

Metodologia para reconfiguração de conjuntos de consumidores de acordo com a contiguidade de áreas

Wanderson L. Pereira*. Vinicius J. Garcia**. André R. Borniatti***
Laura L. C. dos Santos****. Nelson K. Neto***** Rui A. F. Garcia*****

*Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
(e-mail: wandersonlombardy@gmail.com).

** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
(e-mail: viniciusjg@gmail.com)

*** Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS
(e-mail: andre.borniatti@ufsm.br)

**** Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS
(e-mail: laura.callai.santos@gmail.com)

***** Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, RS
(e-mail: nelson.knak@ufsm.br)

***** CEEE-D, Porto Alegre, RS
(e-mail: ruihg@ceee.equatorialenergia.com.br)

Abstract: This article proposes a methodology for reconfiguration of sets of consumer units considering the contiguity of areas. The first part of the methodology consists of collecting historical data on occurrences that caused the interruption of electricity for groups of consumers, identifying the average interruption times and the frequency with which they occurred throughout the analyzed period. The objective of the present study is to identify possible adjustments in the configuration of the sets of consumers in order to obtain as a result the reduction of the values of the collective indicators of Equivalent Interruption Duration per Consumer (EID) and Equivalent Interruption Frequency per Consumer (EIF), which impacts the amounts of compensation (penalties) paid by the concessionaire for not meeting the limits stipulated for the collective performance indicators of the sets. To validate the proposed methodology, data from an electricity distributor located in Rio Grande do Sul were used, the results show that a reduction in the values of the collective indicators (EID and EIF) was achieved through the union of two substations distributing the total of consumer units of the new set the values of their respective individual indicators.

Resumo: O presente artigo tem como proposta uma metodologia para reconfiguração dos conjuntos de Unidades Consumidoras considerando contiguidade de áreas. A primeira parte da metodologia consiste no 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 do presente estudo é identificar possíveis ajustes na configuração dos conjuntos de consumidores de modo a se obter como resultados a redução dos valores dos indicadores coletivos de Duração Equivalente de Interrupção por Consumidor (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção por Consumidor (FEC), o que impacta nos valores de compensações (multas) pagas pela concessionária pelo não atendimento aos limites estipulados para os indicadores de desempenho coletivo dos conjuntos. Para validação da metodologia proposta foram utilizados dados de uma distribuidora de energia elétrica localizada no Rio Grande do Sul, os resultados mostram que 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.

Keywords: continuity indicators; supply quality; compensations; consumer sets; performance of sets.

Palavras-chaves: indicadores de continuidade; qualidade do fornecimento; compensações; conjuntos de consumidores; desempenho de conjuntos.

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, se faz 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 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).

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 (ABRADEE, 2021).

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 de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional (PRODIST, 2021) 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, relacionando a qualidade do fornecimento de energia elétrica a aspectos de qualidade de atendimento, produto e serviço.

Os indicadores são estabelecidos com o objetivo de fixar metas de um nível mínimo de qualidade aceitável no serviço prestado pela empresa distribuidora. Os indicadores coletivos 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). Os indicadores individuais, por sua vez, são úteis para o órgão regulador avaliar o atendimento das concessionárias em relação aos consumidores. Estes são conhecidos como Duração da Interrupção Individual por Unidade Consumidora (DIC), Frequência de Interrupção Individual por Unidade Consumidora (FIC) e Duração máxima de interrupção contínua (DMIC).

Caso as empresas responsáveis pela distribuição de energia elétrica não cumpram as metas impostas pela ANEEL com relação aos indicadores, há penalidades financeiras relativamente severas que podem onerar o orçamento anual dessas empresas.

Nesse contexto, o objetivo do presente estudo é a definição de uma metodologia capaz de identificar possíveis ajustes na reconfiguração dos conjuntos de consumidores de modo a reduzir os valores dos indicadores coletivos DEC e FEC, contribuindo na busca pela redução de penalidades relativas às multas por não cumprimento de metas impostas pela ANEEL.

2. RECONFIGURAÇÃO DE CONJUNTOS

A proposta metodológica que será apresentada neste estudo se baseia no módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição (PRODIST, 2021) 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 às ocorrências emergenciais, definindo padrões e responsabilidades. O documento relaciona a qualidade do fornecimento de energia elétrica a três principais aspectos: (i) qualidade do atendimento, referente ao atendimento comercial da concessionária aos seus clientes, levando em conta os tempos de resposta as solicitações dos clientes; (ii) qualidade do produto, que trata da conformidade do produto; e o aspecto da (iii) qualidade do serviço, referente à continuidade do fornecimento de energia elétrica que é mensurada pela duração e frequência com que ocorrem as interrupções no fornecimento de energia elétrica.

