

# PROPOSTA PARA ORDENAMENTO OTIMIZADO DE INVESTIMENTOS EM ATIVOS ELÉTRICOS: ESTUDO DE CASO EM UMA EMPRESA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA BRASILEIRA

*Data de submissão: 06/09/2024*

*Data de aceite: 01/11/2024*

**Allan do Couto Rodrigues**

<http://lattes.cnpq.br/0487962221916292>

**Gilson Brito Alves Lima**

<http://lattes.cnpq.br/2248567464602970>

**RESUMO:** O objetivo deste estudo é analisar os principais desafios enfrentados pelas distribuidoras de energia elétrica na expansão do sistema elétrico. O estudo visa apresentar uma proposta de ferramenta para priorizar e organizar as sucursais operativas das distribuidoras de energia e descobrir como os investimentos necessários para os processos de expansão podem ser disponibilizados com mais eficiência. A pesquisa concentrou-se em métodos quantitativo, bibliográfico e exploratório. O período de coleta de dados compreendeu os meses de janeiro a dezembro de 2021 e os resultados de 9 (nove) indicadores de desempenho selecionados por similaridade foram analisados para cada uma das 8 sucursais operacionais, a cada mês, totalizando 864 (oitocentos e sessenta e quatro) registros levantados no estudo. Os resultados obtidos com a aplicação da ferramenta possibilitaram a criação de um ranking das respectivas sucursais

com maior potencial de criticidades para a alocação dos investimentos necessários para solucionar o maior número de criticidades no sistema da distribuidora de energia elétrica, permitindo o alcance dos objetivos de negócio de acordo com as exigências estabelecidas pelo órgão regulador.

**PALAVRAS-CHAVE:** Planejamento energético; apoio à decisão; topsis; distribuição de energia; demanda energética.

## PROPOSAL FOR OPTIMIZED ORGANIZATION OF INVESTMENTS IN ELECTRICAL ASSETS: CASE STUDY IN A BRAZILIAN ENERGY DISTRIBUTION COMPANY

**ABSTRACT:** The objective of this study is to analyze the main challenges faced by electricity distributors in the expansion of the electrical system. The study aims to present a proposal for a tool to prioritize and organize the operating areas of energy distributors and discover how the necessary investments for expansion processes can be made available more efficiently. The research focused on quantitative, bibliographical and exploratory methods. The data collection period comprised the

months of January to December 2021 and the results of 9 (nine) performance indicators selected by similarity were analyzed for each of the 8 operational areas, each month, totaling 864 (eight hundred and sixty-four) records raised in the study. The results obtained with the application of the tool made it possible to create a ranking of the respective areas with the greatest potential for criticalities for the allocation of the necessary investments to solve the greatest number of criticalities in the electricity distribution system, allowing the achievement of business objectives in accordance with the requirements established by the regulatory body.

**KEYWORDS:** Energy planning; decision support; topsis; energy distribution; energy demand.

## 1 | INTRODUÇÃO

Planejar a expansão do sistema elétrico da distribuidora é uma das principais atividades da empresa, que representa parte significativa dos investimentos realizados. Estabelecer critérios eficazes para a alocação de recursos financeiros é tarefa indispensável para o alcance dos objetivos estratégicos, principalmente o direcionamento para solucionar o maior número de pontos críticos para os sistemas de energia (COSSI, 2008).

As empresas de distribuição de energia elétrica do Brasil têm dependido de financiamento externo para planejar sua expansão, levando a formas complexas de captação de recursos. Segundo Serrano (1999), antes da instabilidade econômica causada pela crise da dívida, as distribuidoras não tinham grandes problemas para obter empréstimos em bancos comerciais internacionais. Essa restrição perdurou por muito tempo e se acentuou ainda mais após a crise iniciada em 2008, quando o fluxo de crédito bancário internacional começou a diminuir. Lehnhart (2015) destaca que os sistemas de distribuição elétrica devem atender a regras específicas de qualidade de energia elétrica indicadas pelo órgão regulador. Desde o início do programa de privatizações operado desde a segunda metade da década de 1990, a qualidade da energia distribuída está na pauta da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), que monitora por meio de indicadores regulatórios estabelecidos.

Os desafios e obstáculos para a expansão do sistema elétrico brasileiro são o baixo nível de interação entre instituições de pesquisa e empresas, que poderiam utilizar com maior ênfase os recursos dos “fundos setoriais” dedicados a projetos de pesquisa e desenvolvimento no setor.

