

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

Wanderson Lombardy Pereira

**ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA REAGRUPAMENTO DE  
CONJUNTOS DE CONSUMIDORES DE UMA DISTRIBUIDORA DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

**Wanderson Lombardy Pereira**

**ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA REAGRUPAMENTO DE CONJUNTOS DE  
CONSUMIDORES DE UMA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**

Orientador: Dr. Vinicius Jacques Garcia

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Pereira, Wanderson Lombardy  
ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA REAGRUPAMENTO DE CONJUNTOS  
DE CONSUMIDORES DE UMA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA  
/ Wanderson Lombardy Pereira.- 2022.  
55 p.; 30 cm

Orientador: Vinicius Jacques Garcia  
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa  
Maria, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Produção, RS, 2022

1. Indicadores coletivos 2. Qualidade do fornecimento  
3. Energia elétrica 4. Conjuntos de consumidores 5.  
Desempenho de conjuntos I. Jacques Garcia, Vinicius II.  
Título.

sistema de geração automática de ficha catalográfica da unsm. dados fornecidos pelo autor(a). sob supervisão da direção da divisão de processos técnicos da biblioteca central. bibliotecária responsável paula schoenfeldt watta cma 10/1728.

Declaro, WANDERSON LOMBARDY PEREIRA, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Dissertação) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

**Wanderson Lombardy Pereira**

**ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA REAGRUPAMENTO DE CONJUNTOS DE  
CONSUMIDORES DE UMA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), como requisito parcial para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Produção**

**Aprovado em 27 de maio de 2022**

---

**Vinicius Jacques Garcia, Dr. (UFSM) – Videoconferência**  
(Presidente/Orientador)

---

**Laura Lisiane Callai dos Santos, Dr<sup>a</sup>. (UFSM) – Videoconferência**

---

**Maicon Jaderson Silveira Ramos, Ph.D. (UFRGS) – Videoconferência**

## **DEDICATÓRIA**

Para minha mãe Andrea Lombardy.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha mãe Andrea, meu pai Wanderlei e minha madrasta Adriana. Obrigado pelo incentivo desde sempre. Aos meus amigos João Pedro, Leonardo, Guilherme, Carla, Paolla e meu namorado Vinicius, obrigado pelo suporte ao longo dessa caminhada. Aos professores Vinicius, Laura, Maicon e Nelson, obrigado por me conduzirem nesse caminho ao longo desses dois anos.

Agradeço a todas as pessoas que sempre torcem por mim, em especial aquelas que enxergam em meu caminho a representatividade em um meio tão singular e escasso de diversidade. Vocês me motivam a continuar!

*“Não se pode ser tudo o que se quer antes  
do seu tempo.”*

## **RESUMO**

### **ABORDAGEM HEURÍSTICA PARA REAGRUPAMENTO DE CONJUNTOS DE CONSUMIDORES DE UMA DISTRIBUIDORA DE ENERGIA ELÉTRICA**

AUTOR: Wanderson Lombardy Pereira

ORIENTADOR: Dr. Vinicius Jacques Garcia

A avaliação do desempenho das distribuidoras é regida pela Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL por meio dos Indicadores de Desempenho Coletivos e Individuais, apresentados no Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST). Estes indicadores objetivam a fixação de metas de um nível mínimo de qualidade aceitável no serviço prestado pela empresa distribuidora. Esta pesquisa trata da análise da configuração dos conjuntos de Unidades Consumidoras de uma empresa distribuidora de energia elétrica. A análise parte do levantamento de dados históricos de ocorrências que causaram interrupção de energia elétrica para grupos de consumidores, identificando os tempos médios de interrupção e a frequência com a qual as mesmas se deram ao longo do período analisado. O objetivo é identificar possíveis ajustes na configuração dos conjuntos de consumidores, e para isto, a metodologia busca propor ajustes nos conjuntos seguindo restrições e análises de critérios impostos pela ANEEL. Por meio da visualização geográfica da abrangência dos conjuntos são analisados dois principais critérios antes de qualquer ajuste entre os mesmos, são eles: contiguidade entre áreas e número de unidades consumidoras por conjuntos. Para estes critérios, serão criadas matrizes capazes de informar a possibilidade de união dos conjuntos entre si. Ao final da aplicação da metodologia os resultados obtidos para os indicadores coletivos por meio do reagrupamento de conjuntos são analisados e uma nova proposta de configuração é apresentada por meio de dois estudos de caso, os quais permitem a obtenção de cenários que apresentam redução nos valores dos indicadores coletivos por meio da união entre duas subestações.

Palavras-chave: indicadores coletivos; qualidade do fornecimento; energia elétrica; conjuntos de consumidores; desempenho de conjuntos.

## **ABSTRACT**

### **HEURISTIC APPROACH TO RE-GROUPING CONSUMER SETS OF AN ELECTRICITY DISTRIBUTOR**

**AUTHOR:** Wanderson Lombardy Pereira

**ADVISOR:** Dr. Vinicius Jacques Garcia

The evaluation of the performance of distributors is governed by the National Electric Energy Agency – ANEEL through the Collective and Individual Performance Indicators, presented in Module 8 of the Distribution Procedures (PRODIST). These indicators aim at setting targets for a minimum level of acceptable quality in the service provided by the distribution company. This research deals with the analysis of the configuration of sets of Consumer Units of an electric energy distribution company. The analysis starts from the collection of historical data of occurrences that caused interruptions of electric energy for groups of consumers, identifying the average interruption times and the frequency with which they occurred throughout the analyzed period. The objective is to identify possible adjustments in the configuration of the sets of consumers, and for this, the methodology seeks to propose adjustments in the sets following restrictions and analysis of criteria imposed by ANEEL. Through the geographic visualization of the scope of the sets, two main criteria are analyzed before any adjustment between them, they are: contiguity between areas and number of consumer units per sets. For these criteria, matrices capable of informing the possibility of joining the sets to each other will be created. At the end of the application of the methodology, the results obtained for the collective indicators through the regrouping of sets are analyzed and a new configuration proposal is presented through two case studies, which allow the obtaining of scenarios that present a reduction in the values of the collective indicators through the union between two substations.

**Keywords:** collective indicators; supply quality; electricity; consumer sets; set performance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Segmentos da indústria de energia elétrica .....	19
Figura 2- Procedimentos metodológicos.....	28
Figura 3- Área de concessão da CEEE Grupo Equatorial.....	32
Figura 4- Conjuntos de Pelotas.....	33
Figura 5- Subestações de Pelotas.....	33
Figura 6- Matriz de contiguidade de áreas .....	38
Figura 7- DEC 2019 e 2020 .....	43
Figura 8- FEC para 2019 e 2020.....	44
Figura 9 - Matriz de contiguidade de áreas .....	45
Figura 10 - Matriz N° de UCS .....	46
Figura 11 - DEC e FEC para o cenário A.....	48
Figura 12 - DEC e FEC para o cenário B.....	48

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1- Resultados dos indicadores coletivos por subestação.....	36
Tabela 2- Cenários de união entre subestações .....	38
Tabela 3- DEC e FEC médio apurado.....	40
Tabela 4- DEC e FEC médio para os novos conjuntos .....	41
Tabela 5- DEC e FEC médio .....	42
Tabela 6 - Cálculo dos indicadores coletivos .....	45
Tabela 7 – DEC e FEC para os novos conjuntos .....	47
Tabela 8 - Comparativos entre DEC e FEC médio .....	47

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

<b>ABRADEE</b>	Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica
<b>ANEEL</b>	Agência Nacional de Energia Elétrica
<b>BDGD</b>	Base de Dados Geográficos da Distribuidora
<b>CEEE-D</b>	Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica
<b>DEC</b>	Duração Equivalente de Interrupção por Conjunto
<b>DIC</b>	Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão
<b>DICRI</b>	Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por unidade consumidora ou por ponto de conexão
<b>DMIC</b>	Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão
<b>FEC</b>	Frequência Equivalente de Interrupção por Conjunto
<b>FIC</b>	Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou Ponto de Conexão

# SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
1.1	JUSTIFICATIVA.....	16
1.2	OBJETIVOS .....	16
1.2.1	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>16</b>
1.2.2	<b>Objetivos específicos .....</b>	<b>17</b>
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	18
2.1	SETOR DA INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA.....	18
2.1.1	<b>Segmentos da indústria de energia elétrica.....</b>	<b>18</b>
2.2	A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA .....	20
2.2.1	<b>Indicadores individuais.....</b>	<b>21</b>
2.2.2	<b>Indicadores coletivos.....</b>	<b>23</b>
2.3	ESTUDOS CORRELATOS .....	23
2.4	O PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE CONJUNTOS.....	25
3	METODOLOGIA .....	27
4	ESTUDOS DE CASO .....	31
4.1	ESTUDO DE CASO I .....	31
4.1.1	<b>Levantamento e tratamento de dados .....</b>	<b>34</b>
4.1.2	<b>Validação de dados.....</b>	<b>34</b>
4.1.3	<b>Cálculo dos indicadores coletivos por subestação.....</b>	<b>36</b>
4.1.4	<b>Análise de critérios.....</b>	<b>37</b>
4.1.5	<b>Análise dos resultados.....</b>	<b>39</b>
4.2	ESTUDO DE CASO II.....	44
4.2.1	<b>Cálculo dos indicadores coletivos por subestação.....</b>	<b>44</b>
4.2.2	<b>Análise de critérios.....</b>	<b>45</b>

<b>4.2.3</b>	<b>Análise dos resultados.....</b>	<b>46</b>
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	50
6	CONCLUSÃO .....	52
	REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO.....	53

## 1 INTRODUÇÃO

A energia elétrica se faz presente no dia a dia da população e tem ganhado cada vez mais atenção em aspectos referentes à qualidade de seu fornecimento. Diante de um mercado altamente competitivo e exigente, faz-se necessário atentar aos níveis de qualidade do fornecimento de um serviço, comparando-se às empresas que compõem a estrutura de mercado na qual se está inserido.

As concessionárias de energia elétrica são reguladas pela Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Ainda que estas empresas sejam vistas como monopólios, a regulação imposta não permite o abuso de preços sobre os serviços oferecidos, e estimula a competitividade entre as concessionárias do Brasil por meio da comparação e estipulação de metas para os indicadores que medem o nível de qualidade no fornecimento e continuidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica.

A avaliação do desempenho das distribuidoras se dá por meio da medição da qualidade de fornecimento de energia elétrica, realizada pelos Indicadores de Desempenho Coletivos e Individuais, apresentados no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST) da ANEEL. No que se refere à qualidade do fornecimento de energia elétrica, este módulo estabelece a metodologia para apuração dos indicadores de continuidade e dos tempos de atendimento a ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades. O documento relaciona a qualidade do fornecimento de energia elétrica a três principais aspectos, são eles: qualidade do atendimento, referente ao atendimento comercial da concessionária aos seus clientes, levando em conta os tempos de resposta as solicitações dos clientes; qualidade do produto, que trata da conformidade do produto; e o aspecto da qualidade do serviço, referente a continuidade do fornecimento de energia elétrica que é mensurada pela duração e frequência com que ocorrem as interrupções no fornecimento de energia elétrica.