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.

Os cálculos dos indicadores coletivos são apresentados na seção 5 do PRODIST (2021). Para estes são utilizados os indicadores individuais, constantes nos relatórios de interrupção por período a serem extraídos da base de dados da concessionária. Os cálculos que apuram estes indicadores, conforme o PRODIST (2021) são realizados de acordo com (1) e (2):

- (i) DEC - Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

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

- (ii) FEC - Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{C_c} FIC(i)}{C_c} \quad (2)$$

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.

De maneira geral, 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. Caso seja realizada a união de duas ou mais subestações, como no caso da 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 *machine learning* 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 pouco explorada, o problema de reagrupamento de conjuntos, e 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.

3. METODOLOGIA PROPOSTA

Com vistas a identificar possíveis ajustes na configuração dos conjuntos de consumidores de modo a reduzir o valor de compensações (multas) pagas pela concessionária pelo não atendimento aos limites estipulados para os indicadores de desempenho coletivo dos conjuntos, a metodologia parte do diagnóstico histórico dos indicadores individuais 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 DEC, bem como os que apresentam maior FEC, acarretando em maiores valores de multa pagos pela concessionária.

De modo a buscar a redução destas compensações pagas e menores valores para seus indicadores coletivos, a metodologia contempla ajustes nos conjuntos seguindo restrições e análises de critérios impostos pela ANEEL. Por meio da visualização geográfica da abrangência dos conjuntos, o principal critério a ser analisado se refere à contiguidade entre áreas das subestações. Para este critério, será utilizada uma matriz capaz 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.

Para melhor entendimento da metodologia que segue é importante salientar 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 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, no período de 2017 a 2020. A Figura 1 apresenta as etapas da metodologia proposta na forma de um fluxograma.

