



**Revisão Sistemática sobre Otimização de Redes: Algoritmos e
Aplicações do Problema da Árvore Geradora Mínima**

Adriele Assis de Andrade

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(adriele.assis@discente.univasf.edu.br)

Ana Paula Ribeiro Gama

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(ana.gama@discente.univasf.edu.br)

Caio Victor Carvalho de Souza

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(caio.vcsouza@discente.univasf.edu.br)

Guilherme Alves de Oliveira

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(guilherme.alves@discente.univasf.edu.br)

Fabiana Gomes dos Passos

Universidade Federal do Vale do São Francisco

(fabiana.passos@univasf.edu.br)

Resumo

A otimização de redes é um campo fundamental da Pesquisa Operacional, voltado à busca de soluções eficientes para o planejamento e a conectividade de sistemas que são interligados. Este estudo teve como objetivo analisar as principais contribuições



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

científicas relacionadas ao problema da Árvore Geradora Mínima (AGM), destacando seus algoritmos, aplicações e relevância prática. Por meio de uma revisão sistemática da literatura, foram examinados estudos que abordam métodos de resolução, comparações entre algoritmos de Prim e Kruskal como base para a solução do problema, além do crescimento de abordagens evolutivas que ampliam a eficiência em contextos complexos, como redes elétricas, telecomunicações e logística. Observou-se que a AGM se consolida como uma ferramenta estratégica para redução de custos e melhoria da eficiência operacional. Conclui-se que o aprofundamento em novas técnicas e a integração com métodos inteligentes representam caminhos promissores para o avanço das pesquisas em otimização de redes e para o desenvolvimento de soluções cada vez mais sustentáveis e aplicáveis ao ambiente real.

Palavras-chave: Árvore Geradora Mínima, Otimização de Redes, Algoritmo de Prim, Algoritmo de Kruskal.

Abstract

Network optimization is a fundamental field of operations Research, focused on finding efficient solutions for the planning and connectivity of interconnected systems. This study aimed to analyze the main scientific contributions related to the Minimum Spanning Tree (MST) problem, highlighting its algorithms, applications, and practical relevance. Through a systematic literature review, studies addressing resolution methods, comparisons between algorithms, and their applications in different fields were examined. The results revealed the widespread use of Prim and Kruskal's algorithms as a basis for solving the problem, in addition to the growth of evolutionary approaches that increase efficiency in complex context, such as power grids, telecommunications, and logistics. It was observed that MST is consolidating itself as a strategic tool for reducing costs and improving operational efficiency. The conclusion is that further exploration of new techniques and integration with intelligent methods represent promising paths for



advancing research in network optimization and for developing increasingly sustainable solutions applicable to real-world environments.

Keywords: Minimum Spanning Tree, Network Optimization, Prim Algorithm, Kruskal Algorithm.

Resumen

La optimización de redes es un campo fundamental de la Investigación de Operaciones, enfocada en la búsqueda de soluciones eficientes para la planificación y conectividad de sistemas interconectados. Este estudio tuvo como objetivo analizar las principales contribuciones científicas relacionadas con el problema del Árbol de Expansión Mínimo (MST), destacando sus algoritmos, aplicaciones y relevancia práctica. A través de una revisión sistemática de la literatura, se examinaron estudios que abordan métodos de resolución, comparaciones entre algoritmos y sus aplicaciones en diferentes campos. Los resultados revelaron el uso generalizado de los algoritmos de Prim y Kruskal como base para la resolución del problema, además del crecimiento de enfoques evolutivos que aumentan la eficiencia en contextos complejos, como redes eléctricas, telecomunicaciones y logística. Se observó que el MST se está consolidando como una herramienta estratégica para reducir costos y mejorar la eficiencia operativa. La conclusión es que una mayor exploración de nuevas técnicas y la integración con métodos inteligentes representan caminos prometedores para el avance de la investigación en optimización de redes y para el desarrollo de soluciones cada vez más sostenibles aplicables a entornos del mundo real.

Palabras clave: Árbol de expansión mínimo, Optimización de red, Algoritmo de Prim, Algoritmo de Kruskal.

