
Análise espacial dos indicadores de continuidade da Celg Distribuição

Marcos Eduardo de Souza Lauro¹

 <https://orcid.org/0000-0002-9660-4196>

Waldemiro Alcântara da Silva Neto²

 <https://orcid.org/0000-0001-8837-7889>

Sandro Eduardo Monsueto³

 <https://orcid.org/0000-0002-2155-012X>

Recebido em: 18/01/2023

Aprovado em: 29/09/2023

Resumo

O presente artigo avalia a distribuição espacial dos indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica em Goiás, no período de 2014 a 2016, por meio da análise de *clusters* e testes de significância espacial global. Além de apresentar uma análise inédita em relação aos indicadores de continuidade apurados pela distribuidora, o artigo traz ainda uma avaliação da extrapolação dos limites de continuidade, e sua relação espacial entre a ultrapassagem dos limites regulatórios dentre os conjuntos elétricos da distribuidora. Os resultados apontam que os indicadores são espacialmente heterogêneos, com correlação espacial significativa em parte das regiões. Observou-se predominância de *clusters* com problemas na Região do Nordeste Goiano (a mais pobre do estado) e padrões aceitáveis na Região Metropolitana de Goiânia e parte da Região Sudeste. Disso decorre a sugestão para que a empresa aplique experiências dos conjuntos elétricos de sucesso àqueles com dificuldade de atingir os limites regulatórios.

Palavras-chave: *clusters*; energia elétrica; estado de Goiás; DEC; FEC

Código JEL: Q01, Q53, Q54

¹Policial Federal. Mestre em Economia Aplicada - Universidade Federal de Goiás -UFG. E-mail: meslauro@gmail.com

² Doutor em Economia Aplicada. Professor no Programa de Pós-graduação em Economia - Ppgecon/UFG - Universidade Federal de Goiás. E-mail: netoalcantara@ufg.br

³Doutor em Economia Aplicada. Professor no Programa de Pós-graduação em Economia - Ppgecon/UFG - Universidade Federal de Goiás. E-mail: monsueto@ufg.br

Spatial analysis of Celg Distribution continuity indicators

Abstract

This article evaluates the spatial distribution of electricity supply continuity indicators in Goiás, from 2014 to 2016, through cluster analysis and global spatial significance tests. In addition to presenting an unprecedented analysis in relation to the continuity indicators determined by the distributor, the article also presents an assessment of the extrapolation of the continuity limits, and its spatial relationship between the exceeding of the regulatory limits among the electrical sets of the distributor. The results indicate that the indicators are spatially heterogeneous, with significant spatial correlation in part of the regions. There was a predominance of clusters with problems in the Region of Northeast of Goiás (the poorest in the state) and acceptable patterns in the Metropolitan Region of Goiânia and part of the Southeast Region. From this arises the suggestion for the company to apply experiences from successful electrical sets to those with difficulty in reaching regulatory limits.

Keywords: clusters; electricity; Goiás state; DEC; FEC

JEL CODE: Q01, Q53, Q54

Introdução

O Estado de Goiás possui 340 mil Km² de área, sendo o sétimo maior e a nona maior economia do Brasil. Sua área equivale à da Alemanha ou Itália, ou mais de três vezes o território de Portugal, enquanto o PIB goiano é maior que o de muitos países. Operacionalizar qualquer que seja o serviço em uma área extensa como essa exige esforço e planejamento em larga escala, visto que além do tamanho, não se trata de um território homogêneo, seja em clima ou questões socioeconômicas e geográficas. Em todo esse território, duas empresas operam a distribuição de energia, sendo elas a Celg Distribuição (Celg D)⁴ e a Companhia Elétrica do Vale do São Patrício (CHESP). A primeira tem a maior concessão de área do Estado, equivalente a 237 municípios, de um total de 241 ou a mais de 95% do território goiano. Além disso, a Celg D é a maior empresa em riqueza gerada por empregado e a sexta maior da Região Centro-Oeste em receita (ANEEL, 2017).

Contudo, a história recente evidencia que há um problema com a qualidade da energia elétrica para a Celg D, uma vez que há alguns anos, a maior distribuidora goiana é a pior em relação à duração e frequência de interrupções do serviço (Duração Equivalente de Interrupção - DEC ou o de Frequência Equivalente de Interrupção - FEC) em sua área de concessão, quando comparado aos limites impostos pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Isso acarreta não só prejuízo financeiro (gerado pelas compensações pagas aos consumidores), mas também o bem-estar da população goiana é prejudicada nesse processo. Do ponto de vista da empresa a punição mais grave é a perda de concessão, ou seja, não estando dentro

⁴ A Celg-D foi adquirida por um grupo Italiano em 2015 e passou a chamar-se Enel-GO. Em 2023, a empresa Equatorial adquiriu a distribuidora.

de critérios estabelecidos pelo órgão regulador, ela pode perder a concessão da distribuição de energia no Estado de Goiás (ANEEL, 2017).

Com isso, a questão norteadora deste artigo é: existe algum padrão espacial das interrupções de energia elétrica na área de concessão da Celg D? A hipótese adotada é que esta relação existe em parte da área de concessão, dada a grande extensão do Estado de Goiás e de sua heterogeneidade. Destarte, o objetivo geral é avaliar a presença de padrões espaciais das interrupções de fornecimento de energia elétrica entre os conjuntos da empresa. Especificamente, verificar a distribuição espacial das frequências e durações médias das interrupções de energia elétrica ao longo da área de concessão.

A contribuição deste artigo está principalmente na metodologia aplicada aos dados uma vez que não se tem conhecimento na análise espacial para a avaliação dos indicadores de continuidade para Goiás. Com isso foi possível identificar padrões não tão claramente observados ao se utilizar metodologias não espaciais. O artigo traz ainda uma avaliação da extrapolação dos limites de continuidade, ao avaliar a relação espacial entre a ultrapassagem dos limites regulatórios dentre os conjuntos elétricos da distribuidora.

A motivação deste trabalho consiste em evidenciar geograficamente onde o problema da qualidade é mais evidente e ainda se existem regiões que apresentam algum tipo de padrão quanto aos indicadores de continuidade, seja o de Duração Equivalente de Interrupção (DEC) ou o de Frequência Equivalente de Interrupção (FEC) (ANEEL, 2017).

Uma vez identificada a literatura sobre o tema ao longo desta introdução, a estrutura adotada neste artigo conta com uma seção de metodologia e uma seção de resultados, sendo que ao final estão as considerações finais. A seção de metodologia apresenta os efeitos espaciais, as unidades e as variáveis de análise, além do que mostra os testes que são utilizados na pesquisa. A seção de resultados está dividida em três partes. Na primeira parte, constam a análise da distribuição espacial dos indicadores de continuidade e de sua extrapolação dos limites regulatórios; na segunda parte constam a avaliação da correlação espacial global, por meio dos testes de I de Moran enquanto na terceira parte consta a análise de correlação espacial local por meio dos mapas de *clusters* LISA (*Local Indicator of Spatial Association*).

Revisão da Literatura

Em relação aos estudos que avaliaram a distribuição espacial dos indicadores de continuidade, predominaram-se aqueles que se utilizam de estatística descritiva, como Silva *et al.* (2001) e Challerton (2004) e análise qualitativa, como ocorreu em Herman *et al.* (2015). Contudo, a avaliação mais completa dos indicadores de continuidade pressupõe uma análise espacial, visto que há uma ligação física entre a rede de distribuição de um conjunto e outro e ainda pela pulsante necessidade de agrupamentos da área de concessão em unidades maiores, uma vez da área de concessão extensa.