Castro Silva (2007) aponta que, desde a segunda metade da década de 1990, os recursos públicos para a expansão dos sistemas de produção, transmissão e distribuição de energia elétrica estão se esgotando, exclusivamente de fontes públicas. Como resultado dessa incapacidade de investir, a infraestrutura de ativos se deteriorou. Para reverter esse quadro, ainda segundo o autor, o aumento da demanda poderia ser novamente alimentado por uma política expansionista de investimentos, mudanças estruturais, bem como uma tendência a viabilizar uma maior participação do setor privado.

Almeida et al. (2011) aponta que os sistemas elétricos de distribuição no Brasil possuem uma grande extensão da rede de distribuição, cargas elétricas de diferentes características distribuídas de forma desigual, e esses fatores estão associados a um alto número de quedas de tensão e mudanças significativas ao longo do tempo. circuitos. Almeida et al. (2005), aponta que devido a essas características, somadas ao crescimento vegetativo do número de clientes e o conseqüente aumento da demanda de energia elétrica, que também afetam o estado operacional do sistema, as distribuidoras direcionam investimentos maciços para a adequação dos as condições de abastecimento. A priorização dos investimentos deve ser focada justamente naqueles que visam a atuação preditiva no sistema de distribuição e evitando problemas estimados com base na expectativa de crescimento da demanda identificada por meio da previsão de carga.

O segmento de distribuição de energia elétrica tem investido significativamente em tecnologias voltadas para a construção e manutenção de sistemas de distribuição por meio de suporte e monitoramento em tempo real que fornecem informações de todo o sistema. Essas tecnologias proporcionam ganhos significativos e vantagens competitivas para a tomada de decisão. Evidencia-se que as empresas até buscam o auxílio de técnicas de otimização e priorização para alocação de investimentos, porém, ainda há um mau uso de todo esse volume de dados para determinar os melhores critérios que contemplem as mais técnicas e eficientes decisões de alocação de investimentos.

Vieira (2016) confirma que o processo de tomada de decisão de investimentos no setor elétrico é uma atividade considerada essencial para atingir os objetivos estratégicos, principalmente no que diz respeito a investimentos de médio e grande porte voltados para soluções eficazes de curto, médio e longo prazos. sistema de energia.

Nesse sentido, este estudo visa propor uma metodologia apoiada na Técnica de Similaridade à Solução Ideal - TOPSIS, para avaliar a sustentabilidade das principais empresas do setor energético brasileiro, a fim de identificar um benchmark para o desenho de melhorias futuras. Considerando o tipo de problema de sustentabilidade observado, a pesquisa oferece uma nova abordagem no setor de energia.

O método de ordenação por similaridade de acordo com a solução ideal - TOPSIS - foi utilizado como procedimento metodológico. TOPSIS é um método multicritério baseado na minimização simultânea da distância do ponto ideal e maximização da distância do ponto ideal, que pode incorporar os pesos relativos dos critérios de importância, que é uma técnica de classificação e seleção prática e útil. O número de alternativas é determinado externamente pela medição da distância e tem uma vantagem em comparação com outros métodos multi-atributos na capacidade de identificar rapidamente a melhor alternativa.

O benefício da pesquisa está principalmente na avaliação e comparação do desempenho das empresas do setor elétrico nas dimensões Qualidade, Produtividade e Segurança. Além disso, a pesquisa preenche uma lacuna na literatura na concepção de métodos de apoio à decisão para reduzir a subjetividade das avaliações de sustentabilidade

organizacional. Por fim, o método contribui com a literatura e o setor elétrico na análise, interpretação e previsão de indicadores de sustentabilidade no setor.

Este artigo está organizado em cinco seções. Além da Introdução, a Seção II fornece uma visão detalhada das questões de congestionamento de demanda. Na parte III há uma aplicação do método TOPSIS, na parte IV há uma discussão dos resultados e na parte V as conclusões.

## 2 | O PROBLEMA DE SOBRECARGA

O problema da sobrecarga de demanda no sistema elétrico e seus efeitos no cumprimento das metas estabelecidas para os níveis de tensão no fornecimento de energia elétrica são estudados anualmente pelos departamentos de Planejamento e Investimento da demanda Energética das diversas distribuidoras de energia na elaboração do documento “*Expected Network Behavior*”, submetido à ANEEL. Nesses estudos, são realizadas simulações do fluxo de potência ao longo do sistema elétrico nos níveis de alta e média tensão, a fim de identificar a situação atual e a projeção das criticidades de carga do sistema de energia da empresa sistema nos horizontes de médio prazo (5 anos) e longo prazo (10 anos), de acordo com a previsão atual de crescimento do mercado. No caso da distribuidora em estudo, os critérios são determinados por política interna, que também é aplicada a outros distribuidores do grupo empresarial a que pertence.