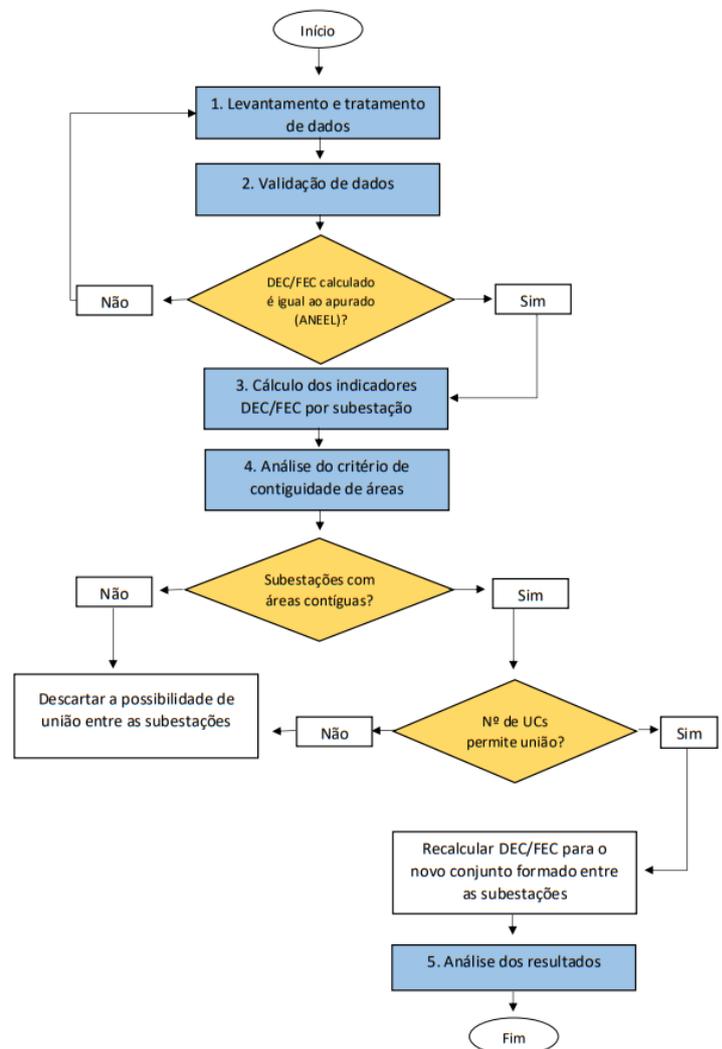


Fig. 1: Etapas da metodologia proposta

A etapa 1 é o levantamento dos dados de ocorrências de interrupção de energia elétrica. Como dados levantados se compreendem os indicadores individuais (DIC e FIC) gerados para cada Unidade Consumidora (UC), bem como a indicação do conjunto atual e subestação aos quais cada UC estava ligada no período analisado e os totais de UCs por conjunto atual e por subestação. 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 busca validar os dados apurados por meio da comparação entre: indicadores coletivos (DEC e FEC) para os conjuntos atuais, apresentados no site da ANEEL (2021), e os indicadores coletivos para os conjuntos atuais calculados a partir dos indicadores individuais (DIC e FIC). Para este cálculo, foi desenvolvido um algoritmo com o auxílio do

software MATLAB®, capaz de realizar a leitura dos dados e calcular os indicadores de acordo com (1) e (2). 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 na 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 novo algoritmo foi desenvolvido com o auxílio do *software* MATLAB® para a leitura dos dados e cálculo dos indicadores. 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 (2021). 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 (2021) 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.

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, seguindo as restrições propostas na etapa de análise dos critérios de contiguidade e número de UCs por conjunto. Para aplicação da metodologia desenvolvida, será realizado um estudo de caso.

4. ESTUDO DE CASO

Para a validação da metodologia proposta na Figura 1, é realizado um estudo de caso para os conjuntos da cidade de Pelotas, os quais fazem parte da concessionária CEEE-D

Grupo Equatorial. A razão pela escolha 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 a ser desenvolvido.

A CEEE-D Grupo Equatorial (2021), 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 km², 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.

Atualmente, a empresa conta com um total de 61 conjuntos de unidades consumidoras, representados por 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. A representação geográfica dos conjuntos de Pelotas foi extraída da Base de Dados Geográficos da Distribuidora (BDGD) e pode ser vista na Figura 2.

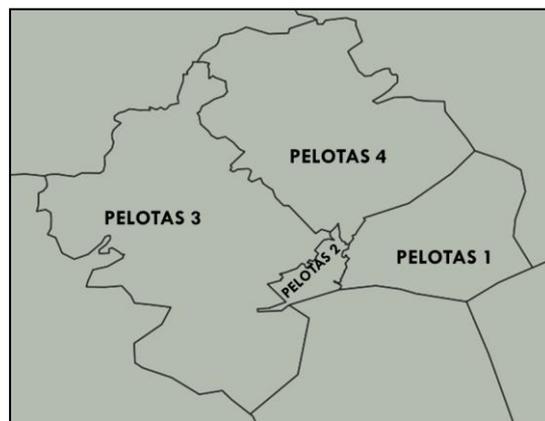


Fig. 2: Conjuntos da cidade de Pelotas

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 3.

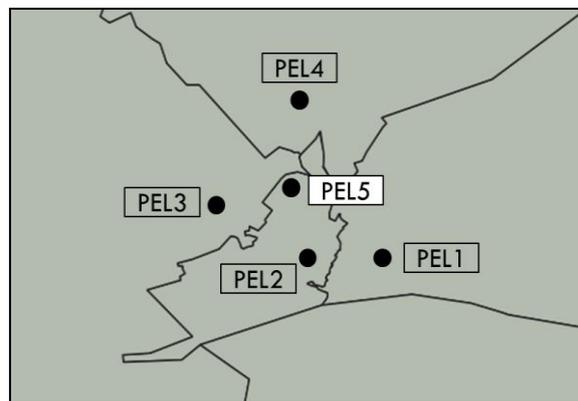


Fig. 3: Subestações da cidade de Pelotas

O desenvolvimento desse estudo de caso apresenta-se na sequência de acordo com as etapas apresentadas na metodologia proposta, Figura 1, com o objetivo de apresentar e discutir os resultados obtidos com sua aplicação.

4.1 Levantamento e tratamento de dados

Os dados levantados para este estudo referem-se às ocorrências dos anos de 2017, 2018, 2019 e 2020. Tratam-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. No que se refere aos totais de UCs por conjunto atual, foram utilizados os valores que constam no site da ANEEL para cada período em questão e para os dados que representam o total de UCs por subestação foi utilizado o número total de registros de ocorrências para cada subestação nos períodos analisados. Para uma melhor aderência ao software utilizado na etapa de cálculo, estes dados foram tratados, eliminando possíveis inconsistências existentes em suas informações.