1. INTRODUÇÃO

A otimização de redes é um área central da Pesquisa Operacional, com aplicações diretas em diversos setores, como logística, telecomunicação, energia, transporte e outros. Essa área estuda a melhor forma de projetar, configurar ou utilizar redes com o objetivo de minimizar custos, maximizar eficiência ou garantir cobertura e conectividade adequadas. Segundo Hillier e Lieberman (2010), a Pesquisa Operacional é usada para a resolução de questões de minimização ou maximização de recursos, o que reforça sua relevância em contextos onde redes complexas precisam ser analisadas e otimizadas. Entre os vários problemas existentes, destaca-se a árvore geradora mínima (AGM), que tem recebido atenção significativa da comunidade científica devido à sua ampla aplicabilidade e importância prática.

Nos últimos anos, o avanço das tecnologias computacionais e a crescente complexidade dos sistemas interligados têm impulsionado o desenvolvimento e a aplicação de algoritmos cada vez mais robustos para resolver problemas de otimização em redes. Segundo Goldbarg e Goldbarg (2012) e Hillier e Lieberman (2013), o problema da árvore geradora mínima está entre os mais estudados e aplicados. Para resolvê-lo, duas técnicas clássicas se destacam: os algoritmos de Prim e Kruskal, ambos eficientes e capazes de encontrar a solução ótima para determinado problema (REYNOSO, 2024).

Nesse contexto, torna-se fundamental realizar uma revisão sistemática da literatura sobre o tema, de modo a identificar as principais abordagens adotadas, estratégias algorítmicas e contextos de aplicação. Como destacado por Pereira Junior (2024), contribuir para o avanço do conhecimento científico neste domínio é essencial para preencher as lacunas de pesquisa existentes, desenvolver abordagens mais eficazes e estabelecer uma base teórica sólida que oriente futuros estudos. Essa sistematização é crucial, pois como observado por Cavalheiro (2023), tais pesquisas envolvem não apenas as caracterizações dos problemas, mas também a construção de diferentes estratégias, elementos vitais quando consideramos que a escolha do algoritmo impacta diretamente custos e desempenho operacional.

Diante disto, este trabalho tem por objetivo analisar os estudos já feitos acerca da árvore geradora mínima dentro da otimização de redes, abordando as contribuições mais relevantes, oferecendo uma visão atualizada do campo e incentivando para o desenvolvimento de novas pesquisas e soluções práticas. Como destacado por Simon *et al.* (2025), os resultados desta pesquisa irão fornecer uma contribuição significativa tanto para a sociedade quanto para a academia e/ou indústria, seja em termos de complexidade, facilidade de implementação ou aplicabilidade, oferecendo subsídios valiosos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos Fundamentais de Otimização de Redes

No contexto da Pesquisa Operacional e da Engenharia de Sistemas, a busca por soluções eficientes em estruturas interconectadas tem se mostrado cada vez mais relevantes. Redes compostas por rotas de transporte, fluxos informação e/ou sistemas logísticos exigem métodos que possibilitem a melhoria contínua de seu desempenho. Nesse sentido, a otimização em redes configura-se como uma abordagem específica da programação linear que oferece uma ferramenta poderosa para representar e analisar as relações entre os diversos componentes de um sistema.

Da mesma perspectiva, Oliveira *et al.* (2021) reforça a importância do domínio teórico e computacional sobre os problemas de otimização em redes, destacando que é por meio desse conhecimento que se torna possível resolver situações reais de grande escala, essa aplicabilidade evidencia a importância de um campo estratégico dentro da programação matemática. Entre os elementos fundamentais dessas estruturas, destacam-se os arcos, responsáveis por conectar pares de nós dentro da rede, ou seja, esses arcos são identificados a partir da nomeação dos nós em suas extremidades e podem conter fluxos associados, representando a quantidade de recursos, mercadorias ou informações que transitam entre os pontos.