Criticidade de carga é entendida como qualquer evento indicado pelo algoritmo de simulação computacional em que o sistema elétrico da distribuidora apresentará uma sobrecarga para atender o fluxo de potência que os consumidores da distribuidora irão demandar, dentro do horizonte de tempo definido no estudo.

Lima et al. (2018) destacam que, tradicionalmente, a estabilidade do sistema é avaliada analisando uma lista de eventos potenciais de vários cenários de carregamento crítico. Esta avaliação é um processo muito demorado devido à complexidade dos modelos. Calcular e analisar cada modelo requer verificação visual de múltiplas trajetórias no tempo, tornando impossível um exame completo e abrangente.

Para a identificação das criticidades de carregamento são apuradas as demandas em MW dos transformadores de AT (Alta Tensão) / AT (Alta Tensão), AT (Alta Tensão) / MT (Média Tensão) e MT (Média Tensão) / MT (Média Tensão) em MW, além dos carregamentos das linhas de AT e dos alimentadores de MT.

Além da criticidade da carga o algoritmo do computador também calcula a criticidade da tensão para as barras de Alta e Média Tensão. Os níveis de tensão na rede de distribuição também são indicadores regulatórios monitorados pelo agente regulador e, de acordo com o Módulo 8 dos Procedimentos de Distribuição da ANEEL, são classificados de acordo com os níveis de tensão previstos neste mesmo Módulo.

Para a elaboração do documento “*Expected Network Behavior*” para o período

2018-2023, o algoritmo de simulação foi preenchido com os dados da demanda máxima medida em MW dos 1.303 elementos do sistema da distribuidora de energia elétrica sob investigação. As informações sobre as demandas máximas utilizadas para o período estudado, bem como um histórico desde o início da medição de sua série histórica iniciada no ano de 2000, são expostas na Figura 1, a seguir:

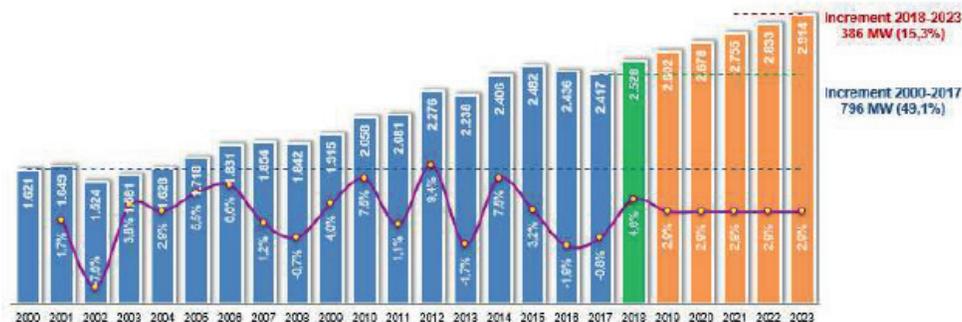


FIGURA 1 - Histórico de Demanda Máxima e Projeção Futura (2000-2023)

Fonte: Os Autores (2021)

Desde o início do cálculo histórico do indicador de “Carga da Rede”, a demanda em MW da distribuidora apresentou uma variação de 55,9 % (+907 MW) entre os anos 2000-2018 e, apenas no período de elaboração do novo relatório (2019 -2023) a demanda de energia da empresa aumentou 15,3% (+386 MW). A partir dos resultados da simulação concluiu-se também que apenas no intervalo de elaboração do informe mais atual para o período de 5 anos (2019-2023) a demanda do consumidor por energia aumentará 42,5% quando comparada ao crescimento total da demanda nos últimos 18 anos (2000-2018).