A análise espacial é uma metodologia utilizada em várias áreas. Nas ciências naturais, Lamers *et al.* (2015) aplicaram a análise espacial para avaliar depósitos de processamento de biomassa enquanto Almeida *et al.* (2016) aplicaram-na em avaliação da área da Amazônia legal. Esta metodologia está sendo utilizada também em trabalhos que envolveram as mais diversas áreas da economia. Bailey, Holly e

Pesaran (2016) utilizaram esta metodologia para avaliação de preços de residências enquanto Cavalcante, Almeida e Baker (2017) estudaram a centralização de serviços financeiros nas metrópoles. Adicionalmente, Keeble e Wilkinson (2017) identificaram *clusters* de alta-tecnologia e as redes coletivas de aprendizado na Europa e Oinas (2017) avaliaram a forma como a proximidade e as relações externas impactam o desenvolvimento econômico local. A estatística espacial também tem sido utilizada na economia do trabalho, como, por exemplo, Pelizza (2017) que avaliou o potencial mercado de salário no Rio Grande do Sul.

Com a avaliação espacial dos indicadores de DEC e FEC é possível elucidar as regiões que apresentam os piores indicadores e ainda se é possível agrupar as ações entre conjuntos elétricos de forma que as decisões possam ser tomadas de forma mais simples e menos atomizada, uma vez que a distribuidora possui 148 conjuntos elétricos. Este estudo tem caráter exploratório, visto que o tema da qualidade de energia elétrica é emergente dentre as análises científicas.

Por fim, cabe ressaltar que os recursos para saneamento deste problema com as interrupções existem e estão previstos em mecanismos regulatórios da ANEEL. Contudo, cabe à distribuidora a alocação destes recursos de modo a atender as suas necessidades, sejam de investimentos (CAPEX) ou manutenção (OPEX).

Ribeiro *et al.* (2022) analisaram a persistência aos choques exógenos dos indicadores de continuidade do fornecimento de energia elétrica da Celg D. Os autores, por meio de técnicas de *long-range dependence*, concluem que há heterogeneidade nos resultados entre os diferentes conjuntos elétricos e que há necessidade de diferentes abordagens para que os resultados sejam revertidos e a energia ofertada melhore de qualidade.

Acerca da qualidade da energia, mesmo o aprofundamento do tema não sendo objetivo do presente artigo, cabe destacar que segundo Malaman *et al.* (2001), a qualidade na oferta é estabelecida pela quantidade de vezes que a energia é interrompida e a regulação tem por objetivo compensar os clientes caso o limite determinado (no Brasil estabelecido pela ANEEL: em Goiás em 2017, 15 horas de duração e uma frequência de 13 interrupções) seja transgredido. Sendo assim, no caso do Brasil, o benchmark da qualidade no fornecimento de energia é definido pela ANEEL. Malaman *et al.* (2001) chama atenção que, dentre as atribuições do regulador, está a de garantir o mínimo de qualidade no fornecimento de energia. Segundo Küfeoğlu e Lehtonen (2015), as autoridades, os órgãos públicos e certamente os clientes/consumidores estão pedindo uma energia de melhor qualidade, especialmente, no que diz respeito à continuidade no fornecimento.

Trabalhos conduzidos por Pombo, Murta-Pina e Pires (2015), Barbosa e Carvalho (2017) López *et al.* (2017) e Hammarstron *et al.* (2016), apontam para o natural envelhecimento da rede, o que eleva o número de interrupções de energia, exigindo um constante programa de manutenção e investimento. Salientam que equipamentos religadores, medidores inteligentes e ainda, desenvolvimento de algoritmos para a alocação ótima desses equipamentos, melhora significativamente os indicadores de confiabilidade (DEC e FEC).

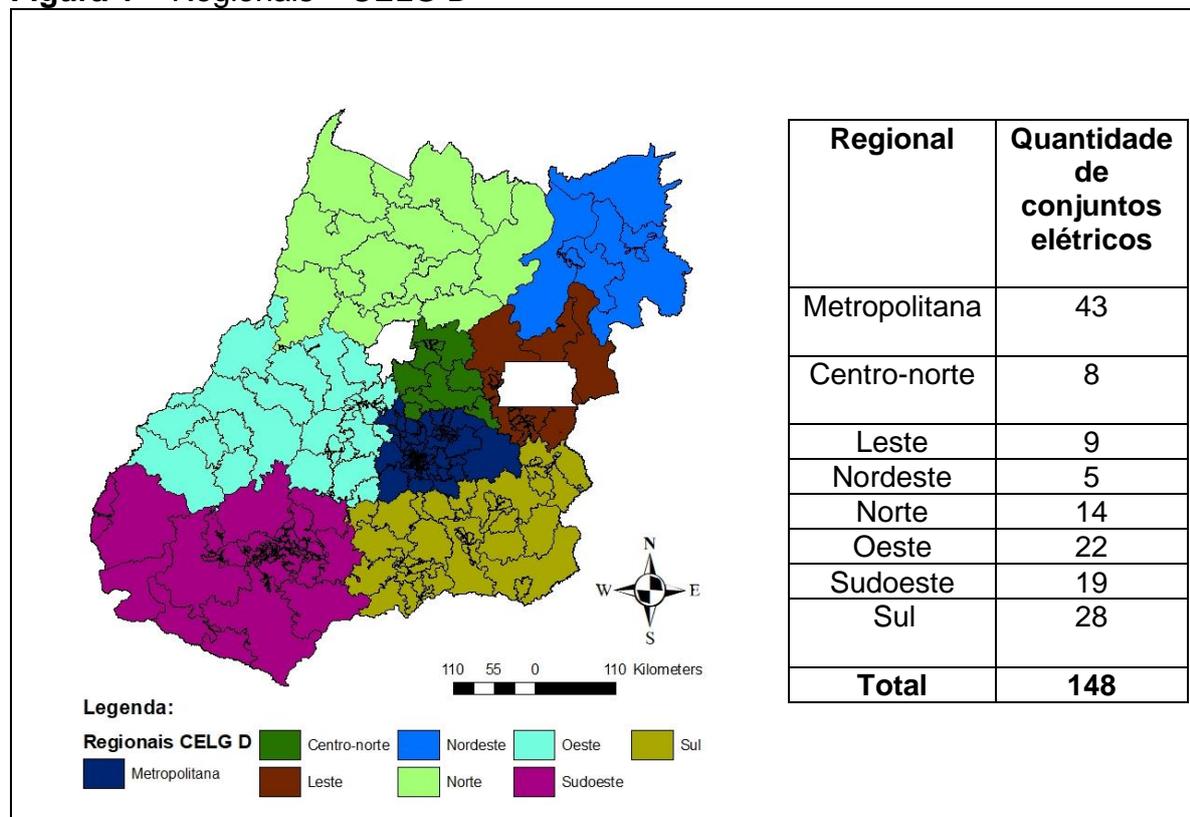
Metodologia

A base de dados

No Brasil, o órgão regulador mensura a qualidade da distribuição pela frequência e duração das interrupções, permitindo certo limite destes indicadores, de acordo com a especificidade de cada conjunto elétrico. Os conjuntos elétricos são áreas geográficas contínuas definidas a cada ciclo tarifário pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a fim de estabelecer critérios de qualidade do serviço prestado pela distribuidora, especialmente no que tange aos indicadores de continuidade do serviço, estando restritos à área de concessão de cada distribuidora, mas não aos limites municipais, podendo conter no máximo 100.000 (cem mil) unidades consumidoras, e contendo subestações de energia que alimentem somente unidades consumidoras de um único conjunto elétrico (ANEEL, 2018).