Os mesmos autores explicam também que a estrutura de grafos, compostas por vértices e arestas, também denominada de arcos, permite representar as conexões em diferentes

pontos de uma rede, podendo estas conexões ser orientadas ou não. Tal representação facilita a modelagem de sistemas logísticos e de transporte, contribuindo significativamente para a identificação de rotas mais eficientes e para a minimização de custos operacionais associados ao deslocamento entre os nós.

2.2 Conceitos Fundamentais de Otimização de Redes

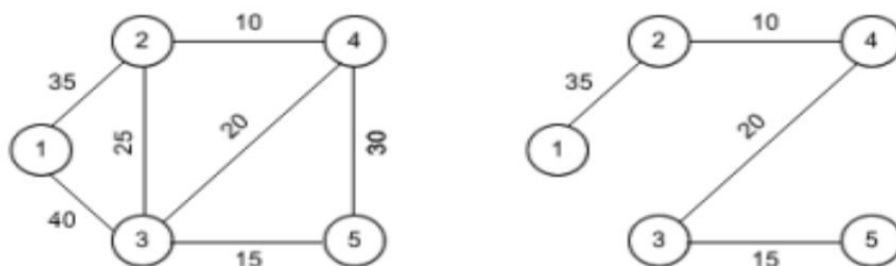
O conceito de Árvore Geradora Mínima (AGM), conforme descrito por Souza (2024), está relacionado à construção de uma rede de conexões com o menor custo total possível. Nesse contexto, o algoritmo de Prim é uma das abordagens mais utilizadas, iniciando com um vértice qualquer e, a cada iteração, selecionando a aresta de menor peso que conecta um vértice já incluído na árvore a outro ainda não pertencente a ela. Dessa forma, a expansão da árvore ocorre de maneira otimizada, sempre com base nos menores custos disponíveis. Uma aplicação prática desse conceito é o planejamento de estradas pavimentadas que interligam cidades rurais, considerando inclusive trajetos com passagens intermediárias, no qual o objetivo é minimizar distâncias de maneira eficiente e econômica.

Conforme explica Garcia (2022), o problema da árvore geradora mínima pode ser modelado por um grafo não direcionado $G:(N, A)$, onde cada aresta $(u, v) \in A$ possui um custo associado $c(u,v)$. O objetivo é encontrar um subconjunto de arestas $T \subseteq A$ que conecte todos os nós de G sem formar ciclos, de forma que a soma total dos custos das arestas pertencentes a T seja mínima, conforme expresso pela equação:

$$c(T) = \sum c(u,v) \quad (1)$$

Na Figura 1 apresenta um exemplo de gráfico junto com sua respectiva árvore geradora mínima, para melhor atendimento.

Figura 1- Exemplo de aplicação da árvore geradora mínima em um grafo



Fonte: Garcia (2022)

O algoritmo da árvore geradora mínima é classificado do tipo guloso, pois essa abordagem consiste em, a cada etapa, selecionar a opção que aparenta ser melhor naquele momento, ou seja, a escolha considerada localmente ótima. A expectativa é que, ao seguir sucessivas decisões locais ótimas, seja possível alcançar uma solução globalmente ótima, embora essa estratégia nem sempre garante a melhor solução para todos os problemas, os algoritmos gulosos geralmente demonstram ser eficientes nas aplicações (GARCIA, 2022).

2.3 Conceitos Fundamentais de Otimização de Redes

O algoritmo de Prim adota uma estratégia gulosa, operando de forma iterativa ao conectar, em cada etapa, um vértice isolado a outro já pertencente à árvore em construção, sem considerar o panorama global da rede. Ao final do processo, obtém-se uma árvore geradora acíclica que conecta todos os vértices do grafo original, buscando maximizar a eficiência conforme os pesos das arestas (PEREIRA JUNIOR, 2024).

De Oliveira *et al.* (2021) explicam que, por meio do algoritmo de Prim, é possível encontrar uma árvore geradora mínima de um grafo, desde que este seja valorado e não direcionado. O algoritmo baseia-se na conexão progressiva dos nós da rede, selecionando, a cada iteração, o nó mais próximo que compõe a árvore mínima. Para aplicação desse método, os autores descrevem as seguintes etapas:

1. Seleciona-se um vértice qualquer para iniciar um conjunto do grafo. O algoritmo tem início com a escolha da aresta conectada a esse vértice inicial.