A partir dos resultados das simulações obtidas com o algoritmo computacional, se verificou um aumento de 275 % no volume de pontos de criticidade de carregamento, o que pode ser verificado na Figura 2, abaixo, comparando a tendência de demanda do sistema de distribuição expressa em MW em 2023 com o cenário para o ano de 2019:

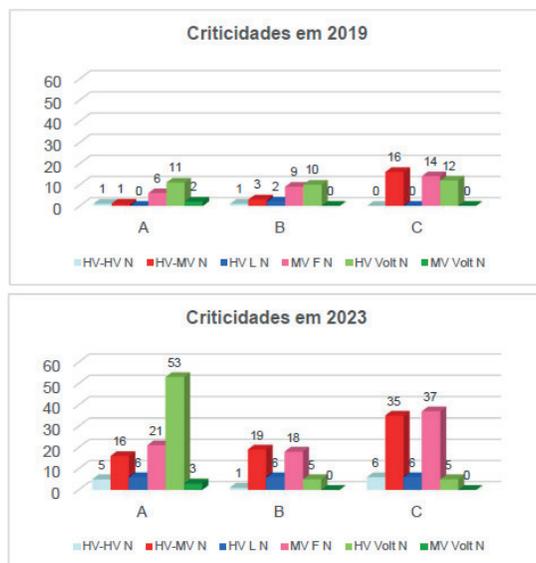


FIGURA 2 - Evolução das Criticidades de Carregamento (2019-2023)

Fonte: Os Autores (2021)

Desta forma, com base nas necessidades identificadas no estudo quinquenal (ciclo 2019-2023), o departamento de planeamento de investimento propõe-se a realizar um conjunto de trabalhos necessários para resolver futuras condições críticas do sistema eléctrico. Essas tarefas são compartilhadas com uma comissão de avaliação que prioriza a execução das mais relevantes, principalmente aquelas que permitem solucionar o maior número de problemas críticos, naturalmente sempre limitadas ao orçamento máximo previsto no BIP (*Budget Investment Plan*) para o ciclo em questão.

### 3 | MODELAGEM PELO MÉTODO DE SIMILARIDADE DE SOLUÇÃO IDEAL

O TOPSIS foi desenvolvido pela primeira vez por Hwang e Yoon (1981) para resolver um problema de tomada de decisão multi-atributo e forneceu o princípio de trade-off em que a alternativa escolhida deveria ser aquela com a menor distância da Solução Ideal Positiva (PIS) e aquela com a maior distância da Solução Ideal Negativa (NIS).

O TOPSIS visa minimizar a distância até a alternativa ideal maximizando a distância até o antecedente ideal (HWANG e YOON, 1981). A solução ideal é edificada tomando os melhores valores alcançados pelas alternativas, quando consideradas defronte a cada critério de decisão, enquanto a solução pré-ideal é edificada de forma semelhante tomando os piores valores.

Segundo o autor a implementação do método TOPSIS pode ser simplificada pelos seguintes passos:

(1) Criar a matriz de avaliação com  $m$  alternativas e  $n$  critérios, onde a intersecção entre cada alternativa e critério é definida por  $x_{ij}$ , obtendo-se a matriz  $(x_{ij})_{m \times n}$ .

(2) Normalizar a matriz  $(x_{ij})_{m \times n}$  para  $R^* = (r_{ij})$ . No presente trabalho, aplicou-se o método de normalização vetorial, evidenciado na Equação 1:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m x_{ij}^2}} \quad i=1, 2, \dots, m \text{ e } j=1, 2, \dots, n \quad (1)$$

(3) Realizar ponderamento da matriz, por meio da formulação de um conjunto de constantes de escala  $w_k$  para cada um dos critérios definidos. O fundamento para a ponderação pode ser o reflexo ad hoc da importância relativa. O resultado da ponderação da matriz é evidenciado por meio da Equação 2:

$$v_{ij} = (w_{ij})_{m \times n} = (w_j r_{ij})_{m \times n} \quad (2)$$

Onde,  $w_j$  é a constante de escala estabelecido pelo critério  $j$ , e  $\sum_{i=1}^n w_j = 1$ .

(4) Determinar a seleção da alternativa ideal ou (alto desempenho para cada critério) ou SIP.

(5) Distinguir a alternativa de ponto ante ideal ou (desempenho inverso extremo para cada critério) ou SIN.

(6) Auferir medidas de distância com base em distância Euclidiana. Estabelecer uma medida de distância para cada ponto ideal (D+) e para cada ponto ante ideal (D-), evidenciadas, respectivamente, por meio das Equações 3 e 4:

$$D_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - s_{ij}^+)^2}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (3)$$

$$D_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (v_{ij} - s_{ij}^-)^2}, \text{ para } i = 1, 2, \dots, m \quad (4)$$

(7) Para cada opção, estabelecer a razão  $R$  igual à distância para o ponto ante ideal dividida pela soma da distância ao ponto ante ideal e a distância para o ponto ideal (Equação 5).

$$R_i = D_i^- / (D_i^- + D_i^+) \quad (5)$$

(8) Por meio de ferramenta informática, como Excel, por exemplo, obter a ordem de categorização das alternativas por meio da maximização da relação identificada na etapa 7.

