escolha um alimentador específico, a caixa deverá conter o texto padrão **‘alimentador mais próximo’** e o programa tomará o caminho utilizando as funções contidas no *alimentadores.py*. Caso, por exemplo, o usuário escolha o alimentador PGI03, o programa irá executar as funções contidas no *alimentadorespecifico.py* e irá apenas escolher o equipamento mais próximo do ponto de conexão que esteja conectado no alimentador solicitado.

A diferença entre o *alimentadores.py* e *alimentadorespecifico.py* encontra-se no aumento dos argumentos da função `ponto_analise_alimentador_especifico(UTMX, UTMY, alimentadorespec)`: a qual recebe uma string *alimentadorespec*, que contém o alimentador escolhido pelo usuário. Existe mais uma pequena alteração a partir da linha 212, na qual o programa apenas procura na lista de alimentadores encontrados o número da posição na qual o alimentador está localizado para que a função retorne o alimentador desejado, seu equipamento, sua distância e regional, na figura 7, está ilustrada a diferença entre os dois arquivos.

Figura 7 – Alteração do arquivo *alimentadorespecifico.py* em comparação com o arquivo *alimentadores.py*.

```
index = alimentadores.index(alimentadorespec)

alimentador = alimentadores[index]
equipamento = dicionario['Usina'][f'Ponto Ali {index+1}'][0]
distancia = dicionario['Usina'][f'Distância Ali {index+1}'][0]

return (alimentador, equipamento, distancia, reg)
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A seguir, o *programa\_completo.py* executa a função `download_genesis(alimentador, sigla, Pasta_mae, Pasta_alimentador)`, que se encontra no arquivo *download\_genesis.py*, conforme é mostrado na figura 8.

Figura 8 – Arquivo *download\_genesis.py*.

```
def download_genesis(alimentador, sigla, Pasta_mae, Pasta_alimentador):
    try:
        os.makedirs(Pasta_alimentador)
    except:
        print('Essa Pasta Já Existe.')
    else:
        print('A Pasta Foi Criada.')
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Essa função contida nesse arquivo tinha por objetivo baixar os arquivos que estão contidos no sistema Genesis de utilização da CELESC. Para manter o sigilo ao acesso interno da CELESC, essa parte do código foi retirada para a confecção deste trabalho.

Para a elaboração deste trabalho, foram liberados dados de apenas dois alimentadores, um que se encontra na Subestação Trindade e tem a sigla TDE06. No caso, seria o alimentador mais próximo, se houvesse a instalação de uma minigeração distribuída localizada no CTC da UFSC Campus Florianópolis. E outro que se encontra na subestação Arabutã e tem a sigla ATA02, para a demonstração mais completa da necessidade de recondutoramento e substituição de diversos tipos de equipamentos.

O arquivo *download\_genesis.py* iria transferir dados de um computador remoto ( no caso, o computador remoto são os servidores onde estão alocados o banco de dados do GENESIS) para seu computador local.

Para a execução deste programa, foram utilizados 11 arquivos, que serão listados a seguir:

- 77022.csv (corresponde aos Transformadores Aéreos) – Quadro 7
- 77122.csv (corresponde aos Transformadores Subterrâneos) – Quadro 8
- 77322.csv (corresponde aos Bancos de Capacitores) – Quadro 9
- 77622.csv (corresponde aos Fusíveis) – Quadro 10
- 77623.csv (corresponde aos Religadores) – Quadro 11
- 77823.csv (corresponde às Subestações) – Quadro 12
- 77922.csv (corresponde aos Trechos Aéreos) – Quadro 13
- 77923.csv (corresponde aos Trechos Subterrâneos) – Quadro 14
- 78322.csv (corresponde aos Reguladores) – Quadro 15
- 78522.csv (corresponde as Chaves Seccionadoras) – Quadro 16
- 78622.csv (corresponde as Chaves Seccionadoras Subterrâneas) – Quadro 17

Para o arquivo que contém os **Transformadores Aéreos**, foram utilizadas as seguintes configurações:

Quadro 7 – Transformadores.

Alimentador. Código do Alimentador	Transformador de Distribuição Aéreo. Identificador do Objeto	Transformador de Distribuição Aéreo. Número Operacional	Transformador de Distribuição Aéreo. Coordenada X	Transformador de Distribuição Aéreo. Coordenada Y	Transformador de Distribuição Aéreo. Potência Nominal (kVA)	Transformador de Distribuição Aéreo. Demanda Total (kVA)	Transformador de Distribuição Aéreo. Potência instalada GD total (W)	Transformador de Distribuição Aéreo. Tensão do TAP ajustado (kV)	Transformador de Distribuição Aéreo. Proprietário
TDE06	93901	15072	743861.61	6944394.45	112.5	50.3	11000	17	1 - Celesc

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém os **Transformadores Subterrâneos**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 8 – Transformadores Subterrâneos.

Alimentador. Código do Alimentador	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Identificador do Objeto	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Número Operacional	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Coordenada X	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Coordenada Y	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Potência Nominal (kVA)	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Demanda Total (kVA)	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Potência instalada GD total (W)	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Tensão do TAP ajustado (kV)	Transformador de Distribuição Subterrâneo. Proprietário
TDE06	3668	72180	744028.68	6944399.57	150	18	0	16	2 - Particular

Fonte: Celesc (2023)



Para o arquivo que contém os **Bancos de Capacitores**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 9 – Bancos de Capacitores.

Alimentador. Código do Alimentador	Banco Capacitor. Identificador do Objeto	Banco Capacitor. Número Operacional	Alimentador. Coordenada X	Alimentador. Coordenada Y	Banco Capacitor. Potência Nominal	Banco Capacitor. Tipo de Banco	Banco Capacitor. Tipo de Controle	Banco Capacitor. Tipo de Ligação
CDS04	522	206	433462	7005354	300	2 - Paralelo	1 - Manual	1 - Estrela Aterrado

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém os **Fusíveis**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 10 – Fusíveis.

Alimentador. Código do Alimentador	Chave Fusível. Identificador do Objeto	Chave Fusível. Número Operacional	Chave Fusível. Coordenada X	Chave Fusível. Coordenada Y	Chave Fusível. Rotação
TDE06	22705	71920	744101.12	6944354.13	133.4

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém os **Religadores**, tem-se seguinte configuração:

Quadro 11 – Religadores.

Alimentador. Código do Alimentador	Religador. Identificador do Objeto	Religador. Número Operacional	Religador. Coordenada X	Religador. Coordenada Y	Religador. Rotação
TDE06	132109	89078	744214.49	6945130.37	164.7

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém as **Subestações**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 12 – Subestações.

Alimentador. Identificador do Objeto	Alimentador. Código do Alimentador	Alimentador. Tensão Nominal do Alimentador	Alimentador. Coordenada X	Alimentador. Coordenada Y
484	TDE06	1 - 13.8 kV	746.822.930.875.643	694.438.791.106.275

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém os **Trechos Aéreos**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 13 – Trechos Aéreos.

Alimentador. Código do Alimentador	Trecho Primário Aéreo. Identificador do Objeto	Rep. Grafica: Trecho Primário Aéreo.Linha	Rep. Grafica: Trecho Primário Aéreo.Rotação	Trecho Primário Aéreo. Comprimento Estimado	Trecho Primário Aéreo. Quantidade de Cabos por Fase	Trecho Primário Aéreo. Fases Existentes	Tipo de Cabo. Código de cabo	Tipo de Cabo. Reatância Positiva	Tipo de Cabo. Reatância Zero	Tipo de Cabo. Resistência Positiva	Tipo de Cabo. Resistência Zero
TDE06	1347444	LINESTRING (743979.798756 12 6944277.221345 23, 743987.28 6944291.38)	0	160.136.352.8 01.216	01/jan	10 - RST	1/0 CA	0.451	1.917	0.605	0.779

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém os **Trechos Subterrâneos**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 14 – Trechos Subterrâneos.

Alimentador. Código do Alimentador	Trecho Primário Subterrâneo. Identificador do Objeto	Rep. Grafica: Trecho Primário Subterrâneo. Linha	Rep. Grafica: Trecho Primário Subterrâneo. Rotação	Trecho Primário Subterrâneo. Comprimento Estimado	Trecho Primário Subterrâneo. Quantidade de Cabos por Fase	Trecho Primário Subterrâneo. Fases Existentes	Tipo de Cabo. Código de cabo	Tipo de Cabo. Reatância Positiva	Tipo de Cabo. Reatância Zero	Tipo de Cabo. Resistência Positiva	Tipo de Cabo. Resistência Zero
TDE06	75	LINESTRING (744566.82 6944956.53, 744563.67 6944960.6)	0	51.465.911.043.128	01/jan	10 - RST	35 mm2- RDS-CU- 15kV-XLPE	0.168	16.724	0.668	1.864

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém os **Reguladores**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 15 – Reguladores.

Alimentador. Código do Alimentador	Banco Regulador de Tensão. Identificador do Objeto	Banco Regulador de Tensão. Número Operacional	Banco Regulador de Tensão. Coordenada X	Banco Regulador de Tensão. Coordenada Y	Banco Regulador de Tensão. Rotação	Banco Regulador de Tensão. Tensão de Regulação (PU)	Banco Regulador de Tensão. Nível de Tensão (V)
SCO03	152	309	533070.57	6983458.5	285.9	1	25

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém as **Chaves Seccionadoras**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 16 – Chaves Seccionadoras.