2. A partir dessa primeira conexão, deve-se escolher, entre as arestas ligadas a vértices já pertencentes à árvore em formação, aquela que possui o menor valor, sempre evitando a criação de ciclos.
3. O algoritmo é concluído com a inclusão do último vértice à árvore, lembrando que, para um grafo com N vértices, o número total de arestas na árvore geradora mínima será $N-1$.

2.4 Conceitos Fundamentais de Otimização de Redes

O algoritmo de Kruskal consiste na construção de uma árvore, selecionando-se os arcos com base em menor peso, adicionando-os em ordem crescente de atributos, de forma a evitar a formação de ciclos com os arcos já escolhidos. O critério de parada do algoritmo ocorre quando a árvore tem $N-1$ arcos conectados, onde N representa o número de nós de grafo. Desta forma, o algoritmo tem como característica inicial a formação de uma floresta geradora, composta por várias árvores isoladas. Conforme explica Garcia (2022) cada vértice é tratado, no início, como uma árvore independente, e o algoritmo vai unindo essas árvores progressivamente até que todas estejam conectadas em uma única árvore geradora mínima.

Partindo da mesma linha de raciocínio, Oliveira *et al.* (2021) reforçam que o algoritmo de Kruskal segue uma sequência estruturada de etapas, permitindo a construção eficiente da árvore geradora mínima a partir da seleção ordenada das arestas de menor peso. O procedimento consiste em:

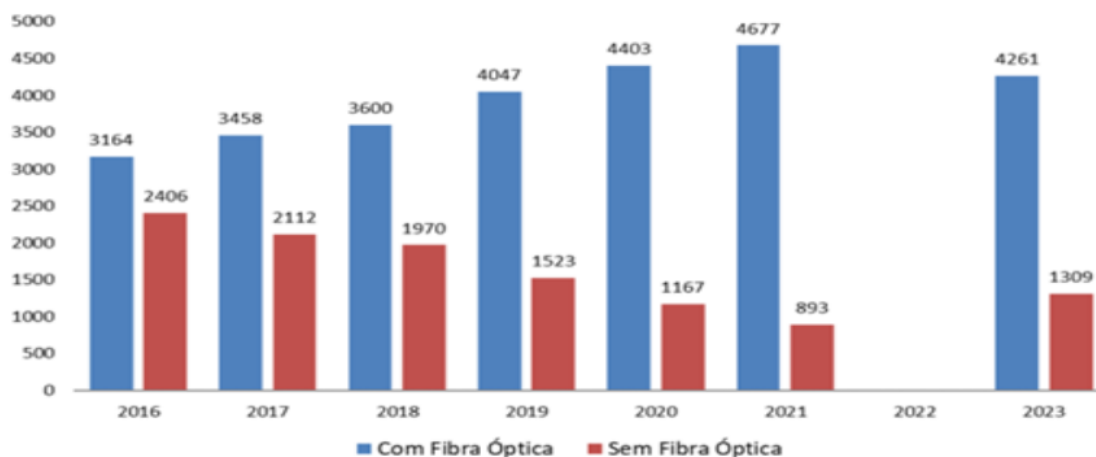
1. Ordenar todas as arestas do grafo em ordem crescente de peso.
2. Estabelecer que o número de arestas na árvore geradora mínima será igual a $N-1$, onde N representa o número de vértices do grafo.
3. Selecionar iterativamente as arestas de menor peso, assegurando que a inclusão de cada nova aresta não forme ciclos, até que se atinja o número necessário de conexões.