O processo metodológico deste estudo é composto por quatro etapas: coleta, tratamento, modelagem e análise dos dados. O período de coleta foi de janeiro a dezembro de 2021. Os dados foram analisados mês a mês com base nos resultados obtidos para cada sucursal, tomando como base o histórico de 9 (nove) indicadores de desempenho

para o período analisado, utilizando-se também de coleta de dados por meio da análise de documentos e utilização de bancos de dados do sistema de gestão de desempenho da empresa analisada. Um total de 864 resultados foram usados para obter dados relevantes do estudo em um total de 9 indicadores selecionados das 8 sucursais operacionais estudadas.

Para fins de modelagem, os resultados foram agrupados em três vetores: Qualidade, Produtividade e Segurança, a partir dos quais foram construídas três matrizes de decisão relacionadas. Para cada um dos critérios, foram determinados os correspondentes “efeitos” (significados) dos valores esperados: “quanto maior, melhor” ou “quanto menor, melhor”, indicados respectivamente por “positivo” ou “negativo”, dependendo do caso real aplicado.

Neste primeiro processo de modelagem, foi adotado o critério de correlação de pesos iguais entre os diferentes critérios, pelo que o peso utilizado corresponde à unidade (1) dividida pelo total de critérios adotados por cada um dos 3 vetores.

A normalização da matriz e a modelagem da Solução Ideal Positiva (PIS) e Ideal Negativa (NIS) foram então realizadas para cada critério associado aos vetores de Qualidade, Produtividade e Segurança. De acordo com o processo teórico, após a construção da tabela de decisão, a primeira etapa da aplicação do TOPSIS é normalizar a tabela para convertê-la em uma tabela adimensional para que os diferentes critérios possam ser comparados. Como primeiro passo na regularização, definimos o máximo da matriz de decisão. De acordo com a técnica TOPSIS, a melhor alternativa será a mais próxima da solução ideal positiva e a mais distante da solução ideal negativa. A solução ideal positiva é composta por todos os melhores valores viáveis para cada critério. A solução ideal negativa, por outro lado, mostra os piores valores alcançáveis com relação a cada critério de decisão:

(A) PIS: Maximiza os critérios de benefício e minimiza os critérios de custo;

(B) NIS: Maximiza os critérios de custo e minimiza os critérios de benefício.

Para determinar a que distância cada alternativa está da solução ideal, calcula-se a distância Euclidiana entre os pontos máximo e mínimo da seção transversal. Finalmente, a etapa final do TOPSIS envolve a classificação de cada alternativa com base em critérios relevantes e determinar a similaridade relativa para cada alternativa (sucursais operacionais), sempre com relação à solução ideal positiva e solução ideal negativa.

## 4 | APURAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Para essa avaliação, foi adotada como ferramenta de análise e classificação a Técnica Multicritério de Apoio à Decisão (TOPSIS), que se ajusta melhor à proposta por vários motivos, entre eles: permite a utilização de um número ilimitado de propriedades e atributos, além de ser de fácil entendimento e, comparativamente, simples, com procedimento sistemático e baixo esforço computacional.

Para aplicação da metodologia TOPIS foram analisados 8 conjuntos de indicadores

operacionais, agrupados em três vetores: Qualidade, Produtividade e Segurança. Os resultados de 864 medições dos indicadores selecionados foram coletados e analisados a partir dos dados gerados pela matriz de decisão TOPSIS em relação às 8 sucursais operativas da empresa estudada ao longo do ano 2021.

O Gráfico 1, abaixo, apresenta uma visão geral da categorização de cada uma das regiões de atuação sob a ótica do vetor “Qualidade”. Pela análise do gráfico pode-se perceber que as regiões de Niterói, São Gonçalo, Magé e Serrana obtiveram, nesta ordem, os melhores coeficientes normalizados e as localidades de Lagos, Macaé, Sul e Campos, nesta respectiva ordem, os menores coeficientes normalizados. Isoladamente, sob a análise da simulação dos resultados do vetor “Qualidade”, a priorização da alocação de investimentos para a execução de novas obras necessários para solucionar o maior número de pontos críticos do sistema de abastecimento de energia elétrica deve ser centralizada, na seguinte ordem, nas regionais de Niterói, São Gonçalo, Magé e Serrana.