Seguindo estas definições, a Agência Nacional de Energia Elétrica estabelece 148 conjuntos elétricos para a Celg D dentro do período coberto pelo presente estudo, como exibido na Figura 1. Nota-se que o tamanho destes conjuntos elétricos é menor na região metropolitana, o que é pela restrição do número máximo de unidades consumidoras. Além disso, para sua operacionalização e planejamento interno, a própria distribuidora divide sua área de concessão em regionais.

Figura 1 – Regionais – CELG D



Fonte: ANEEL (2018).

Para a unidade de análise dessa seção, definida anteriormente como sendo os conjuntos elétricos, analisa-se os indicadores anuais de Duração Equivalente de Interrupção (DEC) e Frequência Equivalente de Interrupção (FEC) da Celg Distribuição (Celg D) dos anos de 2014 a 2016. Os indicadores de continuidade são apurados pela distribuidora e posteriormente encaminhados e validados pela agência reguladora. A apuração do DEC e FEC é feita de acordo com as expressões 1 e 2:

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

$$FEC = \frac{\sum_{i=1}^{Cc} n(i)}{Cc} \quad (2)$$

Em que:

- i: índice de unidades consumidoras atendidas em baixa tensão ou média tensão faturadas do conjunto;
- n(i): número de interrupções da unidade consumidora considerada, no período de apuração;
- t(i): tempo de duração da interrupção (i) da unidade consumidora considerada ou ponto de conexão, no período de apuração;
- Cc: número total de unidades consumidoras faturadas do conjunto no período de apuração, atendidas em Baixa Tensão (BT) ou Média Tensão (MT).

Adicionalmente, considerando as especificidades locais reconhecidas pelo regulador, a mesma análise é replicada para as diferenças entre os indicadores observados e os limites regulatórios para estes indicadores. Neste contexto o ΔDEC é a diferença entre o limite regulatório do indicador para o conjunto elétrico no período e o valor realizado deste indicador, o que vale também para o ΔFEC . Desta forma, quanto maior este indicador, mais crítica é a situação do fornecimento de energia para o conjunto elétrico a que se refere. Estes indicadores são identificados estão expressos a seguir:

$$\Delta DEC_{it} = DEC_{it} - DECLIM_{it} \quad (3)$$

$$\Delta FEC_{it} = FEC_{it} - FECLIM_{it} \quad (4)$$

Quando $\Delta DEC_{it}, \Delta FEC_{it} > 0$ representa se o limite regulatório do DEC e FEC, respectivamente, para o conjunto i, no ano t, foi ultrapassado, evidenciando uma qualidade do serviço aquém do determinado pela ANEEL. Ao contrário, $\Delta DEC_{it}, \Delta FEC_{it} < 0$ mostra que não houve extrapolação daquele indicador, para o conjunto i, no ano t, não foi ultrapassado, o que elucida a qualidade do serviço acima do determinado pela ANEEL. Estas variáveis comparativas se fazem importante, pois o problema para a distribuidora não está no fato de seus conjuntos apresentarem valores expressivos de DEC e FEC, mas sim no fato de estarem acima de seus limites regulatórios, considerando que é sobre esse delta que se aplicam as compensações financeiras pagas aos consumidores (ANEEL, 2018).

Os efeitos espaciais

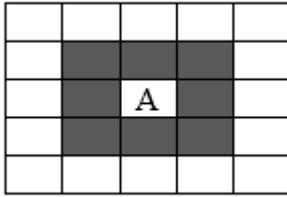
A existência da subdivisão da área de concessão em conjuntos elétricos e a regionalização, por parte da distribuidora, permite que sejam analisados efeitos espaciais, quais sejam a dependência e a heterogeneidade espacial. A dependência espacial decorre da interação entre indivíduos através do espaço. A dependência espacial decorre da Lei de Tobler, conhecida como a Primeira Lei da Geografia, que enuncia que tudo depende de todo o resto, porém o que está mais próximo depende mais do que aquilo que está mais distante. Por sua vez, a heterogeneidade espacial decorre do fato de que pode não haver estabilidade estrutural nas relações comportamentais dos fenômenos que ocorrem entre conjuntos, quer seja com relação aos coeficientes ou com relação ao erro aleatório (Almeida, 2012; Goodchild, 2004).

Desta forma, esta metodologia está dividida em duas partes. A primeira parte apresenta a base de dados utilizada e a segunda parte mostra os efeitos espaciais a serem avaliados no trabalho. Neste sentido, a Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) é útil para descrever distribuições espaciais, revelando padrões de associações (*clusters* espaciais), regimes espaciais ou outras formas de instabilidade (não-estacionariedade), além de se poder observar a presença de outliers (Almeida, 2012; Tobler, 1970).

Com a AEDE, busca-se responder às seguintes questões relativas aos indicadores de DEC e FEC. A primeira questiona se há correlação espacial entre o indicador de um do conjunto e o valor do mesmo indicador de seus vizinhos. A segunda questão refere-se à identificação dos conjuntos nos quais esta relação é significativa. Para cada uma das perguntas anteriormente feitas, é aplicada uma ferramenta da econometria espacial, respectivamente, a autocorrelação global univariada por meio da estatística I de Moran Global; Autocorrelação local univariada, por meio dos mapas de *clusters* LISA (*Local Indicador of Spatial Association*). Contudo, apesar de que seja comum a presença dos efeitos espaciais neste tipo de dados, é possível que eles não sejam significantes, do que resulta a necessidade de avaliação e teste da presença dos mesmos previamente à estimação dos modelos (Almeida, 2012).

De acordo Almeida (2012) a matriz de ponderação W consiste em uma matriz $n \times n$ na qual constam o grau de relação entre as unidades de análise, ou seja, entre os conjuntos elétricos. Esta relação pode ser definida de acordo com os objetivos de pesquisa e disponibilidade de dados. Para o presente estudo, é estipulada uma relação de vizinhança geográfica entre os 148 conjuntos da Celg D. Para fins de estimações, a matriz de continuidade geográfica considerada é do tipo rainha. Neste caso de matriz, a convenção é que todas as unidades com fronteiras diferentes de zero são consideradas vizinhas, enquanto as demais não. Assim, para o conjunto vizinho, assume-se o valor 1 e para os demais, 0. Esta matriz de ponderação está apresentada na Figura 2 (Almeida, 2012).

Figura 2 – Convenção “rainha” de contiguidade



Fonte: Almeida (2012).

Definida a matriz de vizinhança a ser utilizada, o estudo da autocorrelação global univariada permite verificar se há correlação espacial entre a variável X do conjunto e seu valor nas unidades vizinhas. Para o que se desenvolve neste trabalho, considera-se como variáveis de análise o DEC e FEC anuais, bem como seus respectivos indicadores relativos ao limite regulatório, ΔDEC e ΔFEC . Como medida de dependência espacial, utiliza-se a estatística I de Moran (1948):

$$I = \frac{n}{S_o} \frac{\sum_i \sum_j w_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2} \quad (5)$$

Onde:

- n são o número de conjuntos elétricos;
- z representa os valores da variável de interesse padronizada;
- Wz são os valores médios da variável de interesse padronizada nos vizinhos, definidos segundo uma matriz de ponderação espacial W ;
- S_o é igual à soma de todos os elementos da matriz de pesos espaciais, w_{ij} , ou seja, $\sum \sum w_{ij}$.