2.5 Conceitos Fundamentais de Otimização de Redes

A roteirização de veículos tem ganhado destaque na logística por permitir melhorias no tempo, custo e qualidade dos serviços de transporte. Para analisar um roteiro, é essencial conhecer a origem, o destino, os pontos de entrega, o tempo de operação e a capacidade de frota. Esses fatores impactam diretamente no custo, pois um bom planejamento de todas contribui para reduzir atrasos, otimizar recursos e elevar o nível de atendimento ao cliente. De acordo com estudo de Oliveira *et al.* (2021), a elaboração de uma roteirização eficiente requer a consideração de diversas variáveis, como localização geográfica dos destinatários, o trajeto percorrido por cada veículo, o tempo estimado para as entregas e o ponto de partida, ou seja, a integração entre a roteirização de rotas e a teoria da árvore geradora mínima constitui um pilar fundamental para a otimização dos processos logísticos, promovendo a redução de custos operacionais e aumentando a satisfação dos clientes.

Além do setor logístico, na área de telecomunicações, por exemplo, a Árvore Geradora Mínima (AGM) é empregada para o planejamento e expansão de redes de fibra óptica, como demonstrado no estudo de Padua e Senne (2023), que utilizou algoritmos exatos e heurísticos para propor soluções de interligação eficiente entre municípios brasileiros. A AGM permitiu identificar rotas de menor custo para conectar localidades ainda não atendidas, otimizando o uso de infraestruturas e reduzindo os investimentos necessários. No estudo em questão, conforme é ilustrado na Figura 2, foi identificado grandes lacunas de conectividade do país, com 1.309 municípios sem acesso à internet por meio de fibra óptica. Essa realidade reforça a importância de soluções que considerem o custo-benefício na interligação dessas regiões.

Figura 2 – Presença de fibra nos municípios



Fonte: Anatel apud Padua e Senne (2023).

Através desse levantamento, os autores construíram uma matriz com as distâncias geodésicas entre todos os 5.570 municípios, utilizando dados públicos do IBGE, Anatel e IPEA. E a partir disso, dois métodos foram empregados: um algoritmo exato que foi resolvido no AMPL com solver Gurobi, e um algoritmo heurístico que foi implementado no RStudio.

Conforme é apresentado na Figura 3, o algoritmo heurístico indicou que seriam necessários 19.460,80 km de fibra óptica para interligar todos os municípios brasileiros, sem considerar se já possuíam infraestrutura ou não.

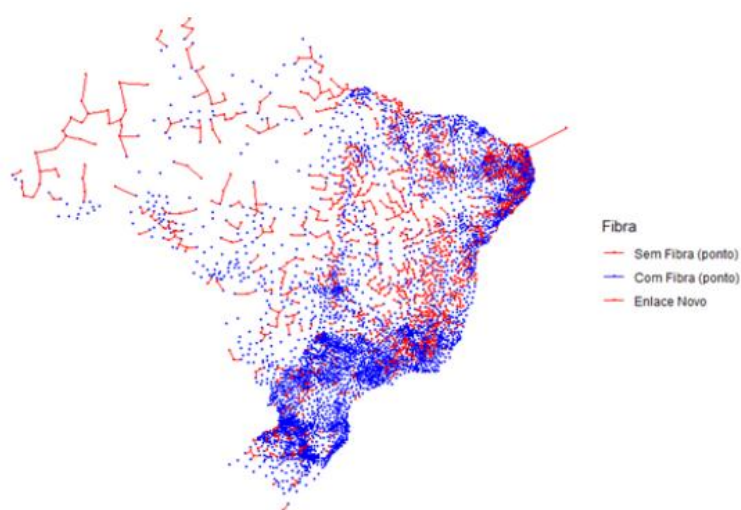
Figura 3 – Menor rota de fibra para conectar todos os municípios do Brasil



Fonte: Padua e Senne (2023)

No entanto, a Figura 4, considera os 1.309 municípios que não possuem conexão por fibra óptica, conforme dados da Anatel. Com isso, foi preciso calcular uma malha com apenas 53.809,57 km conectando esses municípios existentes.