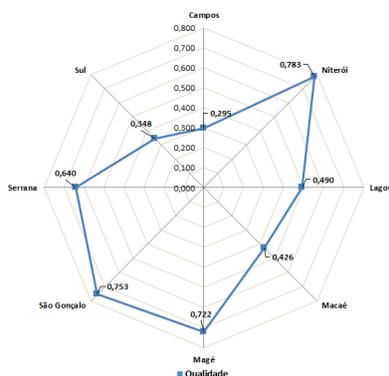


GRÁFICO 1 – Coeficientes Apurados (Scores TOPSIS - Vetor Qualidade)

Fonte: Os Autores (2021)

O Gráfico 2, a seguir, apresenta uma visão geral do posicionamento de cada uma das regiões de atuação sob o aspecto do vector “Produtividade”. Pela análise do gráfico pode-se apurar que as regiões de Magé, Sul, Serrana e São Gonçalo auferiram, nesta ordem, os melhores coeficientes normalizados e as localidades de Niterói, Macaé, Campos e Lagos, nesta respectiva ordem, os menores coeficientes normalizados. Isoladamente, sob a análise da simulação dos resultados do vector “Produtividade”, a priorização da alocação de investimentos para a execução de novas obras necessários para solucionar o maior número de pontos críticos do sistema de abastecimento de energia elétrica deve ser centralizada, na seguinte ordem, nas regionais de Magé, Sul, Serrana e São Gonçalo.

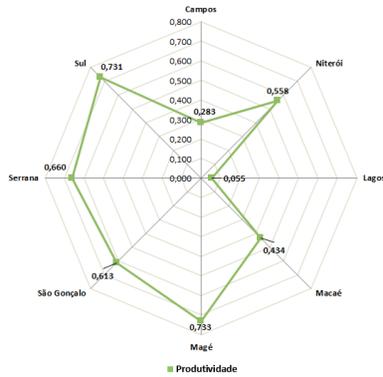


GRÁFICO 2 – Coeficientes Apurados (Scores TOPSIS - Vetor Produtividade)

Fonte: Os Autores (2021)

O Gráfico 3, a seguir, promove uma visão geral do ranking de cada uma das regionais operativas sob o aspecto do vetor “Segurança”. Da análise do gráfico, pode-se constatar que as Regionais de Macaé, Campos, Serrana e São Gonçalo obtiveram, nesta ordem, os melhores coeficientes normalizados e as localidades de Magé, Lagos, Niterói e Sul, nesta respectiva ordem, os menores coeficientes normalizados. Isoladamente, sob a análise da simulação dos resultados do vetor “Segurança”, a priorização da alocação dos investimentos para a realização de novas obras necessárias à solução do maior número de pontos de criticidade do sistema elétrico de potência deveria ser centralizada, na ordem a seguir, nas Regionais Macaé, Campos, Serrana e São Gonçalo.

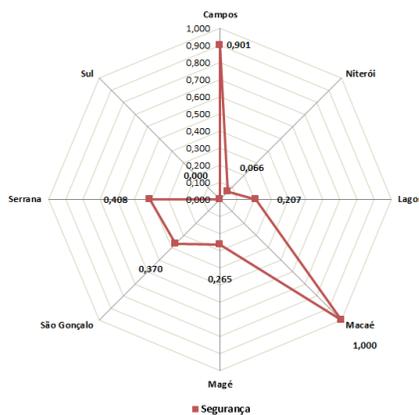


GRÁFICO 3 – Coeficientes Apurados (Scores TOPSIS - Vetor Segurança)

Fonte: Os Autores (2021)

Por fim, a Tabela 1 sintetiza os resultados do cálculo dos coeficientes o que, ao mesmo tempo, permite fazer uma classificação integrada para cada vetor estudado.

	Qualidade			
	D+	D-	Coefficiente	Ranking
Campos	0,098	0,041	0,295	8
Niterói	0,029	0,105	0,783	1
Lagos	0,075	0,072	0,490	5
Macaé	0,082	0,061	0,426	6
Magé	0,038	0,099	0,722	3
São Gonçalo	0,035	0,106	0,753	2
Serrana	0,048	0,086	0,640	4
Sul	0,103	0,055	0,348	7
	Produtividade			
	D+	D-	Coefficiente	Ranking
Campos	0,124	0,049	0,283	7
Niterói	0,078	0,099	0,558	5
Lagos	0,169	0,010	0,055	8
Macaé	0,101	0,077	0,434	6
Magé	0,054	0,147	0,733	1
São Gonçalo	0,067	0,106	0,613	4
Serrana	0,061	0,119	0,660	3
Sul	0,057	0,154	0,731	2
	Segurança			
	D+	D-	Coefficiente	Ranking
Campos	0,048	0,443	0,901	2
Niterói	0,460	0,032	0,066	7
Lagos	0,390	0,102	0,207	6
Macaé	0,000	0,492	1,000	1
Magé	0,362	0,130	0,265	5
São Gonçalo	0,310	0,182	0,370	4
Serrana	0,291	0,201	0,408	3
Sul	0,492	0,000	0,000	8