As hipóteses a serem testadas com a estatística I de Moran e suas variações são:

$$\begin{cases} H_0: \text{Aleatoriedade espacial} \\ H_1: \text{Dependência espacial} \end{cases}$$

Na interpretação dos resultados, há ainda a possibilidade de que, com a rejeição da hipótese nula, se tenha autocorrelação espacial positiva (similaridade) ou autocorrelação espacial negativa (dissimilaridade), o que pode ser observado pelo sinal da estatística obtida. Uma vez identificada autocorrelação global, verifica-se a existência da autocorrelação local. A autocorrelação local univariada permite verificar quais são os agrupamentos significativos de autocorrelação espacial, denominados *clusters*. Estes são fornecidos pelos I de Moran Local que tem a capacidade de capturar padrões locais de autocorrelação espacial, estatisticamente significativos para cada observação. Esta capacidade pode ser definida pela expressão 6 (Almeida, 2012; Gonçalves, 2007):

$$I_i = z_i \sum_{j=1}^J w_{ij} z_j \quad (6)$$

Em que z e w são definidos como antes e \sum aponta o índice para cada unidade espacial, ou seja, conjunto elétrico. Haverá um deste para cada observação associado

ao seu respectivo nível de significância. Para resumir estas estatísticas, portanto, representa-se as mesmas graficamente, em um mapa destacando os conjuntos elétricos de acordo com a significância de seu I_i (expressão 6), denominado de mapa de significância LISA. Reproduz-se estes mapas também para as variáveis ΔDEC e ΔFEC . Havendo significância do I de Moram Local, são identificados os *clusters* AA, AB, BA, BB, sendo que a primeira letra se refere ao valor do indicador para o conjunto e a segunda letra refere-se ao valor do indicador para os vizinhos deste conjunto, sendo A para “alto” e B para “baixo”. A existência do *cluster* pressupõe a significância o I de Moram Local, o que implica que a não existência de *clusters* indica que o I de Moram Local não é significativo.

Resultados e Discussões

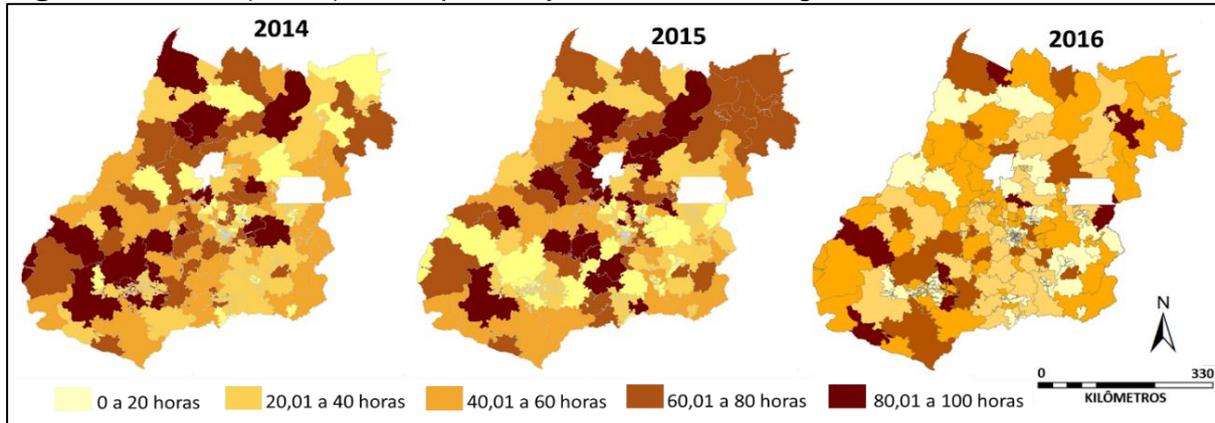
Esta seção apresenta os resultados obtidos com a avaliação da distribuição espacial, da correlação espacial global e da correlação espacial local referente aos indicadores de continuidade de DEC e FEC, bem como de seus respectivos valores de extrapolação dos limites regulatórios, ΔDEC e ΔFEC .

Distribuição espacial dos indicadores de continuidade da Celg D

As Figuras 3 e 4 apresentam a distribuição espacial dos indicadores de continuidade da Celg Distribuição (Celg D) nos anos de 2014, 2015 e 2016, divididos em cinco grupos. Nestes mapas, os grupos com maiores indicadores são aqueles em que a situação da continuidade é mais crítica, sendo conjuntos elétricos que apresentam maior Duração Equivalente de Interrupção (DEC), e maior Frequência Equivalente de Interrupção (FEC). As Figuras 5 e 6 avaliam os indicadores de extrapolação dos limites regulatórios de DEC e FEC, nas quais verifica-se se o valor observado é maior ou menor do que a quantidade e duração limite permitida pela ANEEL, sem pagamento de compensações financeiras.

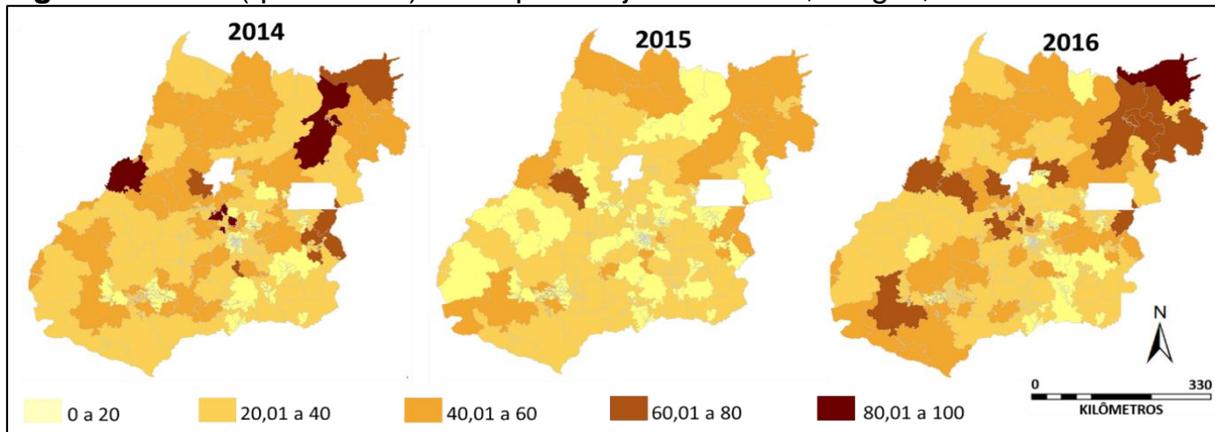
Verifica-se que não há relação entre os conjuntos com maiores DEC e maiores FEC, apesar da relação positiva esperada entre os dois indicadores. Este resultado é esperado, uma vez que o DEC está ligado a gastos com manutenção enquanto o outro indicador é mais fortemente afetado pelos investimentos realizados no sistema de distribuição. Adicionalmente, observa-se também que a distribuição espacial dos indicadores é distinta ao longo dos anos analisados, o que só pode ser observado com a desagregação de dados por conjunto elétrico, visto que a área de concessão da Celg D como um todo manteve relativamente seu DEC e FEC ao longo dos anos, como já apresentado, ainda que se alterou os conjuntos com maiores indicadores e, que em 2016, tenha havido uma melhora global, tanto do DEC quanto do FEC na área de concessão analisada.