Alimentador. Código do Alimentador	Chave Seccionadora. Identificador do Objeto	Chave Seccionadora. Número Operacional	Chave Seccionadora. Coordenada X	Chave Seccionadora. Coordenada Y
TDE06	189709	1448	744171.73	6944393.09

Fonte: Celesc (2023)

Para o arquivo que contém as **Chaves Seccionadoras Subterrâneas**, tem-se a seguinte configuração:

Quadro 17 – Chaves Seccionadoras Subterrâneas.

Alimentador. Código do Alimentador	Chave Subterrânea. Identificador do Objeto	Chave Subterrânea. Número Operacional	Chave Subterrânea. Coordenada X	Chave Subterrânea. Coordenada Y
ATA02	1525630	17899	6443511.67	5944353.25

Fonte: Celesc (2023)

A seguir, o programa realiza a leitura de todos esses documentos descritos nos Quadros acima, porém fazendo algumas correções e modificações para a extração e leitura dos dados necessários, como ilustrado na Figura 9, em que há a remoção da palavra LINESTRING, e a definição correta do início e final de cada linha de distribuição.

Figura 9 – Correção dos dataframes que contêm os Trechos Aéreos e os Trechos Subterrâneos.

```
def parse_linecoord(linecoord):
    if 'LINESTRING' not in linecoord:
        return None, None

    for i in range(len(df_lines)):
        variavel = linecoord.replace('LINESTRING (', '').replace(')', '').split(',')
        start_x, start_y = [float(i) for i in (variavel[0].split(' '))]
        end_x, end_y = [float(i) for i in (variavel[-1][1:].split(' '))]
        return [(start_x, start_y), (end_x, end_y)]

    coord_lines = df_lines['graf'].apply(parse_linecoord)

    #####
    #####
    i=0
    coord_lines.dropna(inplace=True)
    coord_lines = coord_lines.reset_index(drop=True)
    for i in range(len(coord_lines)):
        if len(coord_lines[i])==3:
            del coord_lines[i][1]

    #####
    #####

    df_lines = pd.concat([df_lines, pd.DataFrame(coord_lines.to_list(),
                                                columns=['coord_start', 'coord_end'],
                                                index=df_lines.index)], axis=1)

    df_lines = df_lines.drop(['graf'], axis=1)
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Após esse processo, há a organização das tensões de cada linha, de suas bitolas e impedâncias características, e a criação de uma linha vazia utilizando a função fornecida pela biblioteca *pandapower*, *net = pp.create\_empty\_network()*, que é necessária ao início da criação de cada novo sistema, como ilustrado na Figura 10. Como nas linhas de distribuição da CELESC existem apenas 3 níveis diferentes de tensão (13,8 kV, 23 kV e 34,5 kV), há a definição das características de apenas 3 linhas.

Figura 10 – Definições das linhas de distribuição.

```

# Criando Bus com Número
# Criação da Rede
subestacao = df_subestacao['bus']
subestacao = subestacao[0]
subestacao = int(subestacao)
tensao_alimentador = df_subestacao.iloc[0]['tensão']
tensao_alimentador = tensao_alimentador[:1]
if tensao_alimentador == '1':
    vn = 13.8
    vn_sub = '13'
    tensao_alimentador = '15'
    bitola = '185'
    tensao_cabo = '15'
    imped_x_caracteristica = 0.264
    imped_y_caracteristica = 0.295

if tensao_alimentador == '2':
    vn = 23
    vn_sub = '23'
    tensao_alimentador = '23'
    bitola = '150'
    tensao_cabo = '25'
    imped_x_caracteristica = 0.210
    imped_y_caracteristica = 0.285

if tensao_alimentador == '3':
    vn = 34.5
    vn_sub = '34,5'
    tensao_alimentador = '34.5'
    bitola = '150'
    tensao_cabo = '35'
    imped_x_caracteristica = 0.210
    imped_y_caracteristica = 0.285

net = pp.create_empty_network()

```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A seguir, é realizada a criação do sistema que está conectado ao alimentador em questão. O lançamento das barras é realizado em diferentes etapas. Primeiramente, há o lançamento dos transformadores, chaves, fusíveis e religadores, depois o lançamento das linhas que fazem essas conexões, em seguida, o lançamento separado de cargas, geradores e banco de capacitores.

Para a criação da barra de folga, que muitas vezes é chamada de slack-bus ou barra slack, há a necessidade da leitura de um arquivo .xlsx para a coleta de informações a respeito das correntes de curto-circuito da subestação em questão, já que se define a barra de folga como a barra conectada à subestação. O arquivo encontra-se na pasta “Dados Subestações” e tem nome ICC.xlsx. Seguindo o mesmo padrão de demonstração dos arquivos, pode-se ver a configuração do arquivo em questão no quadro 18.

Quadro 18 – Dados de corrente de curto-circuito (ICC).

NÚM	NOME	TENSÃO	CC 3F (MVA)	X/R	CC FT (MVA)	X/R	CC FF (MVA)	X/R	R1 (pu)	X1 (pu)	R0 (pu)	X0 (pu)	% VAR CC 3F	% VAR CC FT	% VAR CC FF
2700	BJS 138	138kV	1426,7	3	1214,6	3,8	1235,6	3	0,0219	0,0666	0,0190	0,1057	0%	0%	0%

Fonte: Celesc (2023)

Após a leitura dos dados de curto-circuito, há a criação de uma barra de folga conectada à subestação, utilizando os dados descritos na figura 11.

Figura 11 – Criação da barra de folga.

```
# Lançamento da Slack-Bus
pp.create_ext_grid(net, subestacao,
    s_sc_max_mva=dados_curto['CC 3F (MVA)'][0],
    s_sc_min_mva=dados_curto['CC FF (MVA)'][0],
    rx_max=dados_curto['X/R'][0],
    rx_min=dados_curto['X/R.2'][0])
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A seguir, roda-se o fluxo de potência sem a conexão do novo minigerador, para se verificar a tensão inicial e, depois, conecta-se o gerador utilizando o ponto de conexão e a potência fornecidas pelo usuário, calcula-se novamente o fluxo de potência, para se verificar a tensão final. Com isso, consegue-se calcular a variação de tensão, que não pode ser maior que 4%, como está ilustrado na figura 12.

Figura 12 – Fluxo de potência.

```
# Roda o Fluxo de Potência
start_time = time.time()

pp.runpp(net, algorithm='nr')
valor_inicial = net.res_bus.iloc[ponto_conexao][0]

# Lançamento do Gerador em Análise
pp.create_sgen(net, ponto_conexao,
               p_mw = potencia_conexao,
               sn_mva = potencia_conexao,
               k=1.2)

pp.runpp(net, algorithm='nr')

valor_final = net.res_bus.iloc[ponto_conexao][0]
delta_v = (valor_final - valor_inicial)*100

print("--- %s seconds ---" % (time.time() - start_time))
print('Variação de Tensão Inicial: '+str(delta_v))
print('Tensão inicial: '+str(valor_inicial))
print('Tensão final: '+str(valor_final))
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

O programa, então, irá calcular o caminho mais curto entre a subestação e o ponto de conexão, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Caminho mais curto entre a subestação e o ponto de conexão.

```
mg = top.create_nxgraph(net)
path = nx.shortest_path(mg, subestacao, ponto_conexao)
barras = net.bus.loc[path]
barras.reset_index(inplace=True)
df_barras = pd.merge(barras, df_buses, how='inner', left_on=['index'], right_on = ['bus'])
df_reguladores.dropna(subset={'fu'}, inplace=True)
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Após o cálculo desse caminho, o programa irá identificar se há linha trifásica por meio da leitura dos dataframes ilustrados pelos quadros 13 e 14 de trechos aéreos ou subterrâneos, na coluna *Trecho Primário Subterrâneo.Fases Existentes*, se existir nessa coluna fases separadas, R, S ou T, o programa realizará o recondutoramento monofásico para linha trifásica



e a troca de todos equipamentos que se encontram na linha monofásica para equipamentos trifásicos, como ilustrado na figura 14.

Figura 14 – Recondutoramento monofásico para linha trifásica.

```
# Recondutoramento Monofásico para Trifásico
numero_linhas = 0
recondutoramento_mono = 0
equip_final_recon_mono = ''
prox_barra_recond_mono = ''
if '3 - T' in df_linhas.values or '2 - S' in df_linhas.values or '1 - R' in df_linhas.values:
    # Caso seja a fase T
    if '3 - T' in df_linhas.values:
        numero_linhas = (df_linhas['nfases'] == '3 - T').sum()
        lista_recond_mono = df_linhas[df_linhas['nfases'] == '3 - T']
        recondutoramento_mono = df_linhas.loc[df_linhas['nfases'] == '3 - T', 'Length_km'].sum()
    # Caso seja a fase S
    if '2 - S' in df_linhas.values:
        numero_linhas = (df_linhas['nfases'] == '2 - S').sum()
        lista_recond_mono = df_linhas[df_linhas['nfases'] == '2 - S']
        recondutoramento_mono = df_linhas.loc[df_linhas['nfases'] == '2 - S', 'Length_km'].sum()
    # Caso seja a fase R
    if '1 - R' in df_linhas.values:
        numero_linhas = (df_linhas['nfases'] == '1 - R').sum()
        lista_recond_mono = df_linhas[df_linhas['nfases'] == '1 - R']
        recondutoramento_mono = df_linhas.loc[df_linhas['nfases'] == '1 - R', 'Length_km'].sum()
for i in range(len(lista_recond_mono)):
    net.line['r_ohm_per_km'] = np.where(((net.line["from_bus"] == lista_recond_mono["from_bus"].iloc[-i])
    & (net.line["to_bus"] == lista_recond_mono["to_bus"].iloc[-i])), imped_x_caracteristica, net.line['r_ohm_per_km'])
    net.line['x_ohm_per_km'] = np.where(((net.line["from_bus"] == lista_recond_mono["from_bus"].iloc[-i])
    & (net.line["to_bus"] == lista_recond_mono["to_bus"].iloc[-i])), imped_y_caracteristica, net.line['x_ohm_per_km'])
prox_barra_recond_mono = df_barras[:(numero_linhas)]
prox_barra_recond_mono.dropna(subset=['name'], inplace=True)
prox_barra_recond_mono = prox_barra_recond_mono['name'].iloc[-1]
if any(df_trafos['fu'] == prox_barra_recond_mono):
    # barra regulador é trafo
    equip_final_recon_mono = 'Transformador'
if any(df_fusiveis['fu'] == prox_barra_recond_mono):
    # barra regulador é fusível
    equip_final_recon_mono = 'Fusível'
if any(df_religadores['fu'] == prox_barra_recond_mono):
    # barra regulador é religador
    equip_final_recon_mono = 'Religador'
if any(df_chaves['fu'] == prox_barra_recond_mono):
    # barra regulador é religador
    equip_final_recon_mono = 'Chave Seccionadora'
else:
    recondutoramento_mono = 0
```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