Os indicadores são estabelecidos com o objetivo de fixar metas de um nível mínimo de qualidade aceitável no serviço prestado pela empresa distribuidora. Quanto a sua utilidade, os indicadores individuais são úteis ao órgão regulador para realizar a avaliação de concessionárias. Estes medem a Duração Equivalente da Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC). Já os indicadores individuais são úteis para o órgão regulador avaliar o atendimento das concessionárias em relação aos consumidores. Estes são conhecidos como DIC e FIC. (ANEEL, 2021).

Caso as empresas responsáveis pela distribuição de energia elétrica não cumpram as metas impostas pela ANEEL com relação aos indicadores, estas são penalizadas, o que pode acarretar em grandes despesas anuais que podem ser tratadas e devem ser minimizadas. Neste caso, os investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) podem auxiliar as empresas por meio de suas conexões e discussões com universidades. A ANEEL é responsável por regulamentar estes investimentos por meio do incentivo a busca constante por inovações necessárias para enfrentar os desafios do setor de energia elétrica e/ou promovendo o uso eficiente e racional da energia elétrica, associado às ações de combate ao desperdício. (ANEEL, 2021).

## **1.1 JUSTIFICATIVA**

A temática proposta nesta dissertação busca desenvolver uma abordagem para reagrupamento de conjunto de consumidores de uma distribuidora de energia elétrica, assumindo aspectos relacionados às penalidades decorrentes de indicadores de continuidade e, neste contexto, entender sobre o impacto do reagrupamento de conjuntos no nível de qualidade verificado pelos indicadores de continuidade aplicados pela ANEEL.

A pesquisa apresenta relevância em termos de identificar práticas para melhorias nos indicadores de continuidade de uma empresa de distribuição de energia elétrica visando contribuir para a redução de penalidades, referentes às multas por não cumprimento de metas impostas pela ANEEL, por meio da análise da configuração dos conjuntos de unidades consumidoras existentes, com enfoque na análise de seus indicadores de desempenho. Neste contexto, as contribuições da aplicação de uma metodologia de análise adequada tornam-se importantes para o aprimoramento do sistema.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Desenvolver uma abordagem heurística para reagrupamento de conjunto de consumidores de uma distribuidora de energia elétrica, assumindo indicadores de desempenho, restrições regulatórias e penalidades decorrentes da violação de limites nos indicadores de continuidade.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Visando atender o objetivo geral proposto, foram desenvolvidos os seguintes tópicos como objetivos específicos:

- Identificar os conjuntos atuais de consumidores e identificar o total de subestações existentes na empresa na qual o estudo se aplica.
- Identificar quais subestações apresentam maior valor nos indicadores coletivos;
- Desenvolver metodologia para reagrupamento dos conjuntos de acordo com critérios apresentados em normativa da ANEEL;
- Reagrupar subestações formando novos conjuntos de acordo com a normativa e identificar possibilidades de redução nos indicadores coletivos.

### **1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO**

Visando alcançar os objetivos propostos, o presente estudo apresenta-se em 6 capítulos, sendo o primeiro a introdução previamente apresentada. Os demais capítulos seguem conforme descrito a seguir.

O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica, a qual busca caracterizar o problema de agrupamento de conjuntos retratado na literatura. Neste capítulo é caracterizado o setor da indústria elétrica, bem como os segmentos que a compõem e caracteriza aspectos importantes referentes a qualidade da energia elétrica, descrevendo os indicadores coletivos e individuais que avaliam a qualidade da continuidade do fornecimento da energia elétrica. Ao final, o capítulo apresenta os principais estudos correlatos consultados de maneira a contribuir para o problema da formação de conjuntos de consumidores.

O capítulo 3 apresenta uma caracterização do problema de agrupamento de conjuntos, seguido pelo capítulo 4 que apresenta a abordagem metodológica desta dissertação. O capítulo caracteriza a pesquisa e apresenta a proposta metodológica descrevendo suas etapas.

Um estudo de caso para validar a metodologia proposta é apresentado no capítulo 5. Para a proposta de estudo, os conjuntos selecionados para aplicação da metodologia são os que representam a cidade de Pelotas, por representar uma parcela pequena dos conjuntos da área de concessão da CEEE-D, facilitando assim a análise para a construção do modelo a ser desenvolvido. É feita uma caracterização da empresa e na sequência é apresentada uma discussão dos resultados apurados com a aplicação da proposta metodológica.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

As empresas prestadoras de serviços devem incorporar, com uma forma de melhoria contínua de seus processos, a avaliação de desempenho de seus serviços. Este acompanhamento permite a identificação, de forma mais rápida, de eventos como o mau funcionamento de equipamentos que possam ser gargalos em seus processos, de modo que estes possam ser eliminados (KANO; NAKAGAWA, 2008).

Os sistemas de indicadores, utilizados para monitorar e avaliar o desempenho de processos e serviços, são parte do trabalho de planejamento e controle empregado por diversas empresas na gestão de suas operações. As medidas fornecidas por esses indicadores fornecem dados sobre o desempenho que é avaliado em relação aos padrões esperados pelas empresas, e embasam a tomada de decisões.

### **2.1 SETOR DA INDÚSTRIA DE ENERGIA ELÉTRICA**

O termo indústria, geralmente designa o conjunto de atividades que visam a manipulação de matérias-primas para a produção de bens de consumo. A indústria de eletricidade tem como produto principal a energia elétrica, que está presente na vida da população de forma indireta por meio da produção de luz, movimento, calor, etc. (ABRADEE, 2021).

A Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica (ABRADEE) define a indústria de energia elétrica como sendo basicamente composta por geradores espalhados pelo país e pelas linhas de transmissão e de distribuição de energia, que compõem a chamada indústria de rede.

#### **2.1.1 Segmentos da indústria de energia elétrica**

De forma a caracterizar os segmentos atuais, a Figura 1 ilustra os segmentos de geração, transmissão, distribuição e consumo de energia elétrica.

Figura 1- Segmentos da indústria de energia elétrica



Fonte: ABRADDEE (2021)

A geração é o segmento responsável por produzir a energia elétrica. Isto é feito de diversas maneiras, as mais conhecidas são: hidráulica, nuclear, eólica e térmica. Segundo a ABRADDEE (2021), este segmento é muito pulverizado no Brasil, contando com 7250 empreendimentos geradores, conforme dados da ANEEL.

O segmento de transporte da energia gerada engloba a transmissão e a distribuição até os consumidores finais, e este, por sua vez, é considerado um setor monopolizado, visto que é impossível haver duas empresas responsáveis pela concessão de energia elétrica em um mesmo local. Esta parte da cadeia conta com 156 concessionárias licitadas, que são responsáveis pela administração e operação e conta também com aproximadamente 145 mil quilômetros de linhas de transmissão dentro do Brasil. (ABRADDEE, 2021).

Ainda no que trata da caracterização destes segmentos, a regulação dos preços dos segmentos de transmissão e distribuição é feita pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). São feitos contratos de concessão entre a ANEEL e as concessionárias para que não haja liberdade na prática de preços, já que conforme apresentado pela ABRADDEE (2021) este segmento representa um monopólio na região onde se instala.

Por fim, o segmento de comercialização, é um dos mais novos no mundo e atualmente, segundo dados da ABRADDEE (2021), existem aproximadamente 270 agentes de comercialização de energia elétrica apenas no Brasil, o que torna este segmento competitivo, assim como o de geração. Estes agentes atuam no intermédio entre as usinas geradoras e os consumidores livres. As distribuidoras prestam serviço público sob contrato com a ANEEL, responsável pela regulação, edição de Resoluções, Portarias e outras normas para o funcionamento do setor.

## 2.2 A QUALIDADE DA ENERGIA ELÉTRICA

Diante da competitividade do mercado de fornecimento de energia elétrica, e da importância do manutenção de um alto nível de continuidade e qualidade torna-se cada vez mais importante para as empresas atentar para os indicadores envolvidos neste aspecto. As concessionárias de energia elétrica devem manter um padrão de continuidade e qualidade na prestação do serviço público de distribuição de energia elétrica. Esta exigência é imposta pela ANEEL, responsável por definir os limites para os indicadores coletivos de continuidade conhecidos como: DEC (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e FEC (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora). (ANEEL, 2021).

Aspectos referentes a qualidade do atendimento, do produto e da prestação de serviço pelas concessionárias aos seus clientes são apresentados no Módulo 8 do PRODIST, que se trata do documento de Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional. Este documento dispõe disciplinas, condições, responsabilidades e penalidades relativas à conexão, planejamento da expansão, operação e medição da energia elétrica, bem como estabelece critérios e indicadores de qualidade para consumidores e produtores, distribuidores e agentes importadores e exportadores de energia.

Dentre as disposições referentes a qualidade do produto e serviços no fornecimento de energia elétrica apresentadas no módulo 8, para este trabalho, a contribuição maior vem de sua segunda seção que aborda a qualidade do serviço. Seus objetivos tratam do estabelecimento de procedimentos relativos à qualidade do serviço prestado pelas distribuidoras aos consumidores, centrais geradoras e distribuidoras acessantes, bem como a qualidade do serviço prestado pelas transmissoras detentoras de Demais Instalações de Transmissão – DIT aos acessantes e distribuidoras. A definição dos indicadores e padrões de qualidade são parte de seus objetivos que contribuem para o acompanhamento e controle do desempenho das distribuidoras fornecendo subsídios para os planos melhorias e expansão de suas infraestruturas, oferecendo aos consumidores e centrais geradoras parâmetros para a avaliação do serviço prestado pela distribuidora.

O PRODIST aborda sobre a temática de formação de conjuntos de unidades consumidoras definindo-as por Subestações de Distribuição – SED. Neste tópico, destaca os critérios importantes que devem ser levados em consideração na formação de novos conjuntos SED, como a quantidade máxima e mínima de unidades consumidoras por conjunto, e o critério de contiguidade entre áreas para a formação de novos conjuntos.

O atendimento às ocorrências emergenciais também é regulado por indicadores apresentados nesta seção do PRODIST. Seus tempos são supervisionados, avaliados e controlados por meio de indicadores de tempo de atendimento. Estes indicadores levam em conta: o tempo médio de preparação, que mede a eficiência dos meios de comunicação, dimensionamento de equipes e fluxo de informações dos centros de operação; tempo médio de deslocamento, responsável por verificar a eficácia da localização geográfica das equipes de manutenção e operação; e tempo médio de execução, responsável pela medição da eficácia do reestabelecimento do sistema. Todos os indicadores estão diretamente ligados ao trabalho das equipes de manutenção e operação, e somados compõem o indicador de Tempo Médio de Atendimento de Emergência (TMAE).

No módulo 8 do PRODIST (seção 5), são apresentados os indicadores de continuidade de distribuição de energia elétrica quanto à duração e frequência de interrupção, por meio dos quais as distribuidoras, os consumidores, as centrais geradoras e a ANEEL podem avaliar a qualidade do serviço prestado e o desempenho do sistema elétrico. Os indicadores dividem-se em individuais e coletivos, e são calculados para períodos mensais, trimestrais e anuais.