TABELA 1 – Resumo Global dos Coeficientes Apurados e Rankings

Fonte: Os Autores (2021)

E o Gráfico 4 sumariza em um mesmo gráfico o resultado dos coeficientes apurados para cada um dos vetores avaliados.

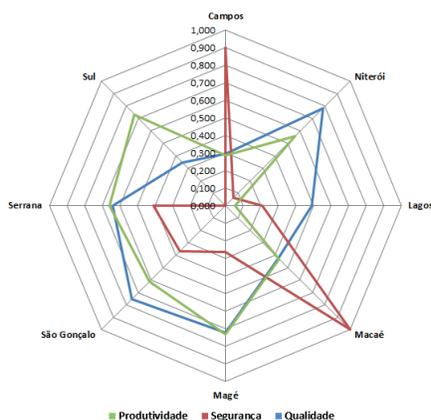


GRÁFICO 4 – Scores Apurados Globais

Fonte: Os Autores (2021)

A sobreposição dos resultados de forma integrada também permite conformar a tendência apontada pela ferramenta TOPSIS ao avaliar os resultados obtidos com as ferramentas de ordenação e convergência. No âmbito da análise final dos resultados,

a simulação confirma que no alcance dos resultados do vetor “Qualidade”, as regionais de Niterói, São Gonçalo, Magé e Serrana devem ordenar a priorização da alocação de investimentos para a execução de novas obras necessários para solucionar o maior número de pontos críticos no sistema de abastecimento de energia elétrica.

Na perspectiva de simular os resultados do vetor “Produtividade”, a priorização da destinação de investimentos para a realização de novas obras necessárias à solução do maior número de pontos críticos do sistema elétrico deve ser ordenada pelas regionais de Magé, Sul, Serrana e São Gonçalo. Por fim, sob a análise da simulação dos resultados do vetor “Segurança”, as Regiões de Macaé, Campos, Serrana e São Gonçalo devem ordenar a priorização da alocação de investimentos para realizar mesmas obras necessários para solucionar o maior número de pontos críticos do sistema elétrico.

Constatou-se que, de maneira geral, independentemente do vetor analisado, certas regiões têm frequência de apontamento pelos resultados apontados pela simulação, com destaque para as regiões de Magé, Serrana e São Gonçalo.

## 5 | CONCLUSÕES

Neste trabalho foi aplicada a técnica de apoio à decisão conhecida como TOPSIS, uma técnica para avaliar o desempenho de alternativas por similaridade com a solução ideal. Com base nesta metodologia, o objetivo principal deste trabalho foi alcançado com a construção de uma ferramenta para pré-seleção das melhores alternativas para alocação de investimentos de uma distribuidora de energia elétrica, visando solucionar o maior número de pontos críticos do sistema elétrico de potência, sendo um instrumento que substitui decisões subjetivas, substituindo-as por alternativas para o estabelecimento de melhores critérios de decisão para alocação de investimentos.

Para seu melhor desempenho, propõe-se que o modelo seja atualizado anualmente para refletir a dinâmica derivada da variabilidade do mercado de distribuição de energia elétrica no qual a empresa está inserida, permitindo a incorporação de variáveis, tais como, novos clientes relevantes para se conectar à rede de distribuição ou a entrada de novos agentes produtores de energia elétrica que se conectam à rede de distribuição.

Para o estudo de caso analisado, foi possível constatar a viabilidade do TOPSIS, provando sua eficiência e simplicidade em termos de implementação de TI. Uma de suas vantagens é que o algoritmo não requer nenhum ajuste de parâmetro. O método permite a implementação de um processo robusto cujos resultados de modelagem levaram ao desenvolvimento de um sistema interno para melhorar o processo de tomada de decisão no que tange ao objetivo central do problema identificado que é a alocação dos investimentos necessários para resolver o maior número de problemas críticos no sistema elétrico.