A seguir, o programa irá realizar o recondutoramento das linhas trifásicas, verificando por meio de um laço *while* se o sistema respeitará a máxima variação de tensão em p.u. de 4%, como ilustrado na figura 15.

Figura 15 – Recondutoramento trifásico.

```

# Recondutoramento pela Variação de Tensão
# df_linhas = df_linhas[:numero_linhas]
i = 1
y = 0
maximo = len(df_linhas)
delta_recondutorado = 0
if delta_v > 4:
    try:
        while delta_v > 4 or maximo < y:
            net.line['r_ohm_per_km'] = np.where(((net.line["from_bus"] == df_linhas['from_bus'].iloc[-i])
            & (net.line["to_bus"] == df_linhas['to_bus'].iloc[-i])), imped_x_caracteristica, net.line['r_ohm_per_km'])
            net.line['x_ohm_per_km'] = np.where(((net.line["from_bus"] == df_linhas['from_bus'].iloc[-i])
            & (net.line["to_bus"] == df_linhas['to_bus'].iloc[-i])), imped_y_caracteristica, net.line['x_ohm_per_km'])

            net.sgen['in_service'] = np.where(net.sgen["bus"] == ponto_conexao, False, net.sgen['in_service'])
            pp.runpp(net, algorithm='nr')
            valor_inicial = net.res_bus.iloc[ponto_conexao][0]

            net.sgen['in_service'] = np.where(net.sgen["bus"] == ponto_conexao, True, net.sgen['in_service'])
            pp.runpp(net, algorithm='nr')

            valor_final = net.res_bus.iloc[ponto_conexao][0]
            delta_v = (valor_final - valor_inicial)*100

            print(delta_v)
            i=i+1
            y=y+1
        except:
            print('SO para o planejamento')
            sys.exit()
    if y == 0:
        delta_recondutorado = 0
    if y != 0:
        delta_recondutorado = df_linhas['Length_km'].iloc[-y:].sum()

recondutorament_total = delta_recondutorado
recondutoramento_normal = delta_recondutorado-recondutoramento_mono
caminho_recondutorado = df_linhas.iloc[-y:]
recondutorado = linhas[-y:].index

```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Após essa rotina, o programa verificará se houve necessidade de recondutoramento e se há a necessidade de substituição de equipamentos presentes no trecho do ponto de conexão até a subestação. A necessidade dessa substituição é realizada pela leitura dos *dataframes* já mencionados acima, pelos quadros 7,8,10,11,15,16 e 17. Para religadores, há a verificação se é um religador trifásico automático, com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação. Para reguladores, há a verificação se é um regulador trifásico automático com funcionalidade de fluxo reverso e sempre há a substituição de chaves fusíveis por chaves seccionadoras faca.

A seguir, o programa conta com uma função denominada *subs\_equipamentos(df\_barras)*, que realizará a efetivação da substituição dos equipamentos e também funções para a correção, caso haja a necessidade de passar as coordenadas para o padrão UTM, na zona 22 J, e elipse utilizada no padrão 'WGS84'.

Figura 16 – Corrente de curto circuito e nível de tensão.

```

def curto_circuito(potencia_conexao, vn):
    for line in net.sgen:
        net.sgen['in_service'] = False

    import pandapower.shortcircuit as sc
    sc.calc_sc(net, case="max", ip=True, ith=True, branch_results=True)
    curto = net.res_bus_sc
    curto_gd = curto.iloc[ponto_conexao]

    pot_usina = float(potencia_conexao)*1000
    # vn = 13.8

    Pot_curto = curto_gd['ikss_kA']*1000
    delta_curto = pot_usina/(Pot_curto*vn)
    print('Corrente de Curto-Circuito: ')
    print(delta_curto*100)
    curto_circuito(potencia_conexao, vn)

def nivel_tensao():
    import plotly.express as px
    import plotly.io as pio
    pio.renderers.default='browser'
    # pio.renderers.default='svg'
    resultado_tensao = net.res_bus
    resultado_tensao = resultado_tensao.reset_index()
    df_tensao_bar = pd.merge(barras, resultado_tensao, how='inner', left_on=['index'], right_on=['index'])
    df_tensao_bar['color'] = 0
    for i in range(len(df_tensao_bar)):
        if df_tensao_bar['vm_pu'][i] < 0.95:
            df_tensao_bar['color'][i] = 'red'
        if df_tensao_bar['vm_pu'][i] >= 0.95:
            df_tensao_bar['color'][i] = 'blue'

    fig = px.bar(df_tensao_bar, x=df_tensao_bar.index, y='vm_pu',
                 hover_data=['vm_pu'], color=df_tensao_bar['color'],
                 labels={'index': 'Barras'}, height=700)
    fig.show()
    nivel_tensao()

```

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Após esse procedimento, o programa irá calcular a corrente de curto-circuito e o nível de tensão, como ilustrado na figura 16.

A seguir o programa irá realizar a produção de alguns gráficos, para que o usuário que esteja realizando a consulta de acesso possa ter um melhor entendimento visual da linha de distribuição que está trabalhando, seus níveis de tensões, correntes e barras que estão com tensão abaixo ou acima de 0,95 pu.

E, em seguida, irá realizar a leitura de mais 3 arquivos .xlsx, para que seja possível a determinação da necessidade de substituição dos religadores da subestação ou que estejam no caminho entre o ponto de conexão e a subestação, além da leitura das variáveis a respeito da subestação que está sendo trabalhada, os arquivos estão descritos abaixo:

- Religadores Subestação.xlsx
- Religadores Alimentador.xlsx
- Lista Regionais.xlsx

Nos quadros 19,20 e 21 há uma representação da configuração das tabelas em Excel:

Quadro 19 – Religadores Subestação.xlsx.

ID	Tensão	Fabricante	Tipo Relé / Religador	Sensor de Tensão no 2 lado do Religador ?
TDE06	13,8 kV	COOPER	RL NOVA 27 / F6	SIM

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Quadro 20 – Religadores Alimentador.xlsx.

REG	N_EQP	MARCA/MODELO	Possuem Sensor nos 2 lados do RL ?
ARFLO	500	ECIL/TA/NF	SIM

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Quadro 21 – Lista Regionais.xlsx.

Alimentador	Reg.	Regional	REG
TDE06	1	FLORIANOPOLIS	ARFLO

Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Após a organização das variáveis de recondução e substituição de equipamentos, o programa irá passar essas variáveis para a execução em outro arquivo denominado word.py ou word2.py. O word2.py serve apenas para salvar as obras necessárias em um documento .docx, não formatado corretamente no padrão de envio ao acessante, caso o arquivo word.py não funcione devido a algum erro inesperado. A função word é definida utilizando as seguintes variáveis de entrada:

*Word (potencia\_conexao, num\_so, n\_reli\_troca, n\_regu\_troca, n\_fus\_faca, n\_fus\_reli, SO\_automatica, tem\_fus\_por\_faca, tem\_fus\_por\_reli, tem\_regu, relig\_entrada, tem\_troca\_reg, tem\_relig, relig\_subs, rec\_tri, rec\_mono\_tri, construcao\_rede, caminhoSO,*

*numero\_so, nome\_so, contrucao\_rede, bitola, tensao\_cabo, equi\_contrucao\_rede, num\_equip\_construcao\_rede, recond\_mono, tipo\_ponto\_a\_mono, ponto\_a\_mono, tipo\_ponto\_b\_mono, ponto\_b\_mono, recond, tipo\_ponto\_a, ponto\_a, tipo\_ponto\_b, ponto\_b, religador\_se, subestacao, religadores, kv\_banco, corrente\_banco, tipo\_ponto\_banco, num\_ponto\_banco, regulador, fusiveis\_religadores, fusiveis\_faca, alimentador, tensao\_alimentador, UTMX, UTM Y)*

A função *word* serve para preparar o documento no padrão de envio definido pela Celesc, portanto, não serão descritos claramente os processos abordados, devido à possibilidade de cada concessionária elaborar seu documento em seus formatos padrões e com seus preços estabelecidos para recondutoramento e substituições de equipamentos. Além disso, trata-se de um processo burocrático que envolve apenas o conhecimento na biblioteca *python-docx*, fugindo de aspectos de engenharia.