### 2.2.1 Indicadores individuais

Os indicadores individuais são: Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (DIC), Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (FIC), Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão (DMIC) e Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por unidade consumidora ou por ponto de conexão (DICRI). Sendo este último apurado apenas por interrupção ocorrida em dias críticos. Os cálculos para sua apuração, apresentados no PRODIST são de acordo com as seguintes equações:

- a) DIC - Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão

$$DIC = \sum_{i=1}^n t(i) \quad (1)$$

- b) FIC - Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão

$$FIC = n \quad (2)$$

- c) DMIC - Duração Máxima de Interrupção Contínua por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão

$$DMIC = t(i)_{max} \quad (3)$$

- d) DICRI - Duração da Interrupção Individual ocorrida em Dia Crítico por unidade consumidora ou por ponto de conexão

$$DICRI = t_{critico} \quad (4)$$

em que:

- DIC, DMIC e DICRI são expressos em horas e centésimos de hora;
- FIC é expresso em número de interrupções;
- $n$ : número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;
- $i$ : índice de interrupções da unidade consumidora no período de apuração, variando de 1 a  $n$ ;
- $t(i)$ : tempo de apuração da interrupção ( $i$ ) da unidade considerada ou ponto de conexão, no período de apuração;
- $t(i)_{max}$ : valor correspondente ao tempo da máxima duração de interrupção contínua ( $i$ ), no período de apuração, verificada na unidade consumidora considerada;
- $t_{critico}$ : duração da interrupção ocorrida em dia crítico.

### 2.2.2 Indicadores coletivos

Os indicadores coletivos são apurados para cada conjunto de unidades consumidoras, são eles: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC).

a) DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

$$DEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} DIC(i)}{Cc} \quad (5)$$

b) FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} FIC(i)}{Cc} \quad (6)$$

em que:

- DEC é expresso em horas e centésimos de hora;
- FEC é expresso em número de interrupções e centésimos do número de interrupções;
- $i$ : índice de unidades consumidoras atendidas em BT ou MT faturadas do conjunto;
- $Cc$ : número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em BT ou MT;
- $DIC(i)$ : Duração de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão;
- $FIC(i)$ : Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora ou por Ponto de Conexão.

## 2.3 ESTUDOS CORRELATOS

De maneira a contribuir para o problema da formação de conjuntos de consumidores, Santos (2010), objetivou em seu estudo o desenvolvimento de metodologias de auxílio para empresas de distribuição de energia elétrica na tomada de decisão da definição de conjuntos de unidades consumidoras. Sua metodologia utiliza técnicas de aprendizado de máquinas para capturar as características de cada um dos agrupamentos de conjuntos de unidades

consumidoras para a construção de um modelo de classificador para auxílio na melhor configuração de conjuntos, gerando metas para os indicadores DEC e FEC mais condizentes com a realidade de cada empresa distribuidora. A solução proposta pela metodologia busca possibilitar às empresas de distribuição de energia a realização de estudos de configurações de conjuntos de unidades consumidoras sem a necessidade de realização de consultas a ANEEL para a definição das metas para cada nova configuração de conjuntos

Constanti (2013) faz uma análise comparativa das metodologias de definição dos conjuntos para estabelecimento dos limites do setor elétrico relativas aos indicadores DEC e FEC, levando em consideração os resultados da aplicação destas metodologias por meio da análise dos valores de compensação. O estudo de caso realizado em parceria com a CELPA, distribuidora de energia elétrica do Estado do Pará, objetivou avaliar os efeitos da metodologia adotada pela ANEEL para estabelecimento de conjuntos para a definição do DEC e FEC em uma concessão brasileira. Todas as análises realizadas evidenciaram a necessidade de aprimoramentos na metodologia aplicada pela ANEEL de forma a buscar a formação de conjuntos mais homogêneos.

Tanure (2000), em seu estudo, apresenta uma metodologia possível para o estabelecimento das metas de continuidade a serem cumpridas pelas concessionárias de distribuição, contribuindo também, para o problema de agrupamento de consumidores por meio de uma análise comparativa entre empresas na qual os conjuntos devem ser agrupados através de técnicas estatísticas exploratórias conhecidas como “*cluster analysis*”. Em seu estudo de caso, o autor aplica a metodologia em 4135 conjuntos de 56 concessionárias existentes até então quando o estudo foi desenvolvido.

Sperandio (2004) investiga a formação de grupos de conjuntos consumidores, tanto na seleção das variáveis a serem utilizadas para o agrupamento dos dados, quanto os métodos para tal função. Com o objetivo final de reclassificar os conjuntos de consumidores de forma a obter grupos mais homogêneos e que reflitam melhor a situação dos dados agrupados, o autor realizou uma seleção de dados representativos quanto as diferenças e semelhanças entre os conjuntos e compara dois métodos diferentes de agregação. Os métodos tratam-se de uma validação cruzada entre um tipo de rede neural auto-organizável (mapas auto-organizáveis) e o tradicional método estatístico das *k-means* para o agrupamento dos conjuntos de consumidores.

De forma complementar, outros estudos na área de qualidade da energia elétrica ainda no que diz respeito a temática da qualidade do fornecimento de energia elétrica podem também ser destacados. Os seguintes trabalhos relacionam esta temática a aspectos gerenciais referentes à estratégia empresarial, ordens de serviço e a manutenção do sistema de distribuição.

A abordagem desenvolvida por Moura (2002) tratou de identificar e analisar os indicadores de desempenho que são utilizados na área de distribuição de energia elétrica e sua efetiva utilização para o gerenciamento estratégico da empresa em questão. Por meio de análise de dados de entrevistas realizadas ao longo de um período determinado, sua proposta de resultado trata de que a análise destes indicadores proporciona para a empresa uma visão mais ampla de como seu produto ou serviço está posicionado.

Fonini (2016) trata em seu estudo a problemática de como tratar o gerenciamento das Ordens de Serviços de uma concessionária de energia elétrica. Por meio da modelagem e simulação e cenários o estudo apresenta uma análise das diferenças entre demanda e capacidade de serviço. No caso da empresa estudada, diversas das ordens de serviço comerciais eram postergadas para priorizar o atendimento de ordens emergenciais que surgiam ao longo da jornada de trabalho. Além de possibilitar o conhecimento sobre as atividades de despacho de ordens por parte da empresa, o estudo apresentou relevância por apresentar um cenário identificado no qual o nível de prioridade das ordens de serviço mais próximas do vencimento era elevado para que estes serviços fossem atendidos de maneira a acarretar menor prejuízo a empresa.

Esta dissertação explora o problema de agrupamento de conjuntos, buscando propor uma abordagem para reagrupar os conjuntos já existentes de uma concessionária. De maneira geral, todos os estudos que tratam da qualidade do fornecimento da energia elétrica contribuem para este estudo fornecendo subsídios para a construção do conhecimento sobre os indicadores de qualidade e as metodologias aplicadas para a melhoria dos mesmos.

## 2.4 O PROBLEMA DE RECONFIGURAÇÃO DE CONJUNTOS

A proposta metodológica que será apresentada neste estudo se baseia no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST, 2021) da ANEEL. O PRODIST (2021) apresenta dois critérios importantes a serem considerados neste estudo: (i) o critério de contiguidade de áreas e (ii) o critério referente ao número máximo e mínimo de unidades consumidoras por conjunto. Para estes critérios, serão apresentadas matrizes capazes de informar a possibilidade de união dos conjuntos entre si. A contiguidade trata da proximidade entre as áreas atendidas pelas subestações dentro de cada conjunto e define que conjuntos que não sejam próximos, ou vizinhos, não podem ser unidos. E para as possibilidades de união, após este critério, a segunda matriz avalia as quantidades mínimas e máximas de unidades consumidoras permitidas quando se trata de unir ou separar conjuntos.

Nos estudos de reagrupamento de conjuntos de unidades consumidoras, o cálculo dos indicadores coletivos é realizado por meio do somatório dos respectivos indicadores individuais, por subestação, distribuídos pelo total de unidades consumidoras que constam na mesma, e caso seja realizada a união de duas ou mais subestações, assim como na metodologia deste trabalho, seus indicadores individuais devem ser somados e a distribuição se dará pelo somatório das unidades consumidoras das subestações a serem unidas.

Durante os últimos anos, diversas pesquisas sobre fornecimento de energia elétrica testaram algoritmos de agrupamento em vários conjuntos de dados de carga (PANAPAKIDIS & MOSCHAKIS, 2019). Alguns autores abordam o agrupamento para caracterização do perfil de carga de eletricidade doméstica (McLoughlin et al., 2015; Biscarri et al., 2017; Wu et al., 2008). Quanto aos seus objetivos, diversos estudos focam na análise de clusters, e buscam o estabelecimento de metas de continuidade para os indicadores DEC e FEC (Tanure, 2000), reclassificação de conjuntos de consumidores para a obtenção de grupos mais homogêneos (Sperandio, 2004), envolvendo também técnicas de aprendizado de máquinas para capturar as características de cada um dos agrupamentos de conjuntos (Santos, 2010) e métodos famosos para agrupamento como o k-means (Kwac et al., 2014; Sperandio, 2004).

O presente trabalho, concentra-se em uma área ainda pouco explorada. O problema de reagrupamento de conjuntos neste trabalho busca propor uma abordagem para reagrupar as subestações de uma concessionária de energia elétrica, de maneira que este reagrupamento possa viabilizar uma redução nos indicadores coletivos dentre seus conjuntos. A abordagem da metodologia apresentada no capítulo que segue tomou como base para a construção do conhecimento sobre o assunto os estudos correlatos supracitados. Já para a construção das matrizes de análise e tomadas de decisão dentro dos passos que compõem a metodologia, assim como nestes estudos, também se tomou como norte os procedimentos do módulo 8 do PRODIST (2021).

### 3 METODOLOGIA

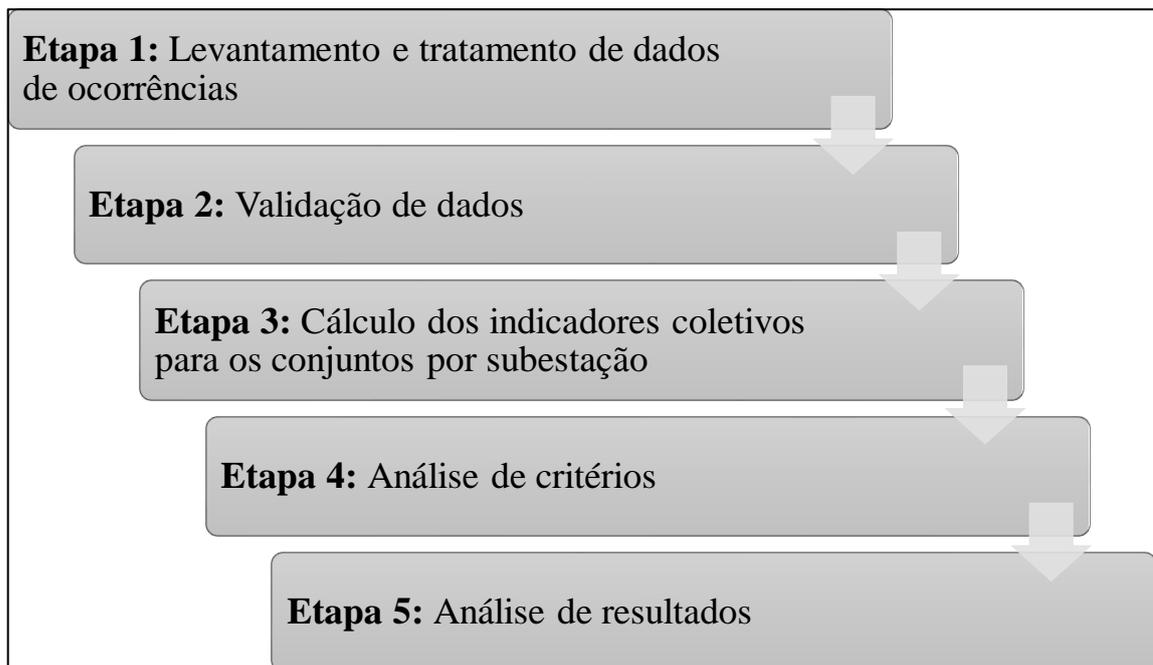
A metodologia proposta parte do diagnóstico histórico dos indicadores individuais DIC e FIC das unidades consumidoras de uma concessionária de energia elétrica. Estes indicadores, são gerados por meio das ocorrências que acarretam em interrupção do fornecimento de energia elétrica. Estes dados permitem, por meio do cálculo dos indicadores coletivos, identificar os conjuntos de consumidores com maior duração de interrupção (DEC), bem como os que apresentam maior frequência de interrupção (FEC), o que implica em maiores valores de multa pagos pela concessionária, caso estes indicadores venham a extrapolar os limites para o conjunto ao qual pertencem.