Figura 3 – DEC (horas) anual por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

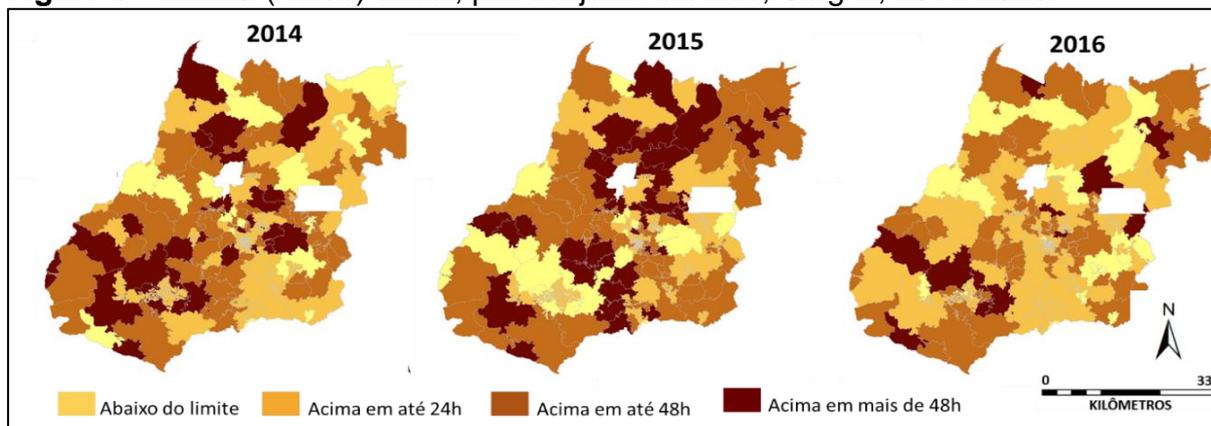
Figura 4 – FEC (quantidade) anual por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

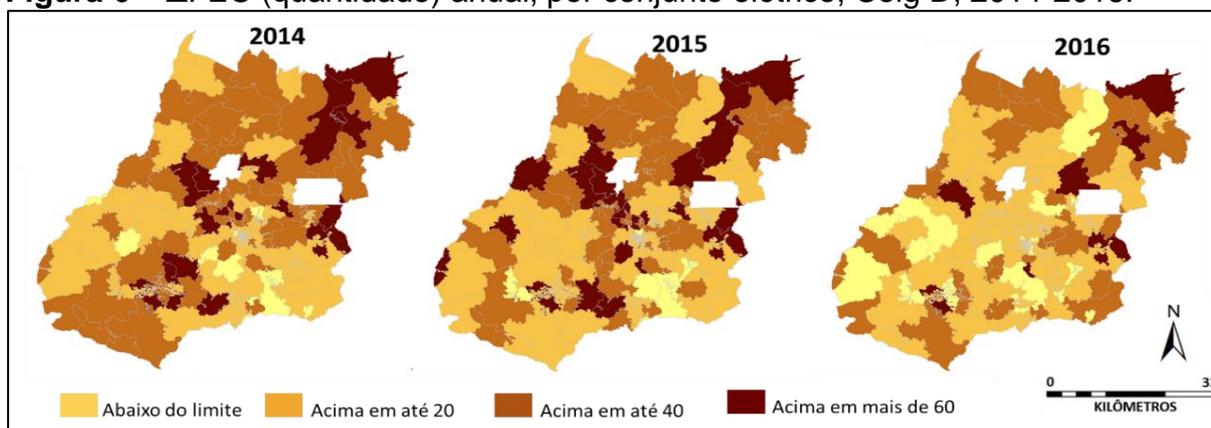
A avaliação dos indicadores ΔDEC e ΔFEC , cujo objetivo é avaliar a extrapolação dos limites regulatórios dos indicadores coletivos de duração e frequência, mostra a concentração do problema dos indicadores nos conjuntos elétricos do nordeste e sudoeste goiano. Possivelmente, no primeiro grupo o problema ocorre pela extensão dos conjuntos elétricos e dificuldade de acesso à rede de distribuição, devido às longas distâncias percorridas para alcançar a região com problema. Na segunda região, o motivo é outro e o mais provável é que seja devido à concentração de consumo de energia em horários específicos do dia devido ao grande número de irrigantes presentes na região (uso de pivô central na irrigação da lavoura). Isso parece evidenciar que o reconhecimento e limites regulatórios distintos para cada região não é suficiente para cobrir o problema da falta de energia (Figuras 5 e 6). A análise de quintil sugere a presença de padrões espaciais e ainda que há diferença entre aqueles conjuntos que apresentam maiores indicadores e aqueles que se mostram com um indicador maior.

Figura 5 – Δ DEC (horas) anual, por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 6 – Δ FEC (quantidade) anual, por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Esta análise de quintis evidencia a heterogeneidade dos conjuntos elétricos que compõem a área de concessão da Celg D, por meio dos níveis do DEC e FEC e de seus respectivos deltas em relação ao limite regulatório. A diferença entre as regiões quanto à duração e frequência denota a importância de análises separando os dois. Assim, a seguir apresenta-se a análise de correlação espacial global e local, para as quatro variáveis apresentadas nas Figuras 3 a 6.

Análise de correlação espacial global dos indicadores de continuidade da Celg D

Esta seção apresenta os resultados decorrentes da Análise Exploratória de Dados Espaciais (AEDE) aplicada sobre os indicadores de DEC e FEC anuais, bem como seus respectivos indicadores normalizados, Δ DEC e Δ FEC, para os anos de 2014 a 2016. Para isso, é avaliada a correlação espacial global, por meio do I de Moran Global, e a correlação espacial local, com os mapas de *clusters* LISA dos conjuntos elétricos.

A correlação espacial global avalia se há relação espacial entre o valor de uma variável ao longo de uma das unidades geográficas. Esta análise, aplicada aos

indicadores de DEC e FEC indica, ao nível de 5% de significância que a correlação espacial global univariada existe em todos os anos, tanto para o DEC, quanto para o FEC, como mostra a Tabela 1. Dessa forma, pode-se afirmar que há regiões onde os indicadores estão correlacionados entre si, seja no que refere à duração ou à frequência destas interrupções. A significância de um I de Moran Global positivo, como observado na Tabela 1, indica similaridade entre as unidades de análise, o que é esperado, uma vez de poder haver transbordamento dos efeitos de um conjunto sobre o outro (Almeida, 2012; Gonçalves, 2007).

Tabela 1 - Teste de correlação espacial global univariado – DEC e FEC

Ano	Variável	I de Moran Global	Estatística z	Pseudo p-valor
2014	DEC	0,178	3,562	0,002
	FEC	0,422	8,654	0,001
2015	DEC	0,219	4,581	0,001
	FEC	0,353	6,946	0,001
2016	DEC	0,175	3,604	0,003
	FEC	0,252	5,124	0,001

Fonte: Elaborada pelos autores.

* Com 999 permutações.

Os resultados de correlação deixam de ser significativos em alguns casos quando são avaliados os indicadores normalizados, apesar de que predominem os resultados cuja presença de correlação espacial é significativa. Observa-se que essa relação é significativa em 2015, mas o fato de que para o indicador de duração normalizado em 2014 e o indicador de frequência normalizado de 2016 não serem significativos, sugere e corrobora com as figuras de quintis, quanto à alteração do cenário dentro da área de concessão ao longo dos anos (Tabela 2). A significância da correlação significa que existe, de forma geral, regiões em que os indicadores têm comportamentos semelhantes.

Apesar de que se observe correlação espacial na maioria das variáveis apresentadas, a correlação é menor para o FEC do que para o DEC e também para o Δ FEC em relação ao Δ DEC, deixando de ser significativas em alguns casos para o Δ FEC. Nesse caso, uma vez que o indicador de frequência está próximo das ações de investimento e o indicador de duração está ligado à manutenção, a possibilidade é de uma maior integração destas atividades em detrimentos daquelas, ou seja, que os investimentos estejam sendo feito de formas mais independentes entre os conjuntos elétricos. Detectada a relação entre os indicadores de um conjunto e seus vizinhos, é possível que haja algum fator impactando a qualidade da energia em uma dada região que extrapola os limites geográficos dos conjuntos, sem que estas estejam sendo consideradas no estabelecimento dos limites regulatórios dos indicadores.