Contudo, alguns comentários devem ser feitos: o programa realiza a leitura de um documento padrão, no caso da Celesc, o *Informacao de Acesso - Modelo MINIGERACAO*, e faz a substituição nos locais indicados pelos parâmetros calculados no programa anterior, utilizando pequenas contas e preços definidos pela Celesc, como o preço do ERD, custo arcado pela concessionária de energia na instalação do novo minigerador a cada Mega Watt instalado, que é calculado da seguinte forma:

$$ERD = 12 \times (MUSD \text{ (kW)} \times TUSD \text{ Fio B (R\$/kW)}) \times (1-a) \times 1/FRC \quad (54)$$

Sendo:

*TUSD Fio b (R\$)* = Tarifa de Uso do Sistema de Distribuição

*a* = Relação entre os custos de operação e manutenção e os custos totais gerenciáveis

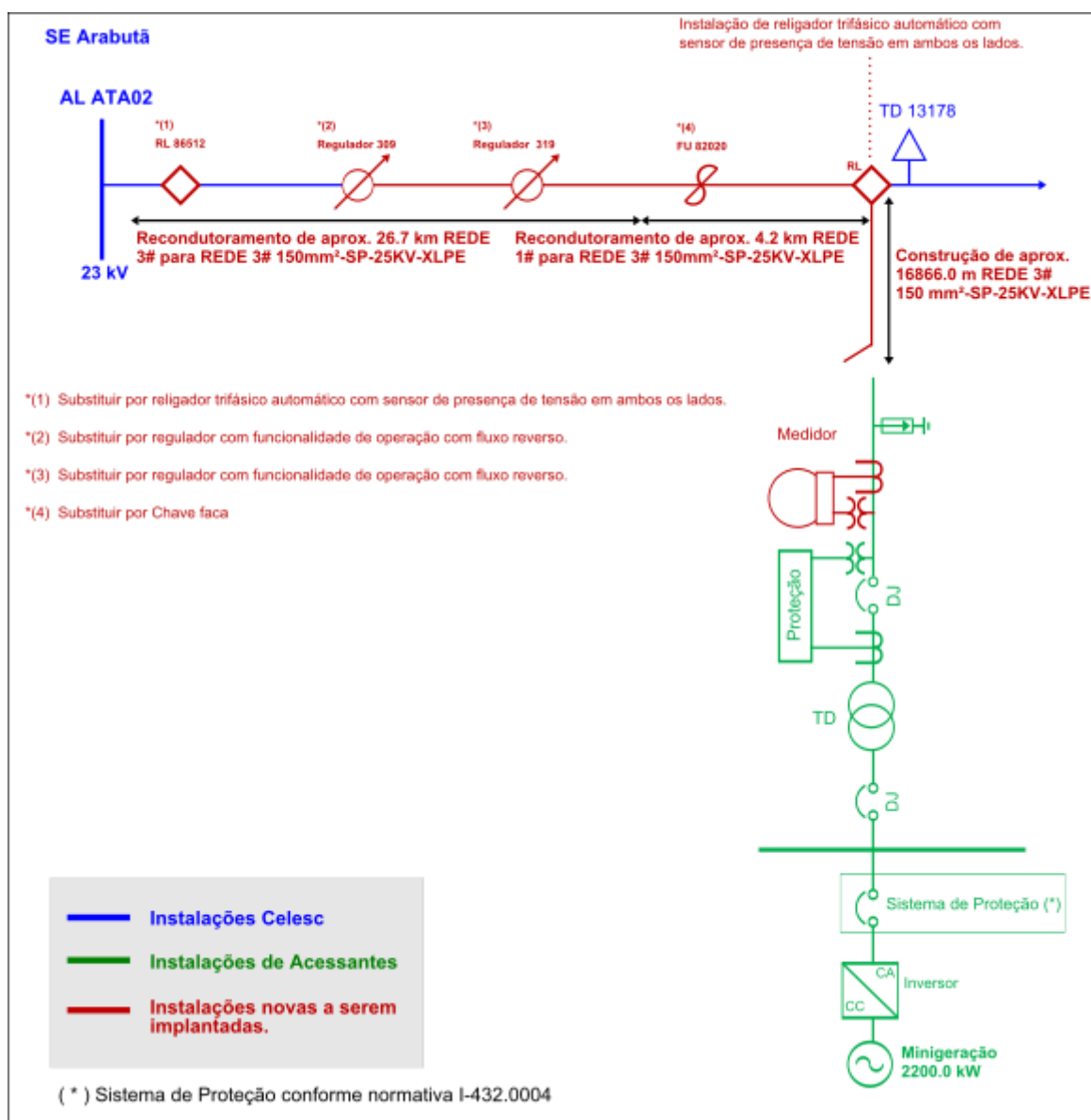
*FRC* = Fator de Recuperação de Capital

O preço atual exercido pela Celesc é de um ERD = R\$ 330.820,00.

Outro ponto interessante a ser comentado é a produção do desenho em formato *.svg*, de forma totalmente automatizada, utilizando a biblioteca *pycairo*. O programa foi criado, utilizando funções que definem formas geométricas, cada função é executada posteriormente utilizando coordenadas específicas para a definição do formato e tamanho da forma geométrica desejada. O processo de observação dos resultados foi feito utilizando o programa *InkScape*, a partir de um desenho padrão. Atualmente, com as variáveis fornecidas pelo programa, o desenho é realizado de forma automática contendo todas as obras necessárias para a realização da conexão do minigerador. O desenho é criado na pasta onde o *.docx* padrão é também

produzido e ainda deve ser colocado de forma manual pelo usuário, utilizando uma função de exportação para o formato .png no programa *InkScape* e a função de inserção de imagem no programa de edição de texto que se esteja trabalhando, conforme desenho ilustrado na figura 17.

Figura 17 – Desenho .svg produzido de forma automatizada.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Devido à remoção do acesso ao sistema interno da Celesc, existe na versão do código fonte disponibilizado neste trabalho a necessidade por parte do usuário de fazer algumas modificações no dicionário chamado de dicionuro, que define algumas variáveis, como o nome do acessante, a data, o endereço, etc.

Os resultados técnicos das usinas hipotéticas apresentadas neste trabalho estão a seguir:

Para a usina de 1 MW, localizada pelas coordenadas UTM, zona 22J, 745059,16 m E, 6944633,11 m S., em que seu documento está descrito de forma integral no apêndice A, foram obtidos os seguintes parâmetros:

Variação de Tensão Inicial: 0,1962

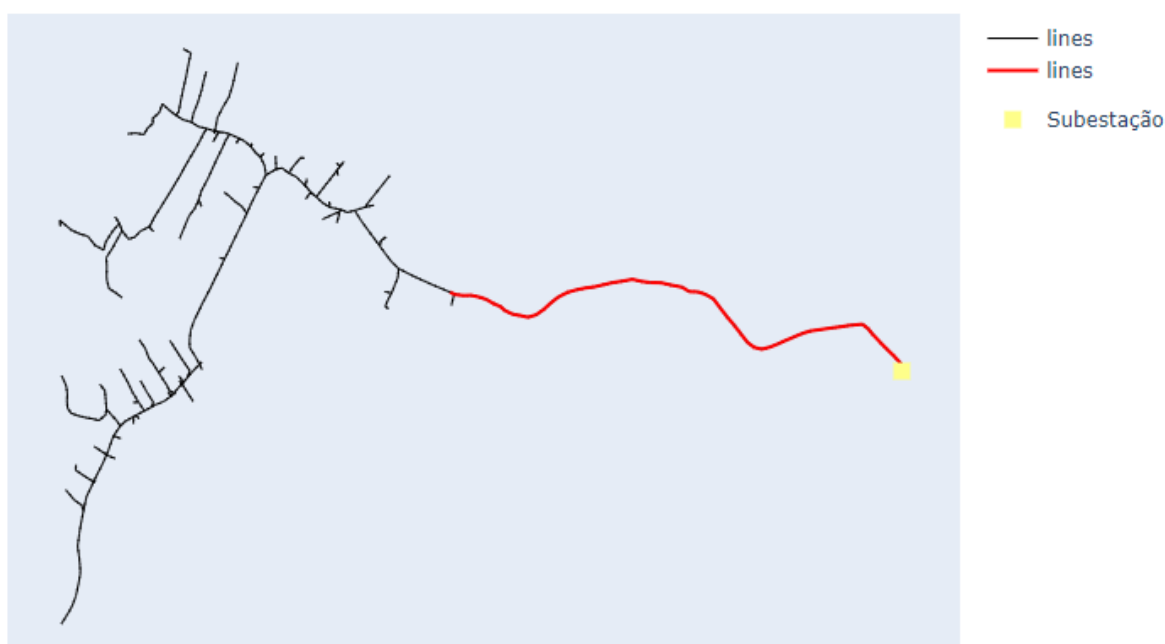
Tensão inicial: 0,9847

Tensão final: 0,9867

Corrente de Curto-Circuito: 0,7298

A linha de distribuição conectada ao alimentador TDE06 tem a seguinte configuração, como mostrado na figura 18.