Com vistas a identificar possíveis ajustes na configuração dos conjuntos de consumidores, de modo a reduzir a incidência em multas pagas pela concessionária pelo não atendimento aos limites estipulados para os indicadores de desempenho coletivo dos conjuntos, esta metodologia busca propor ajustes nos conjuntos, seguindo restrições e análises de critérios impostos pela ANEEL (2022). Assim, dois principais critérios devem ser analisados antes de qualquer ajuste entre os mesmos, são eles:

- (i) **contiguidade entre áreas:** este critério trata da proximidade entre as áreas atendidas pelas subestações dentro de cada conjunto e define que conjuntos que não sejam próximos, ou vizinhos, não podem ser unidos. Para isto, é importante observar a representação geográfica da abrangência dos conjuntos. Para o desenvolvimento desta metodologia contou-se com o auxílio do *software Q-Gis®*, que realiza a leitura dos dados da concessionária, imprimindo as áreas poligonais que representam cada conjunto de UCs; e
- (ii) **número de unidades consumidoras por conjunto:** este critério avalia as quantidades mínimas e máximas de unidades consumidoras permitidas quando se trata de unir ou separar conjuntos. Aqui são seguidas restrições que permitem ou vedam a agregação entre as subestações. São elas: Subestações com um número de UCs menor ou igual a 1000 devem ser agregadas a outra subestação; Subestações com um número de UCs maior que 1000 e menor ou igual a 10.000 podem ser agregadas a outras subestações; Subestações com número de UCs maior que 10.000 não podem ser agregadas a outras subestações.

Para melhor entendimento da metodologia que segue é importante destacar que para este estudo, os conjuntos atuais de Unidades Consumidoras existentes serão fragmentados de forma a se obter cada subestação como um único conjunto, para que assim, então, o procedimento de união entre os conjuntos (subestações) possa ser aplicado. A Figura 2 apresenta os procedimentos metodológicos para a proposta de análise dos conjuntos existentes, e na sequência as etapas dos procedimentos metodológicos são apresentadas.

Figura 2- Procedimentos metodológicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A etapa 1 da metodologia proposta trata-se do levantamento dos dados de ocorrências de interrupção de energia elétrica, por unidade consumidora. Como dados levantados, se compreendem os indicadores individuais (DIC e FIC) gerados para cada Unidade Consumidora (UC). Para cada UC, os dados indicam a qual conjunto atual a mesma pertence, bem como a subestação à qual está ligada no período analisado. O somatório dos dados filtrados por subestação ou por conjunto atual fornecem os dados referentes ao número de UC para cada um, respectivamente. Para uma melhor aderência ao *software* MATLAB®, utilizado na etapa de cálculo, estes dados foram tratados, eliminando possíveis inconsistências existentes em suas informações.

A etapa 2, por sua vez, busca validar os dados apurados. Para isto, primeiramente deve-se realizar o cálculo dos indicadores coletivos (DEC e FEC) para os conjuntos atuais no mesmo

formato em que se encontram antes da fragmentação. Após este procedimento, os valores obtidos devem ser comparados com os constantes no site da ANEEL (2022) para o mesmo período e conjuntos analisados. Para este cálculo de validação, foi desenvolvido um algoritmo com o auxílio do *software* MATLAB®, capaz de realizar a leitura dos dados e calcular os indicadores a partir dos dados de DIC e FIC, de acordo com as equações (5) e (6).

Nota-se que, nesta etapa, os dados são relacionados aos conjuntos da maneira em que estão configurados no período da apuração e são necessários os dados de total de unidades consumidoras por conjunto atual. Caso os valores calculados para os indicadores coletivos não representem os mesmos apurados e apresentados no site da ANEEL, estes dados devem ser revisados e uma nova apuração deve ser realizada. Se os resultados forem compatíveis, pode-se prosseguir para a próxima etapa.

Na terceira etapa é realizada uma fragmentação em todos os conjuntos atuais, para que, assim, cada subestação passe então a representar um novo conjunto a ser reagrupado e seus respectivos indicadores coletivos são novamente calculados. O cálculo dos indicadores coletivos por subestação leva em consideração os dados de UCs filtrados por subestação. Nesta etapa, um segundo algoritmo foi desenvolvido com o auxílio do *software* MATLAB® para a leitura dos dados e cálculo dos indicadores. A saída de dados é representada pelo somatório dos indicadores individuais para cada subestação, bem como o cálculo dos indicadores coletivos para cada subestação, realizados com a distribuição do somatório pelos totais de UCs de cada subestação, também constante na saída do algoritmo. O principal resultado, é a identificação das subestações com maiores valores nos indicadores coletivos, para que assim, estes casos possam ser tratados com a proposta de novos agrupamentos entre elas.

A etapa 4 realiza uma análise de critérios propostos pelo PRODIST. O documento apresenta como principais premissas para a proposta de novos agrupamentos a análise do critério de contiguidade de áreas e o critério que delimita os números máximo e mínimo de consumidores por conjunto a ser proposto. Com isto, esta etapa propõe duas matrizes de restrições que apresentam as possibilidades de união entre as subestações na formação de novos conjuntos, são elas: (i) Matriz de contiguidade de áreas, a qual avalia se as subestações que se pretende unir têm áreas contíguas entre si, caso negativo essa proposta de união deve ser descartada e novas possibilidades averiguadas; e (ii) Matriz de quantidade de UC por conjunto, a qual restringe as possibilidades de união de acordo com os valores máximos e mínimos de UCs permitido pelo PRODIST por conjunto. Após a análise destes critérios, as possibilidades de união entre subestações podem ser aplicadas e seus indicadores coletivos para os novos conjuntos formados devem ser recalculados.

Com os testes realizados, a etapa final trata-se da análise dos resultados apurados, identificando assim, as possibilidades de configuração dos conjuntos analisados que apresentam melhorias em comparação ao cenário atual. A análise de resultados segue duas linhas na metodologia proposta: primeiro deverá ser realizada uma análise da média global dos indicadores DEC e FEC, comparando a média entre todos os conjuntos atuais para cada indicador com a nova média encontrada para todos os novos conjuntos formados. Em uma segunda análise, a proposta é identificar qual dos cenários propostos na união entre os indicadores irá reduzir o maior valor de DEC e FEC dentre os demais.

Para melhor aplicação da metodologia, é importante identificar a quantidade total de conjuntos atuais a serem analisados, bem como delimitar a quantidade  $n$  de conjuntos que se pretende obter ao final da aplicação do estudo. Essa delimitação permite ao pesquisador uma preparação dos pares de conjuntos que se pretende unir, criando possibilidades de configuração, seguindo as restrições propostas na etapa de análise dos critérios de contiguidade e número de UCs por conjunto. Para aplicação da metodologia desenvolvida, o capítulo 4 apresenta um estudo de caso.

## 4 ESTUDOS DE CASO

Para a validação da metodologia proposta, este capítulo apresenta dois estudos de caso. O primeiro é aplicado aos conjuntos da cidade de Pelotas os quais são parte da concessionária CEEE Grupo Equatorial, e o segundo estudo de caso é criado a partir da geração de dados aleatórios que representam conjuntos de uma concessionária fictícia.

### 4.1 ESTUDO DE CASO I

Este estudo de caso é proposto para os conjuntos da cidade de Pelotas, os quais são parte da concessionária CEEE Grupo Equatorial. A razão pela escolha dos conjuntos deste município, se deve à dimensionalidade reduzida quanto ao número de conjuntos a serem tratados, o que favorece a análise dos resultados e a construção e atualização do modelo desenvolvido.

A CEEE Grupo Equatorial, empresa compreendida neste estudo, atende em sua área de concessão, 72 municípios das regiões Metropolitana, Sul, Centro-Sul, Campanha, Litoral Norte e Litoral Sul abrangendo 73.627 km<sup>2</sup>, o que corresponde aproximadamente a 34% do mercado consumidor do Rio Grande do Sul, através de seus 72.138 km de redes urbanas e rurais. Atualmente, segundo dados presentes em sua plataforma digital, a empresa conta com mais de 1,7 milhão de clientes, responsáveis neste cenário de estudo pela geração das demandas de serviços atendidas pela concessionária. (CEEE Grupo Equatorial, 2021). A Figura 3 apresenta uma visão da representatividade da área de concessão no estado do Rio Grande do Sul.

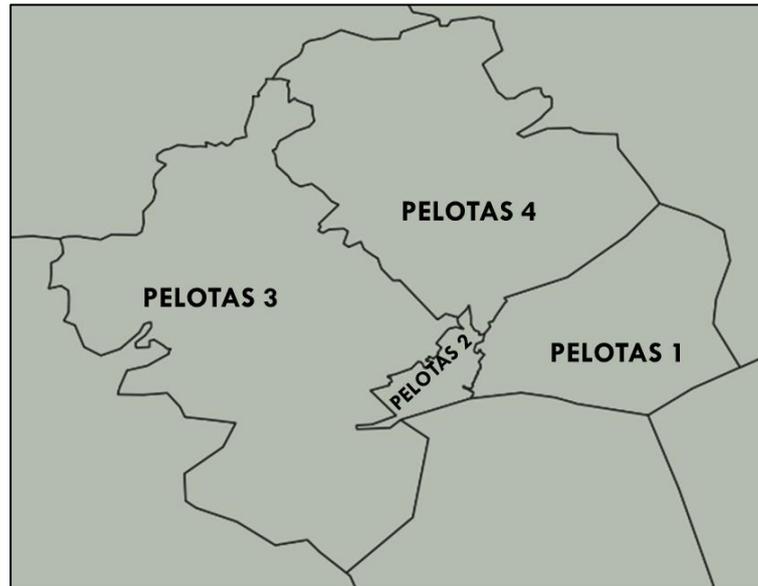
Figura 3- Área de concessão da CEEE Grupo Equatorial



Fonte: CEEE Grupo Equatorial (2021)

Atualmente, a empresa conta com um total de 61 conjuntos de unidades consumidoras, e cada conjunto conta com uma ou mais subestação em cada um. Dentre estes conjuntos, para este estudo de caso, destacam-se aqueles que representam o município de Pelotas, caracterizados como Pelotas 1, Pelotas 2, Pelotas 3 e Pelotas 4. Estes conjuntos, por sua vez, são compostos pelas subestações PEL1, PEL2, PEL3, PEL4 e PEL5, sendo as subestações PEL2 e PEL5 pertencentes, atualmente, a mesma área poligonal do conjunto Pelotas 2. A representação geográfica dos conjuntos de Pelotas foi extraída da Base de Dados Geográficos da Distribuidora (BDGD) e pode ser vista na Figura 4.