Figura 4 – Menor rota para conectar os municípios sem fibra do Brasil



Fonte: Padua e Senne (2023)

Em suma, ambos os algoritmos testados apresentaram a mesma precisão nos casos viáveis, com destaque para o algoritmo de Prim, que teve desempenho superior em tempo de execução. Enquanto o algoritmo exato não suportou grandes volumes de dados, o heurístico foi capaz de processar todo o Brasil, no qual a solução ótima indicou 19.460,80 km de fibra para interligar todos os municípios e 53.809,57 km para conectar apenas os que ainda não possuíam acesso. Assim, os modelos se mostram eficazes para otimizar investimentos e orientar políticas públicas no setor de telecomunicações.

3. MÉTODO

3.1 Critérios de Seleção dos Artigos

Para garantir a relevância e a atualidade da pesquisa sobre os algoritmos e aplicações do problema da árvore geradora mínima na otimização de redes, os critérios de seleção dos artigos foram estabelecidos com o objetivo de refinar o processo de busca e análise:

- Artigos publicados entre 2020 e 2025. Este período foi escolhido para assegurar que as informações sejam atuais e reflitam as práticas e tendências recentes no campo da otimização de redes com foco na árvore geradora mínima;
- Estudos que abordam explicitamente o problema da árvore geradora mínima. Somente artigos que discutem a aplicação, desenvolvimento ou comparação de algoritmos voltados à resolução desse problema que foram considerados;
- Foram incluídos diferentes tipos de trabalhos acadêmicos: artigos científicos, trabalhos de conclusão de curso e dissertações, desde que disponíveis em plataformas confiáveis como o Google Acadêmico e com conteúdo relevante para a temática da pesquisa;
- Não foi exigido que todos os estudos fossem publicados em periódicos revisados, porém buscou-se garantir a qualidade e consistência técnica por meio da leitura crítica do conteúdo, na clareza da metodologia empregada e na pertinência dos resultados apresentados.

3.2 Base de Dados Utilizada

A pesquisa foi conduzida na seguinte base de dados acadêmica, escolhida por sua abrangência e qualidade:

- Google acadêmico, sendo uma ferramenta de busca que indexa literatura acadêmica em várias disciplinas, incluindo artigos, teses, livros e resumos de conferências;

3.3 Processo de análise e síntese dos artigos selecionados

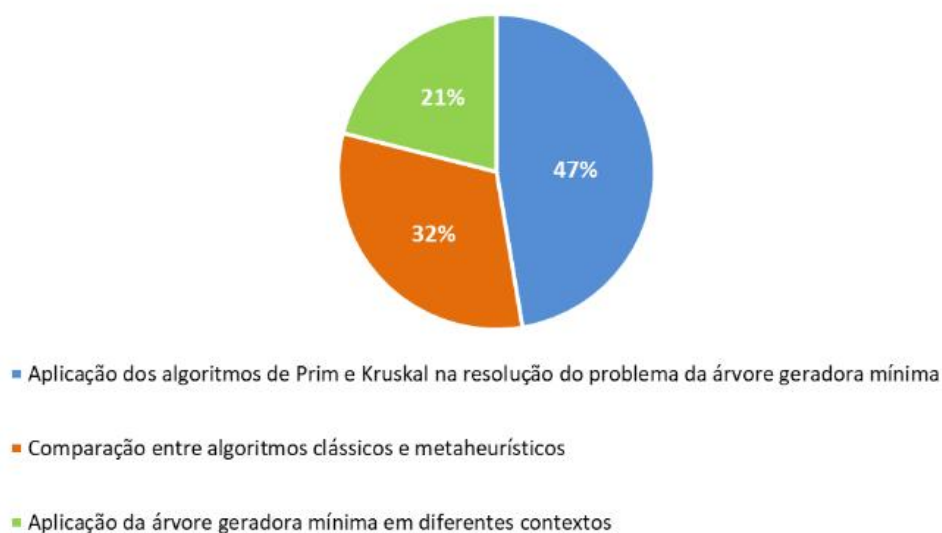
- Metodologia: Realização de buscas utilizando palavras-chave como “árvore geradora mínima”, “algoritmo de Prim”, “algoritmo de Kruskal” e “otimização de redes”. Aplicação de filtros para restringir os resultados aos artigos publicados nos últimos 5 anos;
- Leitura completa: Leitura integral dos artigos selecionados para uma avaliação detalhada;
- Análise crítica: Análise da metodologia, resultados e conclusões dos estudos para identificar as abordagens utilizadas, os algoritmos aplicados os contextos em que foram empregados;
- Comparação e integração: Comparação e síntese dos dados extraídos para identificar padrões, temas recorrentes e insights significativos;
- Exemplos concretos: Destaque de exemplos concretos das aplicações observadas, como otimização de redes elétricas, telecomunicações e sistemas logísticos com uso de AGM.
- Integração com a literatura: Integração dos resultados da análise com a revisão da literatura existente para fornecer uma visão abrangente da AGM na otimização de redes;
- Implicações práticas: Discussão das implicações práticas para o campo da Pesquisa Operacional e sugestões de direções futuras para pesquisa.