Figura 18 – Linha de Distribuição do alimentador TDE06.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)

Para a usina de 2,2 MW, localizada pelas coordenadas UTM, zona 22J, 403040,09m E, 7026685,55 m S., em que seu documento está descrito de forma integral no apêndice B, foram obtidos os seguintes parâmetros:

Variação de Tensão Inicial: 13,1344

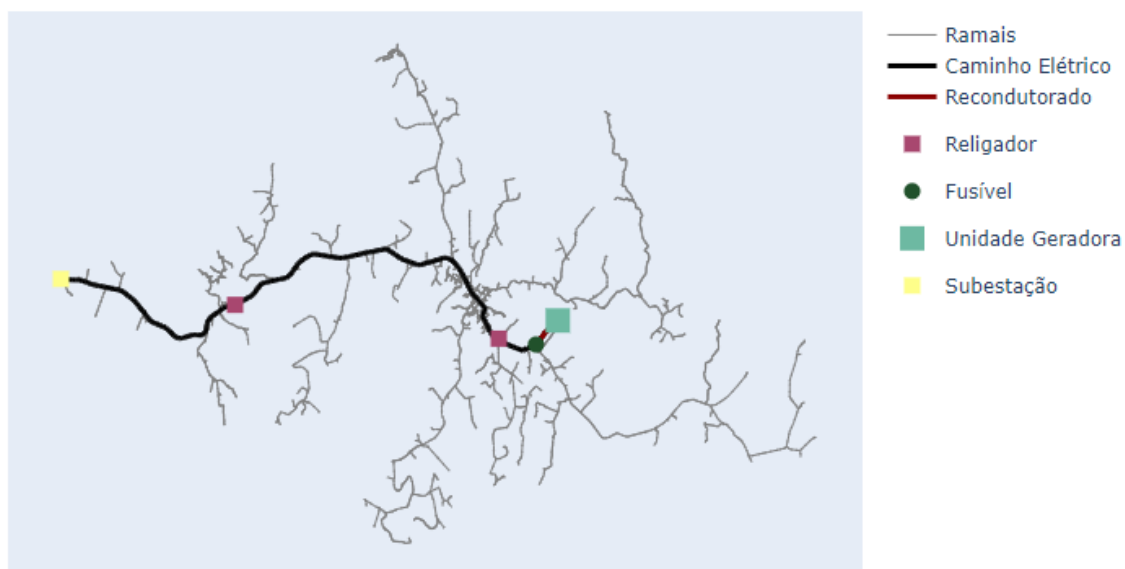
Tensão inicial: 0,8380

Tensão final: 0,9693

Corrente de Curto-Circuito: 10,2012

A linha de distribuição conectada ao alimentador ATA02 tem a seguinte configuração, como mostrado na figura 19.

Figura 19 – Linha de Distribuição do alimentador ATA02.



Fonte: Elaborado pelo Autor (2023)



## 4 CONCLUSÃO

O programa, objeto de estudo deste trabalho, foi desenvolvido em razão da necessidade de agilizar o processo de solicitações de acesso de minigeradores ao sistema de distribuição e, para isso, foram despendidos vários meses de trabalho desde meados de 2021 até o fim de 2022. O programa que automatiza o processo de solicitação foi criado de forma modular para auxiliar nas pequenas tarefas burocráticas e, com o avanço de ideias, gerou-se um programa de análise e produção de documentos completos que está disponível e documentado neste trabalho.

Os resultados efetivos da implementação do código na Divisão de Geração Distribuída são difíceis de serem mensurados com exata precisão devido: (a) a dificuldades como fatores humanos, algum erro no envio de documentos por parte do acessante e onde existam problemas no alimentador ou na subestação; (b) a facilidades como solicitações em pontos de conexão onde não há necessidade de recondutoramento ou substituição de equipamentos. Todavia, foi possível fazer uma boa análise qualitativa da facilidade do trabalho que existe hoje e uma análise quantitativa do número de solicitações de acesso em atraso.

A comparação da utilização de softwares, como a de softwares como o SICOTEN, com a do software apresentado neste trabalho pode ser medida pela quantidade de SO's em atraso, que perpassavam o prazo de 30 dias, até o final de 2022. Com a utilização do software SICOTEN existiam, em média, 120 solicitações a serem entregues ao acessante que deviam ser produzidas e entregues, e uma média de 50 solicitações em atraso. Cada estagiário conseguia produzir em média 2 SO's por dia trabalhado num período de 4 horas. Quando havia facilidade na confecção das SO's, que se caracterizava pela não necessidade de recondutoramento ou substituição de equipamentos ou pela possibilidade de conexão no equipamento mais próximo, conseguiam produzir, no máximo, 4 SO's durante as 4 horas.

Após a implementação do software de Info. de Acesso, documentado neste trabalho, existem, hoje, 35 solicitações a serem entregues ao acessante, sendo 20 delas em atraso, devido à necessidade de obras e maiores estudos (auxílios solicitados a outros departamentos, como o Departamento de Planejamento). Para a conexão com a máxima economia global, cada estagiário, hoje, consegue produzir em média 10 SO's por dia, trabalhando num período de 4 horas. Devido às facilidades já comentadas no parágrafo anterior, por vezes, já foram produzidas 16 SO's por estagiário no período de um dia trabalhado.

Além da produtividade ter aumentado substancialmente, em torno de 5 vezes, foram realizadas análises de SO's que apresentam necessidade de serem enviadas ao Departamento

de Planejamento de forma muito mais ágil. Assim, foi possível executar melhor as demais atribuições do departamento como a fiscalização das unidades geradoras e de seus cadastros junto à ANEEL.

Para este trabalho foram realizadas as análises de dois minigeradores hipotéticos: uma UFV de 1 MW, no CTC da UFSC, no município de Florianópolis, e outra UFV de 2,2 MW, no município de Ponte Serrada. Foi possível checar os documentos produzidos pelo programa nos apêndices A e B, respectivamente.

Para a análise da usina de 1 MW, a Celesc fornece um orçamento de R\$127.304,81, de acordo com o encargo de responsabilidade da empresa, caso haja um acessante interessado na construção da usina, sendo a Celesc a encarregada do gasto de R\$ 127.304,81 devido às obras mencionadas no documento do apêndice A.

Para a análise da usina de 2,2 MW, a Celesc fornece um orçamento de R\$ 14.722.975,34, caso haja um acessante interessado na construção da usina, sendo de responsabilidade do acessante a quantia de R\$ 13.995.171,34 e de responsabilidade da Celesc quantia de R\$ 727.804,00 devido às obras mencionadas no documento do apêndice B.

É possível perceber uma diferença de R\$ 13.867.867,47 entre os orçamentos das duas usinas, devido à necessidade de recondutoramento e substituição de equipamentos.

Para a melhor implementação do código documentado neste trabalho, poderão ser feitas as seguintes melhorias:

- Utilização apenas do número da solicitação na interface do usuário, onde o programa conseguiria coletar as coordenadas, nome e potência da usina a ser instalada no próprio site da concessionária de energia;
- Possibilidade da escolha, por parte do usuário, do equipamento específico a ser conectado;
- Implementação de um laço, em que o fluxo de potência seria calculado, utilizando pontos de conexões diferentes. Neste caso, são comparados os resultados de equipamentos e alimentadores próximos. O programa conferiria o preço final de todos e emitiria o documento do ponto de conexão que gerar a maior economia global para o acessante;
- Melhor tratamento de erros, sendo exibido o erro específico na interface, para a conferência do usuário.

O objetivo deste estudo foi facilitar o trabalho dos engenheiros eletricitas e dos estagiários da Divisão de Geração Distribuída da Celesc, e este objetivo foi alcançado. Além disso, a documentação deste código poderá facilitar a implementação deste programa em outras concessionárias localizadas no país e no exterior, evitando a necessidade de contratos milionários com softwares de código fechado.

## REFERÊNCIAS

ABRAPCH (Curitiba). **Hidrawatt Engenharia e Planejamento Energético**. 2017c. Disponível em: <<http://www.abrapch.org.br/associados/prestadores-de-servicos-para-pchs-e-cghs-pessoa-juridica/254/hidrawatt-engenharia-e-planejamento-energetico>>. Acesso em: 30 mar. 2018.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 687, De 24 De Novembro De 2015**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e os Módulos 1 e 3 dos Procedimentos de Distribuição – PRODIST. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2023.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa Aneel Nº 1.000, De 7 De Dezembro De 2021(\*)**. Estabelece as Regras de Prestação do Serviço Público de Distribuição de Energia Elétrica; revoga as Resoluções Normativas ANEEL nº 414, de 9 de setembro de 2010; nº 470, de 13 de dezembro de 2011; nº 901, de 8 de dezembro de 2020 e dá outras providências. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.html>. Acesso em: 14 jan. 2023.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa No 786, De 17 De Outubro De 2017(\*)**. Altera a Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril. Disponível em: <https://www.lexml.gov.br/urn/urn:lex:br:agencia.nacional.energia.eletrica:resolucao.normativa:2017-10-25;786> Acesso em: 14 jan. 2023.

AGENCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA – ANEEL. **Resolução Normativa Nº 482, De 17 De Abril De 2012**. Estabelece as condições gerais para o acesso de microgeração e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica, o sistema de compensação de energia elétrica, e dá outras providências. Disponível em: <<https://www.celesc.com.br/micro-mini-geracao>>. Acesso em: 15 dez. 2022.

CENTRAIS ELÉTRICAS DE SANTA CATARINA – Celesc. **Requisitos para a conexão de micro ou minigeradores: de energia ao sistema elétrico da Celesc distribuição**. (Manual de procedimentos: sistema de operação subsistema estudos do sistema). Florianópolis: Celesc, 2020.