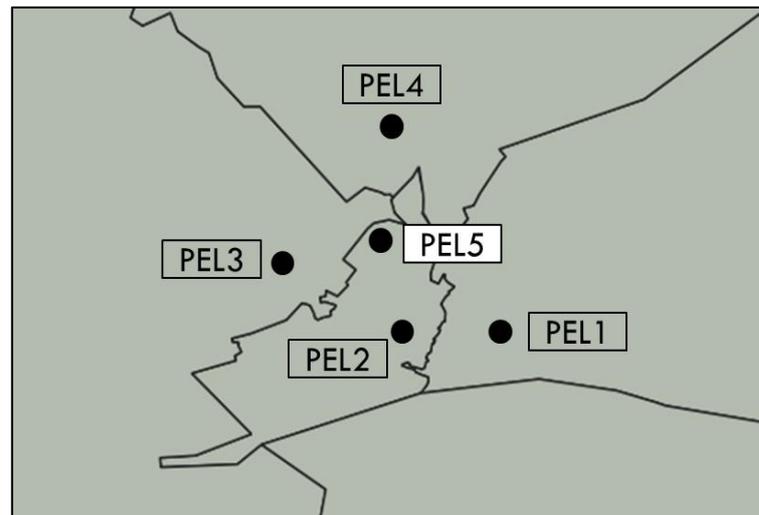
Figura 4- Conjuntos de Pelotas



Fonte: Base de Dados Geográficos da Distribuidora CEEE Grupo Equatorial (2019)

Os conjuntos que representam Pelotas, por sua vez, são compostos pelas subestações PEL1, PEL2, PEL3, PEL4 E PEL5, sendo as subestações PEL2 e PEL5 pertencentes, atualmente, a mesma área poligonal do conjunto Pelotas 2. Sua representação geográfica pode ser vista na Figura 5.

Figura 5- Subestações de Pelotas



Fonte: Base de Dados Geográficos da Distribuidora CEEE-D (2019)

O desenvolvimento desse estudo de caso apresenta-se na sequência de acordo com as etapas apresentadas na metodologia proposta, com o objetivo de apresentar e discutir os resultados obtidos com sua aplicação.

#### 4.1.1 Levantamento e tratamento de dados

Os dados levantados para este estudo referem-se às ocorrências que acarretaram em interrupção de energia elétrica dos consumidores nos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. Trata-se dos indicadores individuais (DIC e FIC) gerados para cada UC, bem como a indicação do conjunto atual e subestação aos quais cada UC estava ligada no período analisado. A coleta dos dados para o estudo de caso foi realizada diretamente com a empresa na qual o estudo se aplica, por meio de informações referentes às ocorrências que acarretaram em interrupção do fornecimento de energia elétrica e diretamente no site da ANEEL (2021).

Os dados referentes aos números totais de UCs para cada conjunto atual foram resgatados da base de dados do site da ANEEL (2021) para os cálculos que validam os dados. Já os dados que representam o número total de UCs por subestação, foram identificados pelo somatório do número total de registros de ocorrências para cada subestação nos períodos analisados.

Para uma melhor aderência ao *software* MATLAB®, utilizado na etapa de cálculo, estes dados foram tratados, eliminando possíveis inconsistências existentes em suas informações. Assim, na sequência partiu-se para a etapa de validação dos dados coletados.

#### 4.1.2 Validação de dados

Diante do desafio de coletar os dados com a empresa na qual o estudo se aplica, foi necessário estabelecer uma etapa de validação dos dados recebidos, de forma a evitar possíveis erros nos cálculos que possam ser causados por falhas na extração de dados por parte da concessionária. Sendo assim, esta etapa, que trata da validação de dados, é representada pelo cálculo dos indicadores coletivos DEC e FEC por conjunto atual. O objetivo é que estes resultados calculados representem os resultados de DEC e FEC apurados e apresentados na base de dados do site da ANEEL (2021) para os períodos considerados.

Para o cálculo dos indicadores coletivos DEC e FEC por conjunto atual, foi considerado um algoritmo desenvolvido em *software* MATLAB®. Este algoritmo recebe como entrada os dados tabulados das ocorrências e os dados referentes ao número de UCs para cada conjunto, tomando como base, neste estudo os dados constantes no site da ANEEL. Com isto, o algoritmo realiza um somatório dos dados dos indicadores individuais DIC e FIC e divide estes resultados

pelo total de UC por conjunto atual, obtendo assim os valores de DEC e FEC por conjunto, valores estes próximos ou iguais aos apurados, conforme apresenta a Tabela 1.

Tabela 1 - Indicadores coletivos por conjunto atual

ANO	CONJUNTO	CODIGO	N.UCs	APURADO		CALCULADO	
				DEC	FEC	DEC	FEC
2017	PELOTAS 1	15987	56435	12,11	9,48	12,05	9,41
	PELOTAS 2	15988	72748	8,71	8,51	8,66	8,45
	PELOTAS 3	15989	19978	38,92	20,12	26,17	16,12
	PELOTAS 4	15990	11423	47,59	17,72	43,59	16,88
2018	PELOTAS 1	15987	59157	11,95	10,86	11,88	10,75
	PELOTAS 2	15988	74536	11,22	9,47	11,15	9,39
	PELOTAS 3	15989	21360	35,25	20,18	23,86	16,35
	PELOTAS 4	15990	11756	39,99	18,68	33,52	17,21
2019	PELOTAS 1	15987	62811	15,60	12,85	13,10	10,45
	PELOTAS 2	15988	76502	12,04	9,77	10,48	9,33
	PELOTAS 3	15989	23058	42,97	18,07	32,87	16,94
	PELOTAS 4	15990	12240	72,22	23,04	40,47	16,04
2020	PELOTAS 1	15987	62811	15,60	12,85	15,49	12,68
	PELOTAS 2	15988	76502	12,04	9,77	11,99	9,67
	PELOTAS 3	15989	23058	42,97	18,07	30,22	14,89
	PELOTAS 4	15990	12240	72,22	23,04	56,57	20,16

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Na Figura 6 é possível observar os valores para os indicadores coletivos calculados para cada um dos conjuntos, em comparação com os valores já apurados nos períodos e apresentados no site da ANEEL.

Pode-se observar, de maneira geral, que os conjuntos Pelotas 3 e Pelotas 4 são os que apresentam maior diferença para os dados de DEC e FEC se comparados aos demais. Seus valores calculados são menores do que os valores apurados, o que indica que o somatório dos indicadores individuais deveria ser maior, mantendo-se o mesmo número de UCs presente na base da ANEEL, ou pode indicar que seu número de UCs deveria ser menor do que o indicado na base da ANEEL. A diferença também pode ser justificada pelo próprio fato de que foram encontradas inconsistências nos dados encaminhados pela empresa, devido a problemas na extração de dados.

Alguns aspectos relacionados aos números de UCs ainda serão apresentados e discutidos no final deste estudo de caso. Ainda assim, considerou-se que o algoritmo para cálculo de DEC

e FEC é válido para a realização do cálculo e com o mesmo banco de dados deu-se continuidade ao estudo para o cálculo dos indicadores coletivos, agora considerando a separação por subestação, de acordo com a metodologia proposta.

#### 4.1.3 Cálculo dos indicadores coletivos por subestação

Esta nova etapa de cálculo dos indicadores coletivos parte da fragmentação dos conjuntos atuais da empresa em subestações, dividindo os 4 conjuntos em 5.

Para o cálculo dos indicadores coletivos por subestação utilizou-se um novo algoritmo desenvolvido em *software* MATLAB®. Este algoritmo, por sua vez, recebe como entrada os mesmos dados tabulados das ocorrências e os dados referentes ao número de UCs para cada subestação, tomando como base, nesta etapa, o somatório de registros de ocorrências existentes para o período.

Para o cálculo dos indicadores coletivos por subestação, o algoritmo realiza um filtro, levando em consideração os dados de UCs ligados a cada subestação. Os valores totais dos somatórios dos indicadores individuais DIC e FIC para cada subestação foram divididos pelo total de registros por subestação (REG\_SUB), resultante das ocorrências registradas para cada período, onde houve interrupção no fornecimento de energia elétrica. Os resultados podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados dos indicadores coletivos por subestação

ANO	SUB	REG_SUB	DEC	FEC
2017	PEL1	50587	11,69	9,28
	PEL2	61040	9,00	8,69
	PEL3	17083	31,44	19,72
	PEL4	13001	41,41	16,17
	PEL5	12744	8,93	8,92
2018	PEL1	52246	11,02	10,19
	PEL2	55822	8,71	7,21
	PEL3	21783	29,57	22,30
	PEL4	12265	35,22	17,67
	PEL5	17064	18,13	14,94
2019	PEL1	53546	12,96	10,49

	PEL2	57497	9,23	8,00
	PEL3	23995	37,53	21,12
	PEL4	7574	57,74	20,24
	PEL5	21295	16,34	13,30
2020	PEL1	53422	15,22	12,55
	PEL2	59032	11,15	9,24
	PEL3	22168	36,79	19,42
	PEL4	8261	78,50	26,07
	PEL5	23217	16,02	11,64

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Os resultados obtidos para cada subestação, permitem observar que as subestações PEL3 e PEL4 são as que apresentam maiores valores de DEC e FEC em comparação com as demais. Estes resultados serão retomados na etapa 5, após a análise de critérios que segue.

#### **4.1.4 Análise de critérios**

Na etapa de análise de critérios apresentados pelo PRODIST foram propostas duas matrizes de restrições que definem as possibilidades de união entre as subestações na formação de novos conjuntos.

##### **4.1.4.1 Critério de contiguidade de áreas**

A matriz de contiguidade de áreas, apresentada na Figura 6, relaciona cada uma das subestações com as demais. De acordo com este critério, cada par de subestação é identificado como: 1- áreas contíguas, ou 0- áreas não contíguas. Para sua criação foram analisadas visualmente as áreas poligonais dos conjuntos aos quais cada subestação pertence, identificando quais possibilitavam ou não a união entre si.

Figura 6- Matriz de contiguidade de áreas

<b>MATRIZ DE CONTIGUIDADE</b>					
	PEL1	PEL2	PEL3	PEL4	PEL5
PEL1	0	1	0	1	1
PEL2	1	0	1	0	1
PEL3	0	1	0	1	1
PEL4	1	0	1	0	1
PEL5	1	1	1	1	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para este estudo de caso, pretende-se unir 2 das 5 subestações, formando 4 conjuntos de UCs, de maneira a aproximar-se do cenário existente hoje em dia na empresa na qual o estudo se aplica. Levando em conta esta definição de unir um par de subestações, formando um único conjunto e manter as outras três como conjuntos individuais, a matriz de contiguidade de áreas, para Pelotas apresenta oito possibilidades de união, representadas pelo valor 1. Essas possibilidades formam os oito cenários possíveis, descritos como: cenário A, cenário B, cenário C, cenário D, cenário E, cenário F, cenário G e cenário H. A Tabela 3 apresenta as subestações contidas em cada cenário proposto.