4. RESULTADOS

Foram selecionados 19 artigos, divididos da seguinte maneira: 9 artigos que abordaram diretamente a aplicação dos algoritmos de Prim e Kruskal na resolução do problema da árvore geradora mínima, com destaque para estudos que exploraram implementações computacionais e testes práticos; 6 artigos focaram na comparação entre algoritmos clássicos e metaheurísticos, incluindo propostas de melhoria baseadas em inteligência artificial e algoritmos evolutivos; por fim, 4 artigos trataram de aplicações da árvore geradora mínima em diferentes contextos, como redes elétricas, telecomunicações e projetos de infraestrutura. O gráfico abaixo demonstra a composição dos artigos selecionados.

Figura 5 – Composição dos Artigos sobre Árvore Geradora Mínima na Otimização de Redes

TEMAS ABORDADOS PELOS ARTIGOS



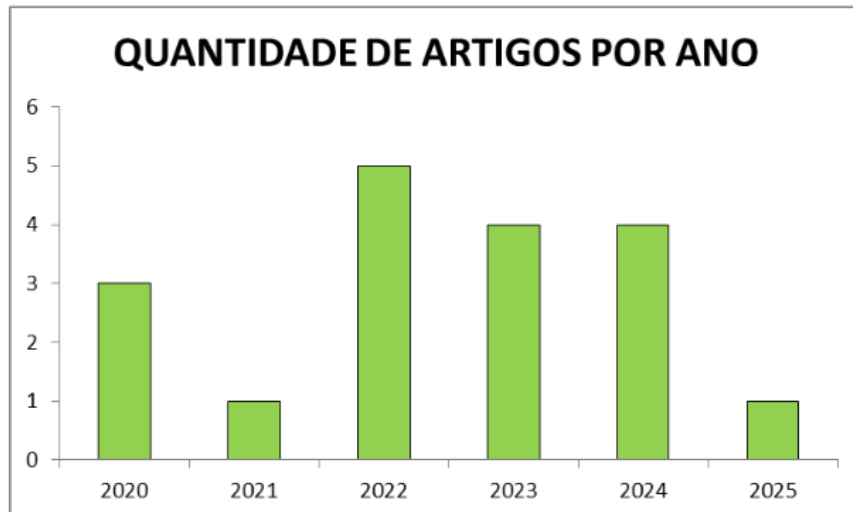
Fonte – Elaboração dos Autores (2025)

Verifica-se uma escassez de trabalhos voltados ao aprofundamento da AGM em contextos não convencionais, como aqueles que envolvem múltiplos critérios de otimização ou estruturas de rede híbridas, apontando para uma direção promissora de

pesquisa. Por outro lado, a comparação entre algoritmos é um tema recorrente, impulsionado pela necessidade de escolher soluções mais eficientes e adequadas aos diferentes tipos de redes. As aplicações práticas, embora ainda em menor número, vêm ganhando espaço devido à relevância de se validar os algoritmos em situações reais.

Para garantir a atualidade e relevância dos estudos analisados, foi adotado o recorte temporal entre 2020 e 2025, permitindo uma visão consolidada das principais contribuições recentes sobre a aplicação da árvore geradora mínima na otimização de redes. Dentre os 19 artigos analisados, 5 foram publicados a partir de 2021, o que reforça a credibilidade e atualidade da base selecionada. Ao dividir os artigos por temática e ano de publicação, foi possível observar que os estudos voltados à implementação prática e ao uso de técnicas modernas de otimização se concentram nos últimos três anos.