COSTA, Antonio Simões. **EEL 7100 exercício: fluxo de potência pelo método de Newton-Raphson**. Florianópolis: UFSC – LABSPOT, 2011. (Slides da disciplina “Tópicos Especiais em Sistemas de Energia Elétrica II” do Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica da UFSC sobre Geração Eólica, Geração Fotovoltaica e Armazenamento de Energia).

COSTA, Antonio Simões. **EEL 7100 Matrizes de rede e fluxo de potência**. Florianópolis: UFSC – LABSPOT, 2011. (Slides da disciplina “Tópicos Especiais em Sistemas de Energia Elétrica II” do Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica da UFSC sobre Geração Eólica, Geração Fotovoltaica e Armazenamento de Energia).

COSTA, Antonio Simões. **EEL 7100 Matrizes de Rede e Fluxo de Potência Parte II**. Florianópolis: UFSC – LABSPOT, 2011. (Slides da disciplina “Tópicos Especiais em

Sistemas de Energia Elétrica II” do Programa de Pós-Graduação em Eng. Elétrica da UFSC sobre Geração Eólica, Geração Fotovoltaica e Armazenamento de Energia). de 2012.

DIAS, Marcos. V. X.. **Geração distribuída no Brasil: oportunidades e barreiras**. 2005. 143 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) - Universidade Federal De Itajubá, Itajubá – MG, 2005.

OLIVEIRA, C. C. de, *et al.* **Método desacoplado rápido para o fluxo de carga: uma proposta via injeção de corrente**. Amapá: IFAP; São Paulo: UNESP, 2018.

PANDAPOWER. Kassel, Germany: University of Kassel; Fraunhofer Institute for Fraunhofer Institute for Energy Economics and Energy System Technology (IEE), (c) 2018. Disponível em: <http://www.pandapower.org/about/#analysis> . Acesso em: 14 jan. 2023.

PREVE, Felipe R.. **Geração distribuída: acesso de centrais geradoras hidrelétricas à rede de média tensão-simulação**. TCC (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico. Engenharia Elétrica. 2018. Florianópolis, 2018. 137 p.

SALGADO, Roberto. **Introdução aos sistemas de energia elétrica**. Florianópolis: UFSC-EEL-Labspot, 2020. (Apostila - Curso de Graduação em Engenharia Elétrica).

FIGUEIREDO, João José. M. **Sistema Automatizado para análise de Solicitações de Acesso de Minigeradores em Geração Distribuída**. 2023. 70 p. Trabalho de Conclusão de Curso- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis – SC, 2023. Disponível em: <https://github.com/joaojosemfigueiredo/Sistema-Automatizado-para-Analise-de-Solicitacoes-de-Acesso-de-Minigeradores-em-Geracao-Distribuida>. Acesso em: 12 fev. 2023.

DIÁRIO OFICIAL DA UNIÃO. **Lei Nº 14.300, De 6 De Janeiro De 2022**. Institui o marco legal da microgeração e minigeração distribuída, o Sistema de Compensação de Energia Elétrica (SCEE) e o Programa de Energia Renovável Social (PERS); altera as Leis nºs 10.848, de 15 de março de 2004, e 9.427, de 26 de dezembro de 1996; e dá outras providências. Disponível em: < <https://in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.300-de-6-de-janeiro-de-2022-372467821>. Acesso em: 12 fev. 2023.

## **APÊNDICE A – UFV DE 1 MW LOCALIZADA NO CTC**

Florianópolis, 11 de Janeiro de 2023

Ilmo Sr. João José Medeiros De Figueiredo

Rua R. Delfino Conti, s/n - CEP 88040-900

Florianópolis - SC

Prezado Senhor,

### **Informação de Acesso – Estudo Preliminar de Viabilidade UFV Usina Fotovoltaica CTC (1,0 MW)**

Em atenção à consulta de acesso da UFV Usina Fotovoltaica CTC - SO 603720 (1,0 MW), localizada no município Florianópolis, com conexão na modalidade Minigeração de Energia Elétrica, informamos que a conexão do empreendimento no alimentador TDE06 em 15 kV é viável do ponto de vista técnico.

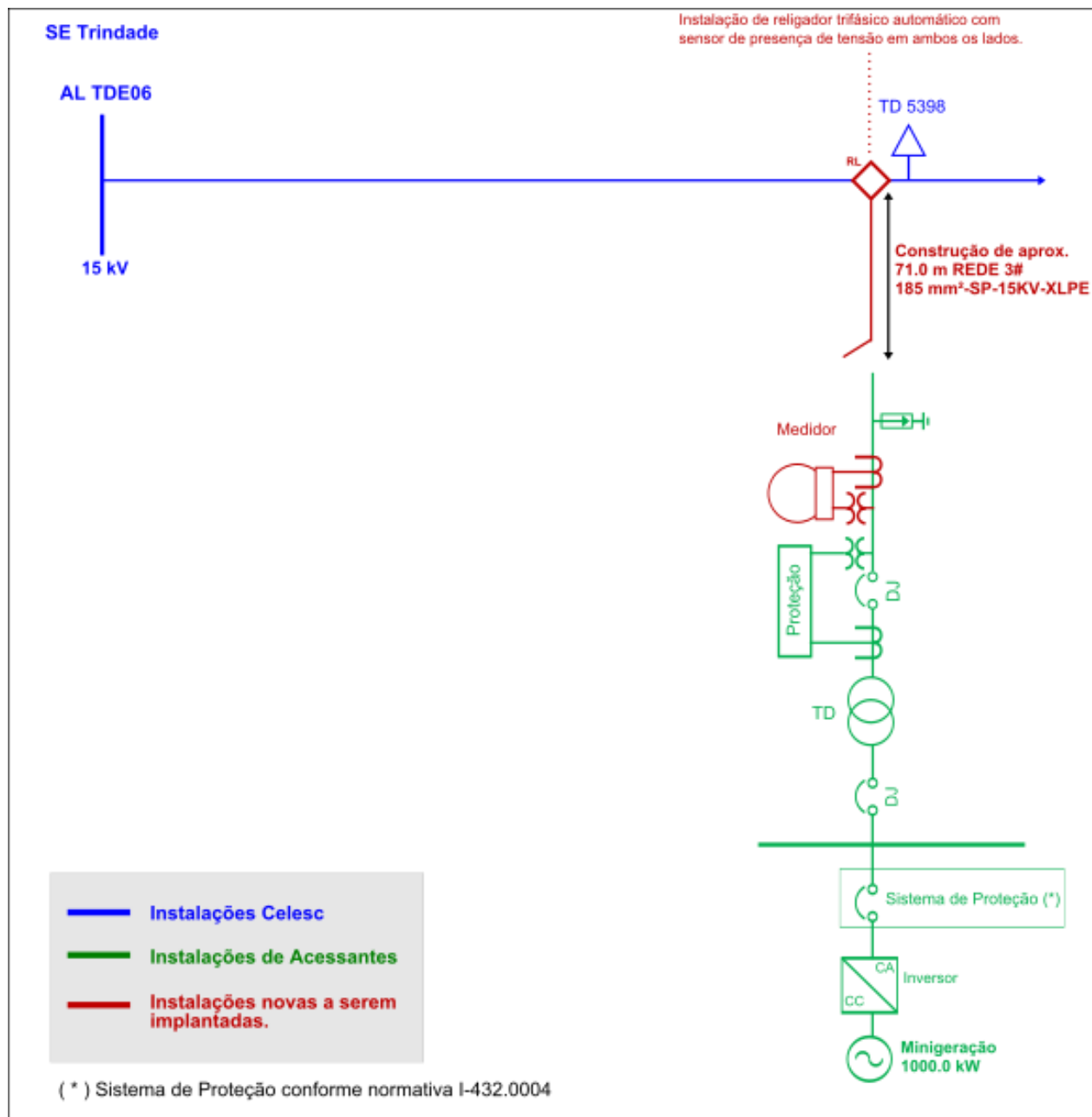
Contudo, são necessários os seguintes reforços/melhorias no sistema de distribuição:

- Construção de aproximadamente 71.0 m de rede compacta protegida, cabo 185 mm<sup>2</sup> - SP - 15kV - XLPE, nas proximidades do Transformador nº 5398 até a cabine de medição e proteção da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.
- Instalação de Religador trifásico automático, com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação, no ponto de conexão da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.

O trecho a ser reforçado/construído deverá contar com rede compacta protegida e cabo 185 mm<sup>2</sup> – SP – 15 kV – XLPE.

Localização geográfica informada do empreendimento: Zona 22 J, 745059.16 m E, 6944633.11 m S. Salienta-se que a Celesc atende apenas consumidores dentro de sua área de concessão.

No diagrama a seguir são apresentados a topologia do sistema de distribuição da região e os reforços necessários para a conexão da geração.



A seguir são apresentados os custos preliminares **estimados** das obras necessárias para a conexão da usina no sistema de distribuição da Celesc. Os custos das obras são modulares e **estimativos**. Eles servem apenas como referência de custos da Celesc Distribuição:

<b>OBRAS PARA A CONEXÃO COMO MINIGERADOR</b>			
<b>Equipamentos e Instalações</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Custo Total</b>
Construção de aproximadamente 71.0 m de rede compacta protegida, cabo 185 mm <sup>2</sup> - SP - 15kV - XLPE, nas proximidades do Transformador nº 5398 até a cabine de medição e proteção da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.	0,071	R\$ 286.989,30	R\$ 20.376,24
Instalação de Religador trifásico automático, com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação, no ponto de conexão da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.	1	R\$ 106.928,57	R\$ 106.928,57
<b>TOTAL ESTIMADO</b>			<b>R\$ 127.304,81</b>
Encargo de Responsabilidade da Distribuidora Estimado (ERD)			R\$ 127.304,81
Encargo de Responsabilidade do Consumidor (ERC) = Total Estimado - ERD			R\$ 0,00

Ressalta-se que os valores relativos à infraestrutura de comunicação necessária aos Religadores não estão sendo considerados na estimativa de custos desta Informação de Acesso. Há uma grande variação nesses custos, a depender do tipo de tecnologia, do relevo e localização da usina e, portanto, esses valores serão definidos em etapa posterior no Núcleo ou Unidade responsável pela localidade.