Tabela 3- Cenários de união entre subestações

Cenário	Subestações
A	1-2
B	1-4
C	1-5
D	2-3
E	2-5
F	3-4
G	3-5
H	4-5

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Cada cenário proposto, com a realização da união de duas subestações formando um único conjunto, ainda passa por uma análise do critério do número de UCs por conjunto, filtrando as possibilidades de união entre subestações.

#### **4.1.4.2 Critério de número de UCs por conjunto**

Retomando, a matriz de união de acordo com o número de UCs, segue restrições para sua construção, que permitem ou vedam a agregação entre as subestações. São elas:

- Subestações com um número de UCs menor ou igual a 1000 devem ser agregadas a outra subestação;
- Subestações com um número de UCs maior que 1000 e menor ou igual a 10.000 podem ser agregadas a outras subestações;
- Subestações com número de UCs maior que 10.000 não podem ser agregadas a outras subestações.

A matriz de união de acordo com o número de UCs não permite unir nenhuma das subestações da cidade de Pelotas, pois leva-se em conta o critério apresentado no terceiro ponto, no qual as subestações com números de UCs maior que 10.000 não podem ser agregadas a outras subestações. Com exceção da subestação PEL4 no ano 2020, todos os demais dados de UCs por subestação para os anos observados neste estudo de caso, contam com subestações com valores maiores que 10.000 UCs.

Portanto, para dar continuidade no estudo e para que a proposta de análise ainda assim pudesse ser validada, optou-se por não considerar, neste estudo de caso, a matriz do número de UCs. Assim, os oito possíveis cenários já apresentados na Tabela 3 tornaram-se válidos para a análise objetivando a observação da aplicação e validação da metodologia por completa.

#### **4.1.5 Análise dos resultados**

Na sequência, foram realizados os testes de união entre pares de subestações, com o objetivo de se obter, a partir das 5 subestações, as possibilidades de formação de 4 novos conjuntos de unidades consumidoras.

Para definir as possibilidades de união deste estudo, partiu-se da ideia de buscar uma redução nos valores de DEC e FEC médio entre todas as subestações do estudo para cada ano analisado. O primeiro cálculo destes valores deu-se por meio de uma média aritmética realizando a soma entre os valores de DEC e FEC apresentados para cada subestação e dividindo este somatório pelas 5 subestações. Este cálculo de DEC e FEC médio representa um

indicador global das subestações consideradas na análise. Com ele é possível observar se a união das subestações em novos conjuntos o beneficia reduzindo-o ou se haverá um aumento em seu valor. O resultado pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4- DEC e FEC médio apurado

ANO	DEC MÉDIO	FEC MÉDIO
2017	20,50	12,56
2018	20,53	14,46
2019	26,76	14,63
2020	31,54	15,78

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Partindo da observação dos valores obtidos para DEC e FEC médio para cada ano, a proposta busca uma redução nestes valores. Para isto, foi considerada a soma dos valores de DEC e FEC por conjunto em suas novas propostas de configuração, ou seja, o cálculo da nova média aritmética, antes realizada considerando uma divisão por 5 subestações, agora é realizado com a divisão por 4 conjuntos. Uma estratificação destes cálculos pode ser visualizada na Tabela 5, onde são apresentados os oito cenários para cada período analisado, destacando quais subestações o compõem, bem como quais os valores de DEC e FEC deste novo conjunto e seu impacto nos valores de DEC e FEC médio.

Tabela 5- DEC e FEC médio para os novos conjuntos

	CENÁRIO	SUB X	SUB Y	DEC	FEC	DEC MÉDIO	FEC MÉDIO
<b>2017</b>	A	1	2	10,22	8,96	23,00	13,44
	B	1	4	17,77	10,69	16,79	12,00
	C	1	5	11,14	9,21	23,25	13,45
	D	2	3	13,91	11,10	18,99	11,37
	E	2	5	8,99	8,73	23,38	13,47
	F	3	4	35,75	18,18	16,35	11,27
	G	3	5	21,82	15,10	20,98	12,31
<b>2018</b>	A	1	2	9,82	8,65	23,19	15,89
	B	1	4	15,62	11,61	18,01	14,02
	C	1	5	12,77	11,36	21,57	14,63
	D	2	3	14,56	11,44	19,73	13,56
	E	2	5	10,91	9,02	21,68	14,79
	F	3	4	31,61	20,63	17,37	13,24
	G	3	5	24,55	19,07	19,87	13,53
<b>2019</b>	A	1	2	11,03	9,20	30,66	15,97
	B	1	4	18,51	11,69	20,40	13,53
	C	1	5	13,93	11,29	29,61	15,16
	D	2	3	17,56	11,86	26,15	13,97
	E	2	5	11,15	9,43	29,85	15,32
	F	3	4	42,38	20,91	20,23	13,17
	G	3	5	27,57	17,44	26,88	14,04
<b>2020</b>	A	1	2	13,08	10,81	36,10	16,99
	B	1	4	23,69	14,36	21,91	13,66
	C	1	5	15,46	12,27	35,48	16,75
	D	2	3	18,15	12,02	31,97	15,57
	E	2	5	12,53	9,91	35,76	16,99
	F	3	4	48,12	21,23	22,63	13,66
	G	3	5	26,16	15,44	32,76	15,82

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

As colunas DEC e FEC representam os novos valores para os indicadores coletivos com a união das subestações “X” e “Y”. Observa-se que ao unir as subestações 3 e 4 (cenário F) obtém-se o menor valor para a média de DEC e FEC considerando agora 4 conjuntos, para

todos os anos considerados, mostrando que este é um cenário favorável ao longo do período analisado, mesmo que no ano de 2020 haja outra possibilidade também viável (cenário B).

A proposta de união das subestações 3 e 4 gerou um novo valor para os indicadores coletivos deste novo conjunto formado, e as três subestações restantes (1, 2 e 5) representam conjuntos individuais para a nova proposta, formando a seguinte configuração: PEL1, PEL2, PEL5, PEL34. Com isto, uma nova média de DEC e FEC pode ser observada levando em conta os 4 conjuntos constantes nesta nova proposta. Um comparativo dos valores médios para DEC e FEC entre apurado e uma nova proposta pode ser visualizado na Tabela 6.

Tabela 6- DEC e FEC médio

ANO	Apurado		Nova proposta	
	DEC MÉDIO	FEC MÉDIO	DEC MÉDIO	FEC MÉDIO
2017	20,50	12,56	16,35	11,27
2018	20,53	14,46	17,37	13,24
2019	26,76	14,63	20,23	13,17
2020	31,54	15,78	22,63	13,66

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para todos os anos do estudo, observa-se que o cenário F apresenta a maior redução desta média por meio da união das subestações PEL3 e PEL4 em um único novo conjunto (PEL34). Considerando todas as subestações analisadas nesta proposta de união, o DEC médio é reduzido em aproximadamente 21% de maneira global. Por outro lado, o FEC médio apresenta benefícios com uma redução de aproximadamente 10% do valor comparado ao valor apurado. Esta configuração, que observa os dados históricos, pode ser benéfica para a redução dos indicadores coletivos, considerando que seu comportamento possa ser o mesmo ou aproximado em períodos futuros.

Uma perspectiva complementar que apresenta os benefícios da reconfiguração das subestações, é a observação da variação entre os valores de DEC e/ou FEC apurados para cada subestação se comparados aos valores de DEC e/ou FEC para cada subestação com a nova proposta. Esta abordagem conta agora com uma observação individual e não global do impacto nos indicadores coletivos.

Uma representação gráfica para os indicadores coletivos DEC dos últimos dois anos analisados é apresentada na Figura 7. As subestações 3 e 4, que formam um novo conjunto, são

apresentadas separadamente para uma melhor comparação com seus valores apurados anteriormente.

Figura 7- DEC 2019 e 2020

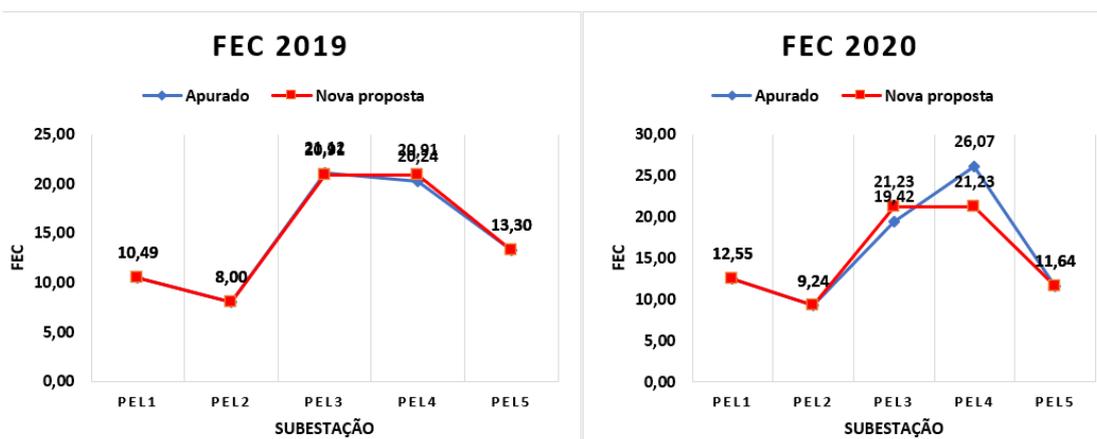


Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para simplificar a apresentação dos resultados gráficos obtidos nesta última análise, os dados apresentados na Figura 7 se referem ao indicador coletivo DEC de 2019 e 2020, visto que seu comportamento é muito similar para os anos anteriores. Os valores de DEC apurados são representados em azul e os valores de DEC para a nova proposta são representados em vermelho. Os gráficos demonstram que a união entre as subestações 3 e 4 apresenta benefícios mais significativos para a subestação 4, reduzindo seus respectivos valores de DEC em 26% para o ano de 2019 e em 38% para o ano de 2020. Mesmo que para a subestação 3 haja uma elevação nos valores de DEC, esta variação é relativamente pequena em comparação ao benefício que a união pode representar.

A mesma representação gráfica apresentada anteriormente, pode ser verificada para o indicador coletivo FEC na Figura 8.

Figura 8- FEC para 2019 e 2020



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Observa-se que para o ano de 2019 a diferença no indicador FEC é muito pequena, mantendo vantajosa a união entre estas subestações. Já para o ano de 2020, a variação é mais representativa com a redução do FEC de 26,07 para 21,23 para a subestação 4, representando uma redução de aproximadamente 20% do valor deste indicador. Esta configuração apresenta ser vantajosa, ainda que haja um pequeno aumento no FEC para a subestação 3.

Portanto, para este estudo de caso, conclui-se que o melhor cenário de união entre as subestações é representado pelo cenário F, unindo as subestações 3 e 4 em um único conjunto.

## 4.2 ESTUDO DE CASO II

Para este estudo de caso, foram considerados dados fictícios, representando os valores de indicadores individuais e coletivos de 4 subestações. O número de conjuntos  $n$  ao qual pretende-se chegar com este estudo de caso é 3 conjuntos. Como este estudo de caso parte da geração de dados aleatórios que irão compor os indicadores individuais dos conjuntos, o estudo será apresentado a partir da etapa de cálculo dos indicadores coletivos por subestação.