Tabela 2 - Teste de correlação espacial global univariado – Δ DEC e Δ FEC

Ano	Variável	I de Moran Global	Estatística z	Pseudo p-valor
2014	DEC	0,178	3,562	0,002
	FEC	0,422	8,654	0,001
2015	DEC	0,219	4,581	0,001
	FEC	0,353	6,946	0,001
2016	DEC	0,175	3,604	0,003
	FEC	0,252	5,124	0,001

Fonte: Elaborada pelos autores.

* Com 999 permutações.

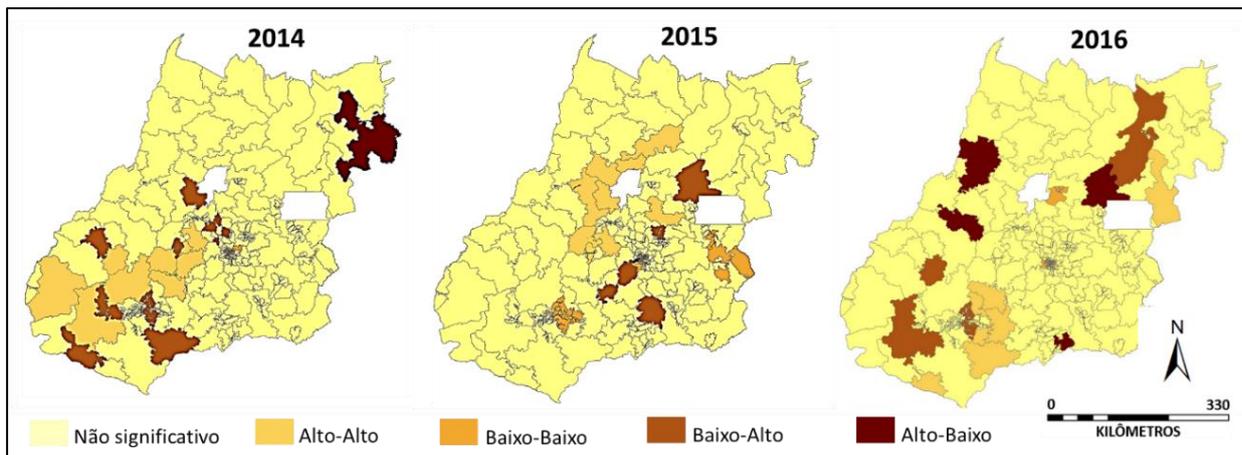
Por fim, a similaridade observada por meio da significância do I de Moran global confirma a hipótese de que há correlação entre os conjuntos e permite seguir com a avaliação das correlações espaciais locais, a fim de indicar entre quais conjuntos existe essa similaridade, possibilitando indicações de quais regiões o problema de continuidade pode ser tratado de forma integrada, diminuindo as unidades de análise da distribuidora e reduzindo assim a complexidade já indicada referente às decisões de manutenção e investimento com foco na qualidade do serviço prestado na área de concessão da Celg D.

Análise de correlação espacial local dos indicadores de continuidade da Celg D

Uma vez identificada a existência de correlação espacial global por meio do I de Moran, a presente subseção tem o objetivo de identificar em quais conjuntos essa relação é localmente significativa. Esta análise se faz relevante, pois a existência de correlação espacial global não garante que esta correlação seja localmente significativa em toda área analisada. De fato, como apresentam as próximas figuras, na maior parte da área de concessão a correlação espacial entre os indicadores de continuidade, DEC e FEC, e suas respectivas normalizadas, não é significativa.

As Figuras de 7 a 10 apresentam os *clusters* dos indicadores de continuidade, DEC e FEC, e de sua extrapolação dos limites regulatórios, Δ DEC e Δ FEC. Os *clusters* significativos estão divididos em quatro grupos. O primeiro grupo é ALTO-ALTO, que representa o grupo onde a variável relaciona-se positivamente com a média dos valores de seus vizinhos, ou seja, são as regiões onde há problema com alto nível de indicadores ou extrapolação do valor regulatórios em maior nível. O segundo grupo, BAIXO-BAIXO, contempla os conjuntos com os menores indicadores e cujos vizinhos também apresentam indicadores baixos ou, no que se refere aos *clusters* de extrapolação, o caso em que os conjuntos ultrapassam pouco, ou não ultrapassam os limites regulatórios e tem conjuntos elétricos vizinhos na mesma situação. Uma vez constatada que a correlação espacial global tem sinal positivo, ou seja, que as variáveis analisadas apresentam similaridade, espera-se que estes dois grupos de *clusters* sejam os mais frequentes (Almeida, 2012).

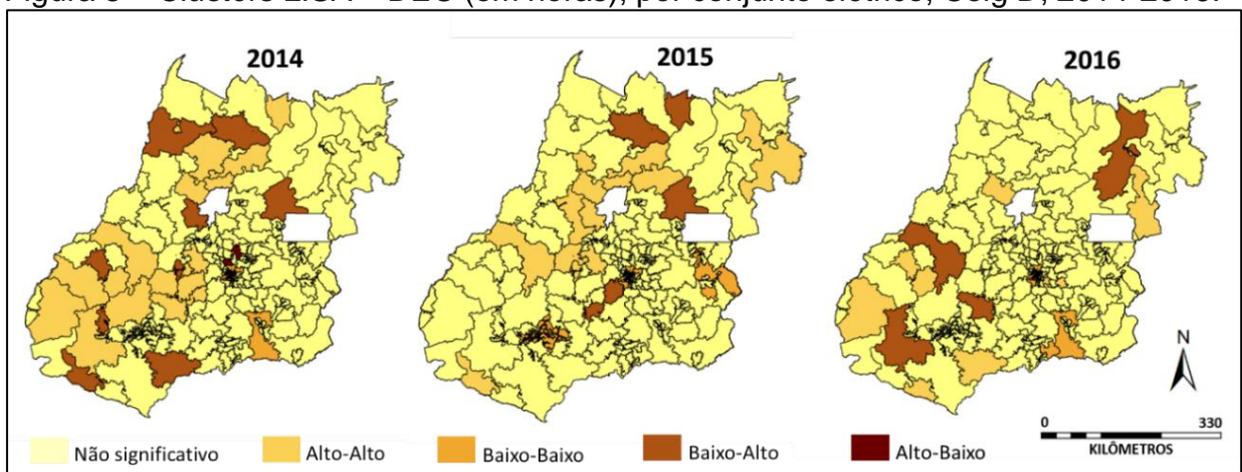
Figura 7 – Clusters LISA – FEC (em frequência), por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Outros dois grupos de *clusters* cuja frequência não é esperada, são os *clusters* ALTO-BAIXO, que indicam patamares maiores de DEC e FEC e a extrapolação dos limites em um conjunto enquanto a situação é de baixos indicadores de continuidade ou extrapolação de limites em seus vizinhos. Complementando, o último grupo de *cluster* são os conjuntos BAIXO-ALTO, que inclui aqueles que não tem problema com a qualidade de energia, apresentando baixos indicadores e/ou baixa ou nenhuma extrapolação de limites, e cujos vizinhos estão com problemas de atender aos limites impostos pela ANEEL. Para estes dois tipos de *clusters*, verifica-se dissimilaridade da situação de uma unidade frente aos seus vizinhos (Almeida, 2012).