4.2 Validação de dados

A etapa de 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 no site da ANEEL para os períodos considerados. Para o cálculo dos indicadores coletivos DEC e FEC por conjunto atual, foi considerado o algoritmo desenvolvido em *software* MATLAB®, o qual realiza um somatório dos dados dos indicadores individuais DIC e FIC e divide estes resultados pelo total de UC por conjunto atual, tomando como base, neste estudo os dados constantes no site da ANEEL, obtendo assim os valores de DEC e FEC por conjunto próximos ou iguais aos valores apurados.

4.3 Cálculo dos Indicadores Coletivos por Subestação

Para o cálculo dos indicadores coletivos por subestação utilizou-se um novo algoritmo desenvolvido em *software* MATLAB®, que realiza o cálculo dos indicadores coletivos DEC e FEC separando os dados por subestação.

O cálculo dos indicadores coletivos por subestação leva em consideração os dados de UCs filtrados por subestação. Para a realização do cálculo, utilizou-se do somatório do DIC e FIC por subestação, e seu valor total foi dividido pelo total de registros por subestação, resultante das ocorrências registradas para cada período, onde houve interrupção no fornecimento de energia elétrica. Os resultados podem ser observados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados de DEC e FEC 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

2018	PEL4	13001	41,41	16,17
	PEL5	12744	8,93	8,92
	PEL1	52246	11,02	10,19
	PEL2	55822	8,71	7,21
	PEL3	21783	29,57	22,30
2019	PEL4	12265	35,22	17,67
	PEL5	17064	18,13	14,94
	PEL1	53546	12,96	10,49
	PEL2	57497	9,23	8,00
	PEL3	23995	37,53	21,12
2020	PEL4	7574	57,74	20,24
	PEL5	21295	16,34	13,30
	PEL1	53422	15,22	12,55
	PEL2	59032	11,15	9,24
	PEL3	22168	36,79	19,42
2020	PEL4	8261	78,50	26,07
	PEL5	23217	16,02	11,64

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.

4.4 Análise de critérios

Na etapa de análise de critérios apresentados pelo PRODIST (2021) foram propostas duas matrizes de restrições que definem as possibilidades de união entre as subestações na formação de novos conjuntos.

4.4.1 Análise de critérios de contiguidade

A matriz de contiguidade de áreas, apresentada na Figura 3, 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.

MATRIZ DE CONTIGUIDADE					
	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

Fig. 3: Matriz de contiguidade de áreas

De acordo com a matriz de contiguidade de áreas, para Pelotas, são apresentadas oito possibilidades de união, representadas pelo valor 1. Essas possibilidades formam oito cenários possíveis, descritos como: cenário A, cenário B, cenário C, cenário D, cenário E, cenário F, cenário G e cenário H. A Tabela 2 apresenta as subestações contidas em cada cenário proposto.

Tabela 2. 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

Cada cenário proposto realiza a união de duas subestações formando um único conjunto. Para que os resultados possam ser comparados com o cenário atual da concessionária, que apresenta 4 conjuntos formados a partir das 5 subestações na cidade de Pelotas, optou-se pela realização dos 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. Estes cenários ainda passam por uma análise do critério do número de UCs por conjunto, filtrando as possibilidades de união entre subestações.

4.4.2 Análise do critério de número de UCs por conjunto

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, devido ao número elevado de registros encontrado. Portanto, para que o estudo tenha continuidade e a proposta de análise ainda assim possa ser validada, optou-se por não considerar, neste estudo de caso, a matriz do número de UCs, considerando válida a união dos oito possíveis cenários já apresentados na Tabela 2.

4.5 Análise dos resultados

Para identificar quais seriam as possibilidades de união mais interessantes, 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 cálculo destes valores deu-se por meio de uma média aritmética entre os valores de DEC e FEC apresentados para cada subestação. Para cada ano, buscou-se uma redução nestes valores médios. Para isto, foi considerada a soma dos valores de DEC e FEC por conjunto em suas novas propostas de configuração. Um comparativo dos valores médios para DEC e FEC entre apurado e uma nova proposta pode ser visualizado na Tabela 3.

Tabela 3. 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

O cálculo dos valores de DEC Médio e FEC Médio é realizado pela soma entre os valores de DEC/FEC do novo conjunto com as demais subestações, dividindo-se o valor entre o total de 4 conjuntos. Para todos os anos do estudo, observa-se que o cenário F, Tabela 2, apresenta a maior redução desta média por meio da união das subestações PEL3 e PEL4 em um único novo conjunto, apresentando assim melhor desempenho para este conjunto, o que pode impactar nos valores despendidos em compensações por altos valores nos indicadores coletivos.