### 4.2.1 Cálculo dos indicadores coletivos por subestação

Os indicadores coletivos para cada subestação são apresentados na Tabela 7. Para cálculo dos indicadores coletivos foram gerados dados aleatórios que representam o total de UCs e os somatórios de DIC e FIC para cada subestação.

Tabela 7 - Cálculo dos indicadores coletivos

SUB	TOTAL UCS	SUM DIC	SUM FIC	DEC	FEC
SUB1	8000	147.000	120.000	18,37	15,00
SUB2	10000	165.000	127.000	16,50	12,70
SUB3	6500	127.000	100.500	19,53	15,46
SUB4	7500	195.000	100.000	26,00	13,33

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

#### 4.2.2 Análise de critérios

Nesta etapa foram analisados os critérios de contiguidade e número de UCs para cada uma das possibilidades de união. A Figura 9 apresenta a matriz de contiguidade, relacionando as subestações entre si e classificando-as em áreas contíguas ou não.

Figura 9 - Matriz de contiguidade de áreas

<b>MATRIZ DE CONTIGUIDADE</b>				
	SUB1	SUB2	SUB3	SUB4
SUB1	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
SUB2	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
SUB3	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
SUB4	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

De acordo com a matriz de contiguidade é possível observar que são permitidos 4 tipos de união entre as subestações. São elas: SUB1 e SUB2; SUB1 e SUB4; SUB2 e SUB3; SUB3 e SUB4. Os pares de subestações representados por zero na matriz de contiguidade não apresentam áreas contíguas, descartando a possibilidade de união.

As 4 possibilidades de união apresentadas são processadas agora na matriz que relaciona os pares de subestações de acordo com o número de UCs. As possibilidades de união entre subestações de acordo com este critério podem ser observadas na Figura 10.

Figura 10 - Matriz N° de UCS

<b>MATRIZ DE N° DE UCS</b>				
	SUB1	SUB2	SUB3	SUB4
SUB1	0	1	1	1
SUB2	0	0	0	0
SUB3	1	1	0	1
SUB4	1	1	1	0

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

A matriz que relaciona os números de UCs entre as subestações restringe 2 das 4 possibilidades apresentadas pela matriz de contiguidade de áreas. Todas as possibilidades que envolvem a subestação 2 devem ser descartadas da união por conta do número de UCs constantes nela. Assim, as duas possibilidades de união permitidas ao final da aplicação das duas matrizes de restrições são a união entre as subestações 1 e 4 e a união entre as subestações 3 e 4.

#### 4.2.3 Análise dos resultados

A análise de resultados deste estudo de caso segue a mesma proposta do estudo de caso I, onde são realizados testes de união entre os pares de subestações, de acordo com os 2 cenários possíveis, com o objetivo de se obter 3 conjuntos a partir das 4 subestações apresentadas.

O primeiro cenário da proposta é a união das subestações 1 e 4 formando um único conjunto. Para este cenário, as subestações 2 e 3 representam conjuntos individuais. Já o segundo cenário é composto pelas subestações 3 e 4 formando um único conjunto, assim, as subestações 1 e 2 representam conjuntos individuais.

A primeira análise trata-se da maior redução do DEC e FEC médio entre todas as subestações deste estudo de caso. O primeiro cálculo destes valores foi realizado por meio de uma média aritmética realizando a soma entre os valores de DEC e FEC apresentados para cada subestação e dividindo este somatório pelas 4 subestações. Para DEC médio foi encontrado o valor de 20,10 h, e o FEC médio encontrado foi de 14,12.

Na sequência foi realizado o cálculo da nova média aritmética para os indicadores DEC e FEC médio que representam a formação de 3 conjuntos de acordo com os cenários apresentados. A Tabela 8 apresenta os resultados.

Tabela 8 – DEC e FEC para os novos conjuntos

<b>CENÁRIO</b>	<b>SUB X</b>	<b>SUB Y</b>	<b>DEC</b>	<b>FEC</b>	<b>DEC MÉDIO</b>	<b>FEC MÉDIO</b>
<b>A</b>	1	4	22,06	14,19	19,36	14,12
<b>B</b>	3	4	23,00	14,32	19,29	14,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O cenário A, representado pela união das subestações 1 e 4 apresenta um DEC médio de 19,36 h, o que representa uma redução de 0,74 h se comparado ao anterior, e o FEC médio é mantido em 14,12. Já para o cenário B, representado pela união das subestações 3 e 4 totaliza um DEC médio de 19,29h, com uma redução de 0,81 h e com um FEC médio de 14,01, apresentando uma redução no cenário atual.

Avaliando as duas possibilidades, é possível identificar que o cenário B representa a melhor proposta de união entre subestações. Um comparativo dos valores médios para DEC e FEC entre o cenário atual e a nova proposta pelo cenário B é apresentada na Tabela 9.

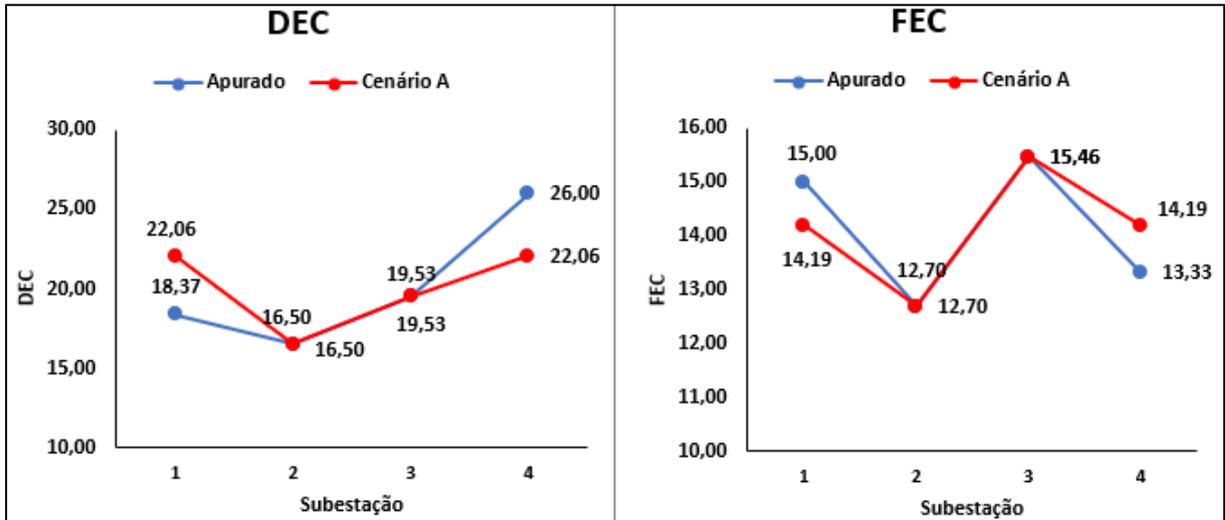
Tabela 9 - Comparativos entre DEC e FEC médio

	<b>CENÁRIO ATUAL</b>	<b>NOVA PROPOSTA</b>
<b>DEC MÉDIO</b>	20,10	19,29
<b>FEC MÉDIO</b>	14,12	14,01

Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Ainda que o cenário B apresente a melhor proposta de união nesta abordagem, na sequência, as Figuras 11 e 12 apresentam, a variação de DEC e FEC em cada subestação de acordo com o cenário A e B, respectivamente, de modo a observar os benefícios dos resultados apresentados.

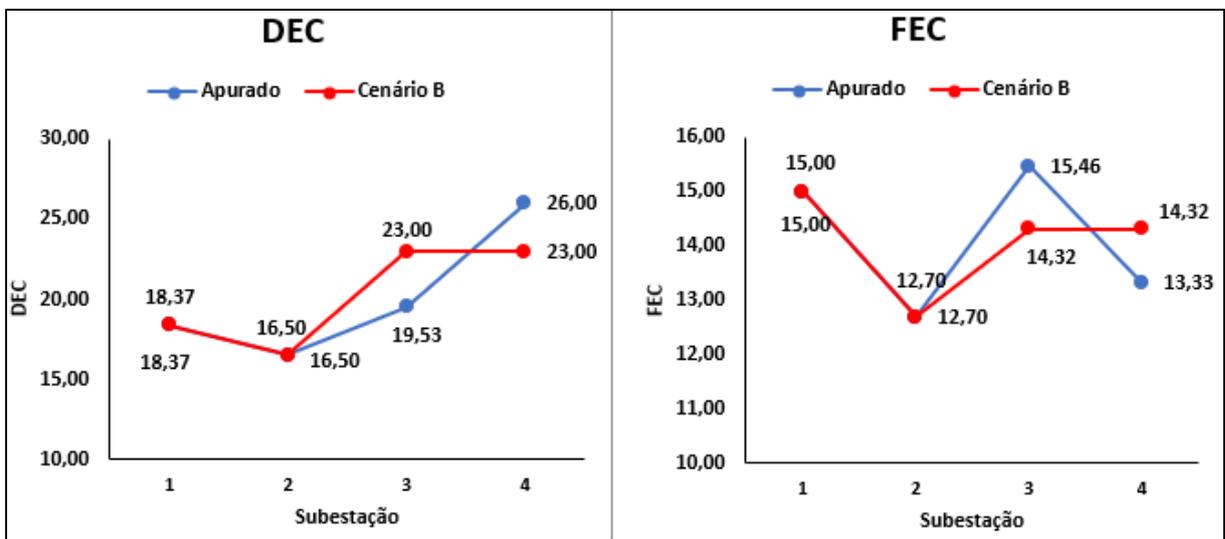
Figura 11 - DEC e FEC para o cenário A



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

Para o cenário A são unidas as subestações 1 e 4. Observa-se que o DEC para a subestação 1 aumenta com a união entre as subestações e é reduzido para a subestação 4. Já para o FEC o contrário acontece, beneficiando a subestação 1 com uma redução e aumentando o valor para a subestação 4.

Figura 12 - DEC e FEC para o cenário B



Fonte: Elaborado pelo autor (2022)

O cenário B une as subestações 3 e 4 em um único conjunto. Para o indicador DEC é possível observar um aumento para a subestação 3 e uma redução para a subestação 4. Já para o indicador FEC a subestação 3 é beneficiada com uma redução e a subestação 4 apresenta um aumento.

Para este estudo de caso é possível observar que ambos cenários apresentam comportamentos muito parecidos, reduzindo os valores de DEC para uma das subestações a serem unidas na mesma proporção em que aumentam o DEC para a outra subestação a formar o conjunto. O mesmo acontece para o indicador FEC, o que traz uma visão individual do comportamento destes indicadores em cada subestação, mas não traz uma conclusão de qual seria a melhor união por meio dessa perspectiva. Portanto, levando em conta a análise de DEC e FEC globais dentre as subestações do estudo, conclui-se que o cenário B é o que apresenta o melhor resultado de união dentre as propostas apresentadas.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A metodologia apresentada por meio do desenvolvimento de dois estudos de caso, propõe uma análise que trata da observação do comportamento dos dados ao longo dos anos, para identificar historicamente como a configuração das unidades consumidoras em determinados conjuntos poderia se comportar.