O Encargo de Responsabilidade da Distribuidora é calculado conforme o Art. 109 da REN 1.000/2021 da ANEEL, considera um montante de uso do sistema de distribuição e um fator de cálculo de ERD, conforme Resolução Homologatória nº 3.094/2022, de 16 de agosto



de 2022O. ERD pode sofrer alteração em caso de alteração do fator de cálculo, por parte da ANEEL.

**Salienta-se que o sistema elétrico sofre constantes alterações em sua topologia, bem como alterações nos perfis de demanda dos consumidores e novas conexões de centrais geradoras, de forma que caso o acessante deseje prosseguir com o processo de conexão, novas análises técnicas podem ser necessárias para confirmar a viabilidade da conexão. Sendo assim, nenhuma obra ou aquisição de equipamento deve ser iniciada antes de ser emitido o Parecer Técnico de Acesso, documento que valida as obras previstas nesta Informação de Acesso e garante o ponto de conexão do empreendimento gerador, podendo assim ocasionar em possíveis custos adicionais.**

Os requisitos técnicos utilizados para avaliação da conexão da usina estão expostos no documento “I-432.0004 – REQUISITOS PARA A CONEXÃO DE MICRO OU MINIGERADORES DE ENERGIA AO SISTEMA ELÉTRICO DA CELESC DISTRIBUIÇÃO”.

Para a execução dos serviços, deve ser observado o disposto nos Arts. 37º e 42º da REN nº 414/2010 da ANEEL.

Caso o Parecer Técnico de Acesso (PTA) aponte a viabilidade do empreendimento e o empreendedor deseje prosseguir com a implantação do sistema de geração, conforme critérios do CONSEMA, o mesmo deverá apresentar a Licença Ambiental de Operação (LAO) para a conexão no sistema Celsc. A LAO é documento imprescindível para efetivar-se a energização do empreendimento.

#### **34.11.04 - Produção de energia solar fotovoltaica no solo.**

Pot. Poluidor/Degradador Ar: P Água: P Solo: P Geral: P

Porte Pequeno:  $3 \leq AE(3) \leq 10$  (RAP)

Porte Médio:  $10 < AE(3) < 30$  (RAP)

Porte Grande:  $AE(3) \geq 30$  (EAS)

#### **34.11.01 - Produção de energia hidrelétrica.**

Pot. Poluidor/Degradador Ar: P Água: G Solo: G Geral: G

Porte Pequeno:  $P \leq 10$  (EAS ou EIA, se  $AI \geq 100$ )

Porte Médio:  $10 < P < 30$  (EAS ou EIA, se  $AI \geq 100$ )

Porte Grande:  $P \geq 30$  (EAS ou EIA, se  $AI \geq 100$ )

#### **34.11.02 - Produção de energia eólica, exceto se com mini geração de energia distribuída.**

Pot. Poluidor/Degradador Ar: M Água: P Solo: M Geral: M

Porte Pequeno:  $0,1 \leq P \leq 10$  (RAP)

Porte Médio:  $10 < P < 30$  (EAS)

Porte Grande:  $P \geq 30$  (EAS)

Para continuidade do processo de conexão, deve-se cadastrar no sistema PEPweb uma SO do tipo MT – Nova Ligação, explicitando a atividade de geração distribuída. Posteriormente, para continuidade do processo de conexão, o proprietário da unidade consumidora com geração distribuída deverá solicitar junto a Unidade Regional da Celsc, pedido de Ligação Nova em Média Tensão e a criação da nova Unidade Consumidora (UC) ou aumento de demanda contratada em caso de Unidade Consumidora Existente, onde será

conectada a geração distribuída, com potência disponibilizada no mínimo igual à potência nominal do gerador a ser instalado.

A Unidade Consumidora onde estará conectada a Geração Distribuída deverá ser de mesma titularidade das UCs que receberão os créditos no sistema de compensação, no caso de autoconsumo remoto, ou de titularidade do consórcio ou cooperativa, nos casos de geração compartilhada.

A Solicitação de Acesso deve ser formalizada através do sistema PepWeb (pep.celesc.com.br) acompanhada de todos os documentos especificados na normativa I-432.0004, criando uma SO do tipo GD – Solicitação de Acesso de Minigeração.

Caso se trate de geração compartilhada, a Solicitação de Acesso deve ser acompanhada de cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes, nos termos do Art. 4º, §6º, da REN 482/2012 da ANEEL.

Solicitações de Acesso com pendências de documentação serão imediatamente recusadas e canceladas e uma nova solicitação deverá ser criada, em conformidade com o item 2.4.5 da Seção 3.7 do Prodist.

Atenciosamente,

## **APÊNDICE B – UFV DE 2,2 MW LOCALIZADA NO MUNICÍPIO DE PONTE SERRADA**

Florianópolis, 11 de Janeiro de 2023

Ilmo Sr. João José Medeiros De Figueiredo  
Rua R. Delfino Conti, s/n - CEP 88040-900  
Florianópolis - SC

Prezado Senhor,

### **Informação de Acesso – Estudo Preliminar de Viabilidade UFV TESTE (2,2 MW)**

Em atenção à consulta de acesso da UFV TESTE - SO 000000 (2,2 MW), localizada no município Ponte Serrada, com conexão na modalidade Minigeração de Energia Elétrica, informamos que a conexão do empreendimento no alimentador ATA02 em 23 kV é viável do ponto de vista técnico.

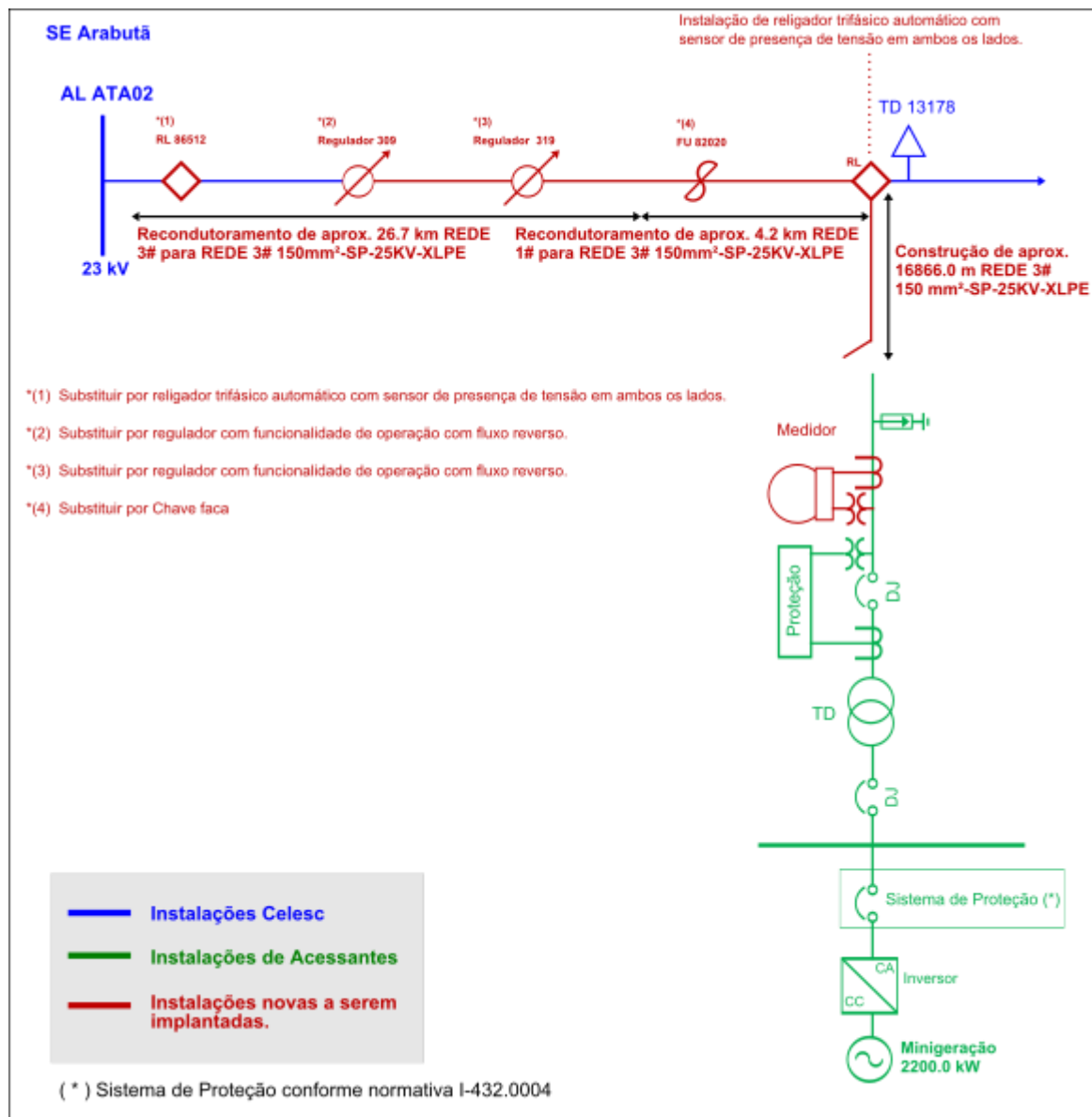
Contudo, são necessários os seguintes reforços/melhorias no sistema de distribuição:

- Construção de aproximadamente 16866.0 m de rede compacta protegida, cabo 150 mm<sup>2</sup> - SP - 25kV - XLPE, nas proximidades do Transformador nº 13178 até a cabine de medição e proteção da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.
- Recondutoramento de aproximadamente 4.2 Km da rede atual monofásica do Alimentador ATA02 por rede compacta protegida trifásica, cabo 150 mm<sup>2</sup> – SP – 25 kV - XLPE, a partir Transformador nº 13178 até as proximidades Chave Seccionadora nº 82020.
- Recondutoramento de aproximadamente 26.7 Km da rede atual do Alimentador ATA02, por rede compacta protegida, cabo 150 mm<sup>2</sup> – SP – 25 kV - XLPE, das proximidades Transformador n ° 13178 até as proximidades nº 1195.
- Substituição do Religador nº 86512 que se encontra no Alimentador por Religador trifásico automático com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação.
- Instalação de Religador trifásico automático, com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação, no ponto de conexão da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.
- Substituição do Regulador n ° 309, 319 que se encontra no Alimentador por Regulador trifásico automático com funcionalidade de fluxo reverso.
- Substituição da chave fusível nº 82020 por chave seccionadora faca.

O trecho a ser reforçado/construído deverá contar com rede compacta protegida e cabo 150 mm<sup>2</sup> – SP – 25 kV – XLPE.

Localização geográfica informada do empreendimento: Zona 22 J, 403040.09 m E, 7026685.55 m S. Salienta-se que a Celesc atende apenas consumidores dentro de sua área de concessão.

No diagrama a seguir são apresentados a topologia do sistema de distribuição da região e os reforços necessários para a conexão da geração.



A seguir são apresentados os custos preliminares **estimados** das obras necessárias para a conexão da usina no sistema de distribuição da Celesc. Os custos das obras são modulares e **estimativos**. Eles servem apenas como referência de custos da Celesc Distribuição:

<b>OBRAS PARA A CONEXÃO COMO MINIGERADOR</b>			
<b>Equipamentos e Instalações</b>	<b>Qtd.</b>	<b>Custo Unitário</b>	<b>Custo Total</b>
Construção de aproximadamente 16866.0 m de rede compacta protegida, cabo 150 mm <sup>2</sup> - SP - 25kV - XLPE, nas proximidades do Transformador nº 13178 até a cabine de medição e proteção da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.	16,866	R\$ 284.825,20	R\$ 4.803.861,82
Recondutoramento de aproximadamente 4.2 Km da rede atual monofásica do Alimentador ATA02 por rede compacta protegida trifásica, cabo 150 mm <sup>2</sup> – SP – 25 kV - XLPE, a partir Transformador nº 13178 até as proximidades Chave Seccionadora nº 82020.	4,2	R\$ 284.825,20	R\$ 1.196.265,84
Recondutoramento de aproximadamente 26.7 Km da rede atual do Alimentador ATA02, por rede compacta protegida, cabo 150 mm <sup>2</sup> – SP – 25 kV - XLPE, das proximidades Transformador n ° 13178 até as proximidades n ° 1195.	26,7	R\$ 284.825,20	R\$ 7.604.832,84
Substituição do Religador nº 86512 que se encontra no Alimentador por Religador trifásico automático com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação.	1	R\$ 106.928,57	R\$ 106.928,57
Instalação de Religador trifásico automático, com sensor de presença de tensão em ambos os lados e sistema de comunicação, no ponto de conexão da unidade consumidora onde estará instalada a Geração Distribuída.	1	R\$ 106.928,57	R\$ 106.928,57
Substituição do Regulador n ° 309, 319 que se encontra no Alimentador por Regulador trifásico automático com funcionalidade de fluxo reverso.	2	R\$ 452.078,85	R\$ 904.157,70
<b>TOTAL ESTIMADO</b>			R\$ 14.722.975,34
<b>Encargo de Responsabilidade da Distribuidora Estimado (ERD)</b>			R\$ 727.804,00

Encargo de Responsabilidade do Consumidor (ERC) = Total Estimado - ERD	R\$ 13.995.171,34
---	----------------------

Ressalta-se que os valores relativos à infraestrutura de comunicação necessária aos Religadores não estão sendo considerados na estimativa de custos desta Informação de Acesso. Há uma grande variação nesses custos, a depender do tipo de tecnologia, do relevo e localização da usina e, portanto, esses valores serão definidos em etapa posterior no Núcleo ou Unidade responsável pela localidade.

O Encargo de Responsabilidade da Distribuidora é calculado conforme o Art. 109 da REN 1.000/2021 da ANEEL, considera um montante de uso do sistema de distribuição e um fator de cálculo de ERD, conforme Resolução Homologatória nº 3.094/2022, de 16 de agosto de 2022O. ERD pode sofrer alteração em caso de alteração do fator de cálculo, por parte da ANEEL.

**Salienta-se que o sistema elétrico sofre constantes alterações em sua topologia, bem como alterações nos perfis de demanda dos consumidores e novas conexões de centrais geradoras, de forma que caso o acessante deseje prosseguir com o processo de conexão, novas análises técnicas podem ser necessárias para confirmar a viabilidade da conexão. Sendo assim, nenhuma obra ou aquisição de equipamento deve ser iniciada antes de ser emitido o Parecer Técnico de Acesso, documento que valida as obras previstas nesta Informação de Acesso e garante o ponto de conexão do empreendimento gerador, podendo assim ocasionar em possíveis custos adicionais.**

Os requisitos técnicos utilizados para avaliação da conexão da usina estão expostos no documento “I-432.0004 – REQUISITOS PARA A CONEXÃO DE MICRO OU MINIGERADORES DE ENERGIA AO SISTEMA ELÉTRICO DA CELESC DISTRIBUIÇÃO”.

Para a execução dos serviços, deve ser observado o disposto nos Arts. 37º e 42º da REN nº 414/2010 da ANEEL.

Caso o Parecer Técnico de Acesso (PTA) aponte a viabilidade do empreendimento e o empreendedor deseje prosseguir com a implantação do sistema de geração, conforme critérios do CONSEMA, o mesmo deverá apresentar a Licença Ambiental de Operação (LAO) para a conexão no sistema Clesc. A LAO é documento imprescindível para efetivar-se a energização do empreendimento.

#### **34.11.04 - Produção de energia solar fotovoltaica no solo.**

Pot. Poluidor/Degradador Ar: P Água: P Solo: P Geral: P

Porte Pequeno:  $3 < = AE(3) < = 10$  (RAP)

Porte Médio:  $10 < AE(3) < 30$  (RAP)

Porte Grande:  $AE(3) > = 30$  (EAS)

#### **34.11.01 - Produção de energia hidrelétrica.**

Pot. Poluidor/Degradador Ar: P Água: G Solo: G Geral: G

Porte Pequeno:  $P < = 10$  (EAS ou EIA, se  $AI > = 100$ )

Porte Médio:  $10 < P < 30$  (EAS ou EIA, se  $AI > = 100$ )

Porte Grande:  $P > = 30$  (EAS ou EIA, se  $AI > = 100$ )

**34.11.02 - Produção de energia eólica, exceto se com mini geração de energia distribuída.**

Pot. Poluidor/Degradador Ar: M Água: P Solo: M Geral: M

Porte Pequeno:  $0,1 < P \leq 10$  (RAP)

Porte Médio:  $10 < P < 30$  (EAS)

Porte Grande:  $P \geq 30$  (EAS)

Para continuidade do processo de conexão, deve-se cadastrar no sistema PEPweb uma SO do tipo MT – Nova Ligação, explicitando a atividade de geração distribuída. Posteriormente, para continuidade do processo de conexão, o proprietário da unidade consumidora com geração distribuída deverá solicitar junto a Unidade Regional da Celesc, pedido de Ligação Nova em Média Tensão e a criação da nova Unidade Consumidora (UC) ou aumento de demanda contratada em caso de Unidade Consumidora Existente, onde será conectada a geração distribuída, com potência disponibilizada no mínimo igual à potência nominal do gerador a ser instalado.

A Unidade Consumidora onde estará conectada a Geração Distribuída deverá ser de mesma titularidade das UCs que receberão os créditos no sistema de compensação, no caso de autoconsumo remoto, ou de titularidade do consórcio ou cooperativa, nos casos de geração compartilhada.

A Solicitação de Acesso deve ser formalizada através do sistema PepWeb ([pep.celesc.com.br](http://pep.celesc.com.br)) acompanhada de todos os documentos especificados na normativa I-432.0004, criando uma SO do tipo GD – Solicitação de Acesso de Minigeração.

Caso se trate de geração compartilhada, a Solicitação de Acesso deve ser acompanhada de cópia de instrumento jurídico que comprove o compromisso de solidariedade entre os integrantes, nos termos do Art. 4º, §6º, da REN 482/2012 da ANEEL.

Solicitações de Acesso com pendências de documentação serão imediatamente recusadas e canceladas e uma nova solicitação deverá ser criada, em conformidade com o item 2.4.5 da Seção 3.7 do Prodist.

Atenciosamente,