Outra perspectiva 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. Nesta análise complementar é possível analisar cada cenário buscando reduzir o maior valor de DEC e/ou FEC de um ano específico. Uma representação gráfica para o ano de 2020 pode ser observada na Figura 4 e para simplificar a visualização dos dados são apresentadas as variações de DEC apenas para os cenários B e F, os quais consideram a subestação PEL4 que tem os maiores valores dentre os dados observados. O gráfico apresenta as subestações com seus novos valores de forma separada para uma melhor comparação com seus valores anteriores.

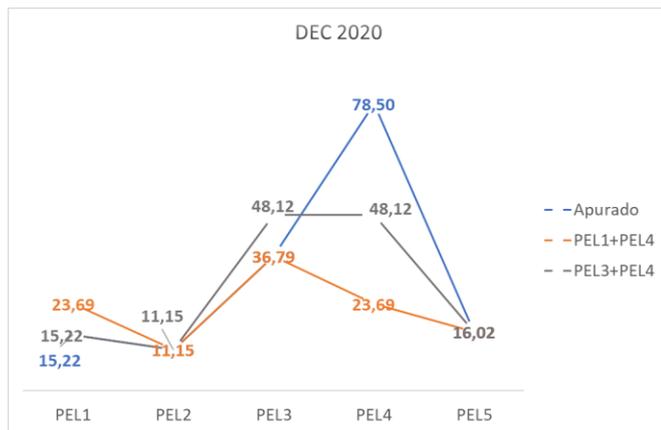


Fig. 4: DEC 2020 – Subestações de Pelotas

Os valores de DEC apurados são representados em azul e os valores de DEC para as novas possibilidades de união são representadas em laranja (Cenário B) e cinza (Cenário F). A análise gráfica mostra que:

Para o cenário B, os gráficos demonstram que a união entre as subestações PEL1 e PEL4 apresenta o melhor resultado para PEL4 reduzindo seu valor de 78,50 para 23,69. A subestação PEL1 dentro deste cenário tem um pequeno aumento em seu valor, passando de 15,22 para 23,69.

Para o cenário F, os gráficos apontam que a união entre as subestações PEL3 e PEL4 também beneficia a subestação PEL4 reduzindo seu DEC de 78,50 para 48,12, aumentando o valor de DEC de PEL3 de 36,79 para 48,12.

Nesta perspectiva de apenas reduzir o maior valor de DEC dentre as subestações, observa-se que a subestação PEL4 é mais beneficiada por meio do cenário B. Mesmo que este cenário apresente melhor benefício para PEL4, a aplicação do cenário F ainda é uma ótima alternativa, pois de acordo com a análise proposta neste estudo, buscando a redução do DEC Médio, este cenário apresenta um ótimo resultado que se repete ao longo dos 4 anos comparados.

5. CONCLUSÃO

A metodologia apresentada neste artigo vai ao encontro com a importância que deve ser dada ao assunto da qualidade no fornecimento de energia elétrica pelas empresas concessionárias. É necessário desenvolver metodologias que permitam as empresas se manterem competitivas perante ao mercado, elevando a qualidade de seu produto fornecido e buscando a redução de custos e despesas como as compensações e multas pagas por não cumprimento das regras impostas pelo órgão regulador.

Para o estudo de caso proposto, 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 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 do estudo.

A metodologia proposta 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. 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, possibilitando ainda, flexibilizar a quantidade desejada de conjuntos a se obter ao final de cada estudo.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa P&D regulado pela ANEEL executado pela Companhia Estadual de Distribuição de Energia Elétrica (CEEE-D) via chamada nº 01/2018 e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- ABRADEE - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE DISTRIBUIDORES DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasília). Setor de distribuição: A distribuição de energia. 2017. Disponível em: <<http://www.abradee.com.br/setor-de-distribuicao/a-distribuicao-de-energia>>. Acesso em: 07 dez 2021.
- 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://ceee.equatorialenergia.com.br/>>. Acesso em: 01 nov 2021.
- 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>
- KWAC, J.; FLORA, J.; RAJAGOPAL, R. (2014). Household energy consumption segmentation using hourly data. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(1), 420–430.

- 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.
- 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.
- PRODIST - Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST. Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Revisão 12. 2021.
- 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.
- 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.
- WU, X. et al., “Top 10 algorithms in data mining,” *Knowl. Inf. Syst.*, vol. 14, no. 1, pp. 1–37, Jan. 2008.