Os estudos de caso apresentados no capítulo anterior destacam a importância de se obter mais de um método de análise de resultados, como a metodologia deste estudo apresenta, pois em algumas situações os resultados podem não ser tão significativos ao se observar apenas por um método de análise. Duas formas de análise são utilizadas, são elas: redução da média global entre os indicadores coletivos das subestações envolvidas em cada estudo de caso e análise do comportamento de cada subestação ao formar um novo conjunto de UCs.

A média dos indicadores coletivos dos conjuntos analisados foi considerada uma média global, para a qual buscou-se uma redução que viria a contribuir de maneira geral para as subestações envolvidas em cada estudo de caso. Ao final da aplicação da metodologia espera-se que a configuração escolhida possa beneficiar os indicadores coletivos ao longo dos próximos períodos de análise, levando em consideração que os dados venham a se comportar de maneira similar, conforme apresentou-se no estudo de caso I com a análise histórica de um conjunto de dados reais.

Para o estudo de caso I, foi atingida uma redução nos valores dos indicadores coletivos (DEC e FEC) por meio da união de duas subestações distribuindo pelo total de unidades consumidoras do novo conjunto os valores de seus respectivos indicadores individuais (DIC e FIC). Quanto ao número de conjuntos reagrupados, o objetivo foi obter 4 conjuntos, para que assim os resultados possam ser comparados com o cenário atual da concessionária que apresenta 4 conjuntos formados a partir das 5 subestações.

O estudo de caso I ainda permitiu identificar que o critério referente ao número de UCs por conjunto, apresentado no Módulo 8 do PRODIST (2021), pode apresentar problemas na restrição da união de subestações. Para este estudo de caso o critério não permitiria a união de nenhuma das subestações, pois quatro delas apresentam um número maior que 10.000 UCs, impedindo sua união com quaisquer outras. Para validar a metodologia e observar o comportamento dos indicadores coletivos por meio da união de subestações, esta restrição foi desconsiderada ao longo deste estudo de caso. Já na proposta de estudo de caso II foram gerados dados aleatórios que permitiram a aplicação da matriz que restringe o número de UCs por conjunto, possibilitando uma aplicação completa da metodologia.

A dificuldade de obtenção de dados, principalmente no que se refere ao critério de Unidades Consumidoras pode ser considerada um fator limitante do estudo de caso I, que levou em consideração o cenário real de uma empresa, pois os dados que constam na base de dados do site da ANEEL (2021) divergem dos dados apurados pelos relatórios de ocorrências obtidos com a empresa.

É importante ressaltar que esta metodologia apenas observa o comportamento dos indicadores coletivos DEC e FEC com base em dados temporais e realiza uma projeção de como seria seu comportamento considerando que futuramente os dados mantenham comportamento similar. Este estudo, como um todo, analisa apenas o comportamento dos indicadores coletivos mediante a manipulação das unidades consumidoras entre conjuntos, não levando em conta questões referentes aos limites estipulados pela ANEEL para cada conjunto. Portanto, mesmo que vantajosa uma união por meio desta metodologia, ela ainda pode representar uma extrapolação nos limites de seus conjuntos, o que necessita uma análise e estudo com enfoque em limites.

## 6 CONCLUSÃO

A metodologia proposta nesta dissertação apresentou resultados satisfatórios quanto aos objetivos propostos, apresentando duas perspectivas possíveis para análise na busca da redução dos Indicadores Coletivos, sendo uma delas com a redução do DEC/FEC Médio e outra objetivando a redução do maior valor de DEC ou FEC de uma subestação específica. Para validar a proposta metodológica foram propostos dois estudos de caso, sendo um deles aplicado em uma concessionária, analisando dados reais e outro estudo de caso para o qual foram gerados valores aleatórios representando os indicadores individuais de subestações para a formação de novos conjuntos.

A metodologia apresentada vai de encontro com a importância que deve ser dada ao assunto da qualidade no fornecimento de energia elétrica pelas empresas concessionárias. Com sua aplicação, múltiplas análises podem ser realizadas, desmembrando todos e quaisquer conjuntos formados e criando novas possibilidades de conjuntos para comparar o comportamento dos indicadores ao longo das novas formações.

O estudo contribui para possíveis pesquisas futuras que buscam otimizar e implementar metodologias de impacto na qualidade de serviços oferecidos pelas diversas concessionárias do Brasil. Estudos futuros podem aplicar em dados referentes a outros conjuntos quaisquer permitindo uma flexibilidade quanto à quantidade desejada de conjuntos a se obter ao final de cada estudo por conta do pesquisador.

Em adição, pode-se levar desenvolver uma metodologia complementar envolvendo os limites estipulados para cada conjunto de UC, analisando as variações que devem ocorrer nos limites de cada conjunto mediante os cenários a serem propostos para a união de subestações. Assim será possível obter um resultado mais ajustados à realidade buscando melhorar o desempenho dos conjuntos, e observando quais os possíveis impactos de seus reagrupamentos nos valores despendidos em compensações por altos valores que venham a violar os limites impostos para cada conjunto.

## REFERÊNCIAL BIBLIOGRÁFICO

- ABRADEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília). Setor de distribuição: A distribuição de energia. 2017a. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>. Acesso em: 07 dez 2020.
- ABRADEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília). Setor elétrico: Visão geral. 2017b. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-eletrico/visao-geral-do-setor>>. Acesso em: 07 dez 2020.
- ANDERBERG, M. R. Cluster analysis for applications. New York: Academic Press, 1973.
- ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Indicadores Coletivos de continuidade. 2021. Disponível em: <<https://antigo.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>>. Acesso em: 01 dez 2021.
- BISCARRI, F; MONEDERO, I; GARCÍA, A; GUERRERO, J. I; LEÓN, C. “Electricity clustering framework for automatic classification of customer loads,” *Expert Syst. Appl.*, vol. 86, pp. 54–63, Nov. 2017.
- CEEE-D Grupo Equatorial Energia - Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica. 2021. Disponível em: <<https://cee.eequatorialenergia.com.br/>>. Acesso em: 01 nov 2021.
- CONSTANTI, L.P. Análise comparativa das metodologias de definição de conjuntos para estabelecimento de metas de qualidade (DEC e FEC). 2013. 84p. Dissertação. Universidade de Brasília. Brasília, DF, Brasil.
- DENT, I; CRAIG, T; AICKELIN, U; RODDEN, T. “Variability of Behaviour in Electricity Load Profile Clustering; Who Does Things at the Same Time Each Day?,” 2014, pp. 70– 84.
- FONINI, J. S. Análise de desempenho do sistema de atendimentos de serviços em concessionária de energia. 2016. 82p. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- FUHRMANN, M.W. Análise do impacto da manutenção em sistemas de distribuição de energia elétrica. 2017. 105p. Dissertação. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, Brasil.
- GIL, Antônio C., Como elaborar projetos de pesquisa. 5 ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- GORDON, A. D. Classification (2nd ed.). Boca Raton, FL: Chapman & Hall/CRC, 1999.
- GRANELL, R; AXON, C. J; WALLOM, D. C. H. “Impacts of Raw Data Temporal Resolution Using Selected Clustering Methods on Residential Electricity Load Profiles,” *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 30, no. 6, pp. 3217–3224, Nov. 2015.
- HARTIGAN, J. A. Clustering algorithms. New York: Wiley, 1975.

JOHNSON, R. A; WICHERN, D. W. Applied multivariate statistical analysis (5th ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall. 2002.

KANO, Manabu; NAKAGAWA, Yoshiaki. Data-based process monitoring, process control, and quality improvement: Recent developments and applications in steel industry. Computers & Chemical Engineering, [s.l.], v. 32, n. 1-2, p.12-24, jan. 2008. Elsevier BV.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.compchemeng.2007.07.005>

LATTIN, J; CARROLL, J. D; GREEN, P. E. Analyzing multivariate data. Pacific Grove, CA: Brooks/Cole, 2003.

LIRA, S.A. Análise de correlação: Abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicações. 2004. 209p. Dissertação. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, PR, Brasil.

MARCONI, Marina de A., LAKATOS, Eva M., Metodologia do trabalho científico: procedimentos básicos, pesquisa bibliográfica, projeto e relatório, publicações de trabalhos científicos. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick et al (Org). Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações. 2. ED. Rio de Janeiro: Elsevier: Abepro, 2012.

MCLOUGHLIN, F; DUFFY, A; CONLON, M. “A clustering approach to domestic electricity load profile characterisation using smart metering data,” Appl. Energy, vol. 141, pp. 190 – 199, Mar. 2015.

MOURA, R.R. Avaliação da utilização de Indicadores de Desempenho como suporte ao Gerenciamento Estratégico de uma Empresa: Um Estudo de Caso em uma Empresa Distribuidora de Energia Elétrica. 2002. 155p. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil.

NG, R. T; HAN, Jiawei. Efficient and effective clustering methods for spatial data mining. Proceedings of the 20th International Conference on Very Large Data Bases, 1994.

PALLADINO, J.T. Análise da correlação entre características sociodemográficas, acadêmicas e estilo de vida com os fatores de estresse, sintomas depressivos e qualidade do sono em graduandos de enfermagem. 2017. 185p. Dissertação. Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil.

PANAPAKIDIS, I.P; MOSCHAKIS, M.N. Consumer Load Profile Determination with Entropy- Based K-Means Algorithm. World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Energy and Power Engineering v.13, n. 3, 2019.

PESTANA, M.H; GAGUEIRO, J.N. Análise categórica, árvores de decisão e análise de conteúdo em ciências sociais e da saúde com o SPSS. Lisboa: Edições Lidel, 2009.

Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Revisão 12. 2021.

ROSA, F.A.F. Avaliação de novos atributos para estabelecimento de metas de DEC e FEC em redes de distribuição. 2009. 100p. Dissertação. Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

SANTOS, F.C. Metodologia de auxílio na tomada de decisão na formação de conjuntos de unidades consumidoras de energia elétrica. 2010. 111p. Dissertação. Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.

SLACK, N., et al. Gerenciamento de operações e de processos: princípios e práticas de impacto estratégico. Porto Alegre: Bookman, 2013.

SPERANDIO, M. Classificação de conjuntos consumidores de energia elétrica via mapas auto-organizáveis e estatística multivariada. 2004. 105p. Dissertação. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, Brasil.

TANURE, J.E.P.S. Análise comparativa de empresas de distribuição para o estabelecimento de metas de desempenho para indicadores de continuidade do serviço de distribuição. 2000. 160p. Dissertação. Escola Federal de Engenharia de Itajubá, Itajubá, MG, Brasil.

TIMM, N. H. Applied multivariate analysis. New York: Springer, 2002.

TSEKOURAS, G. J; HATZIARGYRIOU, N. D; DIALYNAS, E. N. “Two-Stage Pattern Recognition of Load Curves for Classification of Electricity Customers,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 3, pp. 1120–1128, Aug. 2007.

WU, X. et al., “Top 10 algorithms in data mining,” Knowl. Inf. Syst., vol. 14, no. 1, pp. 1–37, Jan. 2008.

ZHANG, T; ZHANG, G; LU, J; FENG, X; YANG, W. “A New Index and Classification Approach for Load Pattern Analysis of Large Electricity Customers,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 27, no. 1, pp. 153–160, Feb. 2012.