Figura 8 – Clusters LISA – DEC (em horas), por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

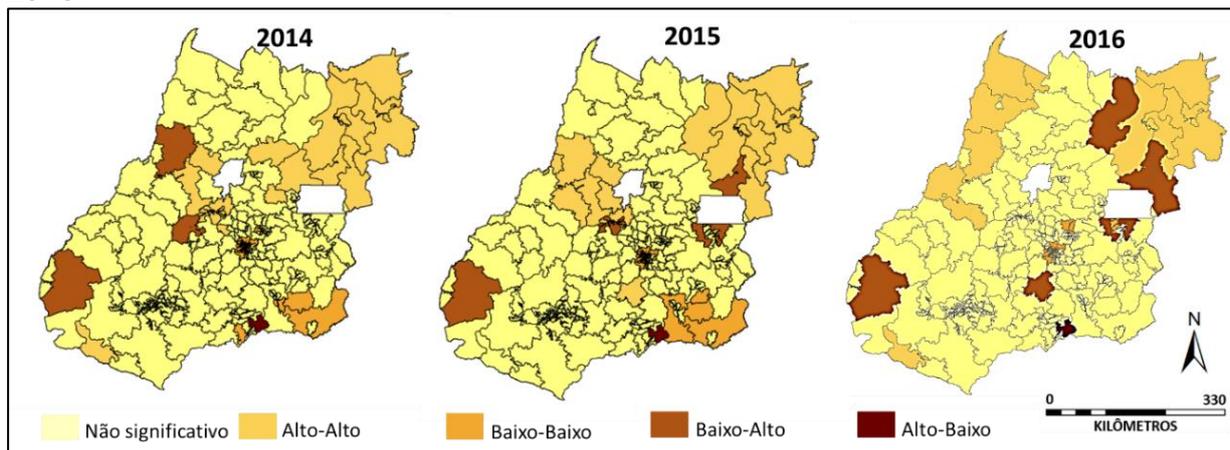
A Figura 7 mostra que para o indicador de DEC há *clusters* localizados em algumas regiões em todos os anos, mas que a predominância destes está em 2014 e 2015. As regiões que apresentaram *cluster* alto-alto são as regiões Nordeste e ao leste do Vale do São Patrício. Os *clusters* baixo-baixo apareceram na região Metropolitana e Sudeste Goiano. Demais *clusters*, baixo-alto e alto-baixo, são incomuns e estão distribuídos entre poucos conjuntos ao longo do Estado de Goiás.

Para o FEC, como indica a Figura 8, não há um padrão ao longo dos anos para a existência de *cluster*. O que se pode afirmar é que não há *cluster* alto-alto na região sudeste e centro goiano.

A análise conjunta das Figuras 7 e 8 sugerem que há uma concentração do problema dos indicadores ao longo dos conjuntos mais distantes do centro operacional da distribuidora e que as localidades com reduzido valor de indicadores estão concentradas na Região Metropolitana de Goiânia (REMG). Também mostram que não existe nenhuma correlação significativa entre os indicadores da região sudeste, sugerindo que nessa área os indicadores têm comportamento independente em cada conjunto elétrico.

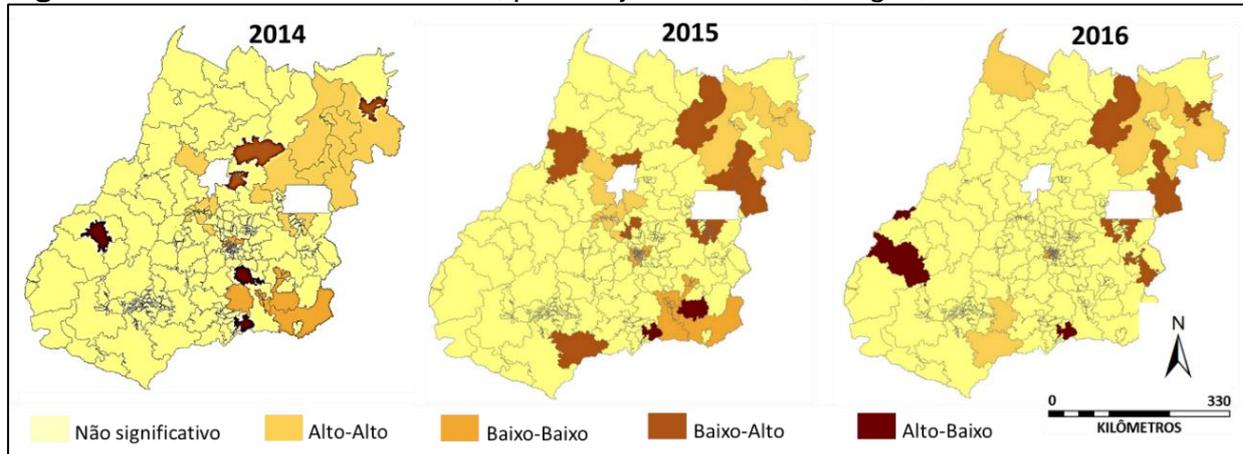
As Figuras 9 e 10 apresentam os *clusters* para os indicadores de extrapolação dos limites regulatórios, respectivamente Δ DEC e Δ FEC. Nestas imagens, é visto que, apesar de haver *clusters* alto-alto no norte e nordeste da área de concessão, verifica-se que a ANEEL já reconheceu parcela significativa da complexidade destas regiões, atribuindo a elas um limite regulatório maior, pois não se observa que nestas ocorram *clusters* alto-alto quando analisados os indicadores normalizados de Δ DEC. Todavia, o problema persiste ao ser constatado que existem *clusters* alto-alto nesta região para o Δ FEC.

Figura 9 – *Clusters* LISA – Δ DEC (em horas), por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Ao avaliar os indicadores de extrapolação dos limites regulatórios, verifica-se que, da mesma forma como ocorre com o valor dos indicadores, a Região Metropolitana e o Sudeste do estado se destacam positivamente, pois apresentam diferentes variações entre seus indicadores reais e limites regulatórios, estando, geralmente abaixo do limite regulatório. Por outro lado, em conjunto, os *clusters* de Δ DEC e Δ FEC sugerem que o problema da extrapolação dos limites regulatórios dos indicadores coletivos de continuidade está presente principalmente em 3 regiões: Nordeste Goiano, região do Vale do São Patrício e Sudoeste Goiano. A distinção entre os indicadores de DEC e FEC podem estar associados também ao fato de que o DEC está relacionado a operações de atendimento, enquanto o FEC depende primordialmente de ações de investimento o que reforça a ideia de que há a necessidade de tratar individualmente estes dois indicadores.

Figura 10 – Clusters LISA - Δ FEC, por conjunto elétrico, Celg D, 2014-2016.

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Região Metropolitana de Goiânia e parte da região Sudeste do Estado de Goiás despontaram como regiões onde a qualidade da energia está melhor que nas demais regiões, enquanto a região Nordeste do Estado de Goiás, onde há conjuntos elétricos com extensões maiores, mostrou-se como a região com pior desempenho quanto aos indicadores de qualidade. Contudo, notou-se que a maioria absoluta do número de conjuntos elétricos não faz parte de *clusters* significativos, o que sugere certa independência espacial dos seus indicadores, sem padrões significativos de comportamento das interrupções nessas regiões. A existência de diferenças significativas entre as interrupções ao longo da área avaliada sugere que sejam feitas ações distintas para cada região, uma vez que em sua maioria estão ultrapassando os limites regulatórios e que o problema aparenta ser consistente em certas regiões. Isso corrobora as sugestões de Ribeiro *et al.* (2022) sobre a necessidade de se considerar a heterogeneidade do estado na formulação de ações para melhorar os indicadores de continuidade no fornecimento de energia em Goiás.

Dos resultados deste artigo, duas sugestões podem ser indicadas para a Enel Distribuição Goiás, agora Equatorial. A primeira sugestão é verificar o que tem sido feito nos conjuntos elétricos cujo indicador de DEC e/ou FEC esteja abaixo do limite regulatório e aplicar nos conjuntos elétricos onde a situação é mais crítica, uma vez que a avaliação de *cluster* dos indicadores e da extrapolação dos limites regulatórios mostra que há regiões que estão com indicadores abaixo do limite regulatório. Contudo, essa aplicação de ações de manutenção e investimento de um conjunto elétrico em outro é limitada às características geográficas deste conjunto elétrico, já que a diferença entre as diversas regiões da área de concessão existe em grau elevado. Dessa forma, é que se apresenta a segunda proposta de ação para a empresa.