Observou-se que a aplicabilidade da técnica de similaridade com solução ideal (TOPSIS) busca apresentar resultados relevantes para a melhoria do processo de tomada

de decisão para alocação dos investimentos necessários à rede de distribuição. Analisando o perfil de desempenho apresentado pelas Regionais Operacionais da distribuidora de energia elétrica estudada, em seus 9 indicadores e 3 dimensões analisadas, fica evidente que a aplicação da técnica deixou clara a indicação das Regionais com maior potencial para alocar os investimentos necessários para solucionar o maior número de problemas críticos do sistema elétrico da distribuidora. Em especial, a técnica apontou como resultado das simulações que as regionais de Niterói, São Gonçalo, Magé e Serrana devem ser as prioridades para alocação dos fluxos de investimentos, de forma a permitir o alcance dos objetivos empresariais relacionados aos pré-requisitos definidos pelo órgão regulador setorial.

Ainda como pontos relevantes das conclusões, a ferramenta permitiu, por exemplo, verificar que a região de Macaé é uma das regiões a serem abordadas no âmbito do perfil de investimento, mas, pelos critérios atualmente aplicados, não seria uma região atualmente mapeada para priorização no aporte de investimentos.

O presente estudo teve como fundamento uma análise geral dos indicadores regulados e suas dimensões em todas as regiões da distribuidora de energia elétrica examinada, sem levar em conta aspectos como o número de consumidores conectados à rede de distribuição, a equipe de apoio (número de funcionários próprios e terceirizados), receita bruta de venda de energia e despesas relacionadas (OPEX) de cada região. Essas limitações são objeto de estudos futuros para incorporar novas variáveis.

Os limites da proposta incluem aspectos relacionados ao equilíbrio entre os indicadores, pois os KPIs foram herdados dos KPIs clássicos previamente definidos pelo órgão regulador setorial. Outro aspecto diz respeito à atribuição de pesos entre vetores, o que não foi aplicado nesta proposta. Um terceiro aspecto refere-se à participação de especialistas, quer através de um grupo de discussão, quer através de um formulário de pesquisa, tendo em conta o pressuposto de que os três vetores aplicados, bem como o conjunto de KPIs inerentes a cada um dos vetores, estão previamente definidos com os normativos setoriais, não havendo espaço para uma abordagem distinta que se afaste nesse sentido.

Do ponto de vista do desenvolvimento futuro e impacto social, este estudo abre indicações para expansão na perspectiva de Projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), considerando os incentivos financeiros fornecidos pelos reguladores junto ao fornecedor de eletricidade para a viabilização de projetos dessa natureza.

## REFERÊNCIAS

Almeida, A. T. e Duarte, M. D. O. (2011). **A multi-criteria decision model for selecting project portfolio with consideration being given to a new concept for synergies**. Pesquisa Operacional, v.31, n.2, p.301–318.

- Almeida, D.R. e Negrão A.C.M (2005). **Expansão Sustentada do Setor Elétrico Brasileiro: Desafio para a Regulação e Espaço para a Empresa Estatal**. PRÊMIO DEST/MP DE MONOGRAFIAS - ESTATAIS, Rio de Janeiro, RJ.
- Castro Silva, W. A. (2007). **Investimento, Regulação e Mercado: Uma Análise do Risco no Setor Elétrico**. Tese (Doutorado em Administração) - Universidade Federal de Lavras, MG.
- Cossi, A. M. (2008). **Planejamento de Redes de Distribuição de Energia Elétrica de Média e Baixa Tensão**. Tese (Doutorado em Energia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho, Ilha Solteira, SP.
- Hwang, C.L. and Yoon, K. (1981). **Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications**. Springer-Verlag, New York.
- Lehnhart, E.V. (2015). **Planejamento da Expansão do Sistema de Distribuição Através da Simulação de Alternativas e Análise Multicritério**. Tese (Mestrado em Energia Elétrica) - Universidade Federal de Santa Maria, RS.
- Lima, L., Silva A., Jardim, J. e Jr. Z. (2018). **Avaliação da Criticidade Dinâmica de Subestações em Redes Elétricas Considerando Esquemas de Proteção de Sistemas**. Anais do XXII Congresso Brasileiro de Automática, João Pessoa, PB.
- Serrano, R.O.L. (1999). **O Setor Elétrico e Sua Inserção num Cenário Globalizado**. Monografia de Pós-Graduação - MBA Energia Elétrica, UFRJ, Rio de Janeiro, RJ.
- Vieira, M. S. (2016). **Avaliação de Desempenho em Instituições de Ensino Técnico com Apoio da Técnica de Similaridade Com Solução Ideal**. Tese (Mestrado Profissional em Sistemas de Gestão). Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.