A segunda proposta para a empresa repousa em pleitear, junto à ANEEL, um redesenho da metodologia de criação dos limites regulatórios dos indicadores, uma vez que se reconhece que há uma distorção entre os conjuntos elétricos da distribuidora que pode ser causada não pela distribuidora, mas por limites regulatórios que não estejam sendo apurados de forma a modelar, com precisão, a realidade das regiões. Essa participação pode-se dar por meio da participação em audiências públicas, consultas públicas. Assim, é possível a redução de parte da distorção gerada pelo regulador no estabelecimento das metas dos conjuntos elétricos.

Considerações Finais

O presente artigo avaliou a presença de padrões espaciais das interrupções de fornecimento de energia elétrica entre os conjuntos da Celg Distribuição no período de 2014 a 2016. Corroborou-se a hipótese inicial de que existem efeitos espaciais significativos na área de concessão analisada, contudo, de forma diferente a depender do indicador e período avaliado.

As principais contribuições deste artigo referem-se à análise espacial de indicadores que até então estavam sendo avaliados somente de forma não espacial ou agrupadas. Assim, foi possível observar em maiores detalhes os aspectos que envolvem a da extrapolação dos indicadores, verificar onde a diferença entre os indicadores realizados e os limites regulatórios está maior, indicando as regiões onde se concentram os problemas para a distribuidora.

Verificou-se que a distribuição das interrupções, sejam quanto à duração ou seja quanto à frequência, apresenta-se de forma heterogênea ao longo dos mais de 200 mil km² a que equivale a área de concessão da Celg D. Foi identificado também que há distinção entre áreas que apresentam maiores durações e áreas que apresentam maiores frequências das interrupções. Outro ponto abordado foi a avaliação da presença de *clusters*, pela qual verificou-se que há conjuntos elétricos cujos indicadores estão significativamente correlacionados com os seus vizinhos, seja quanto à duração, frequência e ainda quanto ao grau de ultrapassagem dos limites regulatórios destes indicadores.

No geral, verifica-se que na Região Metropolitana de Goiânia (REMG) e parte da região Sudeste do Estado de Goiás há menos problema com a os indicadores de continuidade, enquanto a região Nordeste do Estado de Goiás, onde há conjuntos elétricos com extensões maiores, o problema se mostra mais significativo. A existência de diferenças significativas entre as interrupções ao longo da área avaliada sugere que sejam feitas ações distintas para cada região, uma vez que em sua maioria estão ultrapassando os limites regulatórios e que o problema aparenta ser consistente em certas regiões. Contudo, notou-se que a maioria absoluta do número de conjuntos elétricos não faz parte de *clusters* significativos, o que sugere certa independência espacial dos seus indicadores, sem padrões significativos de comportamento das interrupções nessas regiões. Desta forma, fica evidente que a heterogeneidade da área de concessão da Celg Distribuição é extrapolada para os indicadores de continuidade.

A análise realizada neste artigo pode ser estendida para as demais distribuidoras de energia elétrica no Brasil, uma vez que a metodologia utilizada é replicável e os dados estão disponíveis para todas as distribuidoras brasileiras. Como sugestão para pesquisas futuras, tem-se a avaliação dos determinantes das interrupções de modo a considerar os efeitos espaciais, uma vez que eles são significativos. Explorar estes determinantes é essencial na busca de redução das interrupções e melhoria do bem-estar dos consumidores, além de melhorar a posição da Celg Distribuição no *ranking* de qualidade da ANEEL, com vista a melhoria de bem-estar dos consumidores e geração de valor para os acionistas da empresa.

Referências

ALMEIDA, C. A.; COUTINHO, A. C.; ESQUERDO, J. C. D. M.; ADAMI, M.; VENTURIERI, A.; DINIZ, C. G.; DESSAY, N.; DURIEUX, L.; GOMES, A. R. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 46, n. 3, p. 291-302, 2016.

ALMEIDA, E. **Econometria espacial aplicada**. Campinas: Alínea Editora, 2012.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Indicadores coletivos de continuidade**. Brasília, DF: ANEEL, 2017. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/indicadores-coletivos-de-continuidade>. Acesso em: 5 jan. 2018.

ANEEL - AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**, 2018. Disponível em: https://antigo.aneel.gov.br/documents/656827/14866914/M%C3%B3dulo8_Revisao_8/9c78cfab-a7d7-4066-b6ba-cfbda3058d19. Acesso em: 10 maio 2018.

BAILEY, N.; HOLLY, S.; PESARAN, M. H. A two-stage approach to spatio-temporal analysis with strong and weak cross-sectional dependence. **Journal of Applied Econometrics**, Chichester, v. 31, n. 1, p. 249-280, 2016.

BARBOSA, A. S.; CARVALHO, P. L. Impacts of the change in regulation in Brazil: penalty simulation for violation of collective interruption indicators versus compensation for consumers. **CIRED-Open Access Proceedings Journal**, [s. l.], v. 1, p. 729-732, 2017.

CAVALCANTE, A.; ALMEIDA, R. P.; BAKER, N. The urban dynamics of financial services: centralities in the metropolis. **Nova Economia**, Belo Horizonte, v. 26, p. 1245-1285, 2017. Número especial.

GONÇALVES, Eduardo. O padrão espacial da atividade inovadora brasileira: uma análise exploratória. **Estudos Econômicos (São Paulo)**, v. 37, p. 405-433, 2007.

GOODCHILD, M. F. The validity and usefulness of laws in geographic information science and geography. **Annals of the Association of American Geographers**, Washington, v. 94, n. 2, p. 300-303, 2004.

HAMMARSTRON, J. R.; ABAIDE, A. R.; FUHRMANN, M. W.; VIANNA, E. A. L. The impact of the installation of smart meters on distribution system reliability. *In*: INTERNATIONAL UNIVERSITIES POWER ENGINEERING CONFERENCE. 51., 2016, Coimbra. **Anais** [...]. Coimbra: UPEC, 2016. p. 1-5.

HERMAN, Sandra; ADKINS, Mary; MOON, Rachel Y. Knowledge and beliefs of African-American and American Indian parents and supporters about infant safe sleep. *Journal of community health*, v. 40, p. 12-19, 2015.

KEEBLE, D.; WILKINSON, F. (ed.). *High-technology clusters, networking and collective learning in Europe*. [S. l.]: Routledge, 2017.

KÜFEOĞLU, S.; LEHTONEN, M. Interruption costs of service sector electricity customers, a hybrid approach. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, Oxford, v. 64, p. 588-595, 2015.

MORAN, P. A. P. The interpretation of statistical maps. **Journal of the Royal Statistical Society**, London, v. 10, n. 2, p. 243-251, 1948.

OINAS, P. Proximity, external relations, and local economic development. *In*: OINAS, P.; LAGENDIJK, A. **Proximity, distance and diversity**. London: Routledge, 2017. p. 11-30.

POMBO, A. V.; MURTA-PINA, J.; PIRES, V. F. Multiobjective planning of distribution networks incorporating switches and protective devices using a memetic optimization. **Reliability Engineering & System Safety**, Barking, v. 136, p. 101-108, 2015.

SILVA, J. A. et al. Distribuição temporal e espacial da raiva bovina em Minas Gerais, 1976 a 1997. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 53, p. 01-11, 2001.

TOBLER, W. R. A computer movie simulating urban growth in the Detroit region. **Economic Geography**, Worcester, v. 46, n. 1, p. 234-240, 1970.