Figura 6 – Ano de publicação dos artigos



Fonte – Elaboração dos Autores (2025)

Por fim, é importante destacar que os quatro artigos mais antigos da amostra concentram-se principalmente na fundamentação teórica dos algoritmos clássicos, especialmente os de Prim e Kruskal, servindo como base conceitual para trabalhos mais recentes. Já os estudos mais atuais exploram a integração desses algoritmos com abordagens inovadoras,

como os algoritmos evolutivos, evidenciando a constante evolução da área da otimização de redes com foco na árvore geradora mínima.

5. DISCUSSÕES

Os resultados evidenciam a contínua relevância do problema da árvore geradora mínima (AGM) na Pesquisa Operacional, com destaque para a predominância dos algoritmos de Prim e Kruskal tanto em estudos teóricos quanto aplicados. Essa preferência pode ser atribuída à sua eficiência, simplicidade de implementação e ampla disponibilidade em ferramentas computacionais.

No entanto, nota-se uma tendência crescente na incorporação de metaheurísticas e algoritmos evolutivos, especialmente em contextos que exigem maior escalabilidade ou lidam com múltiplos critérios de otimização. Essa evolução reflete a necessidade de apartar soluções clássicas a problemas modernos, mais complexos e de maior porte.

Apesar dos avanços, persiste uma lacuna significativa no que se refere à aplicação da AGM em redes híbridas ou multicritério, bem como na integração com sistemas inteligentes e em larga escala. A escassez de estudos nesses contextos sugere uma oportunidade promissora para pesquisas futuras, que possam ampliar o escopo de aplicação da AGM além dos domínios tradicionais.

Além disso, a comparação entre algoritmos clássicos e heurísticos, como observado no estudo de Padua e Senne (2023), reforça a importância de selecionar a abordagem adequada conforme o contexto e os recursos disponíveis, equilibrando entre precisão, tempo de execução e capacidade de processamento.

Os resultados não apenas validam a AGM como uma ferramenta estratégica em diversos setores, mas também sinalizam a necessidade de contínuo desenvolvimento e adaptação dos métodos de otimização para enfrentar os desafios que são emergentes em redes complexas.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A revisão sistemática realizada neste estudo permitiu reunir, analisar e organizar as principais contribuições recentes sobre a otimização de redes com foco no problema da árvore geradora mínima (AGM), abordando algoritmos, aplicações práticas e tendências metodológicas. Por meio da análise de 19 artigos publicados entre 2020 e 2025, foi possível identificar a predominância do uso dos algoritmos Prim e Kruskal, tanto em ambientes teóricos quanto aplicados, além da incorporação de técnicas evolutivas que buscam ampliar a eficiência desses métodos em contextos mais complexos.

Os resultados evidenciam que a AGM continua sendo um problema relevante e amplamente pesquisado na área da Pesquisa Operacional, especialmente devido à sua aplicabilidade em diversos setores. As comparações entre algoritmos demonstram uma busca constante por soluções mais rápidas, escaláveis e adaptáveis às necessidades reais, destacando o potencial da combinação entre abordagens clássicas e modernas.

Apesar do avanço observado, ainda há espaço para aprofundamentos, principalmente no que se refere à aplicação da AGM em redes com múltiplos critérios de decisão, à modelagem em larga escala e à integração com sistemas inteligentes. Assim, os achados deste trabalho servem como base para futuras investigações e contribuem para o fortalecimento do conhecimento técnico e prático sobre o tema, além de reforçar a importância da AGM como ferramenta estratégica na otimização de sistemas interligados.

REFERÊNCIAS



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

AL KAJAJI, Safa Mohamed Hadi; SHIKER, Mushtak A. K. Optimizing the minimum spanning tree (MST) and its relationship with the minimum cut. **Revista internacional de ciências da saúde**, v. 6, n. S6, p. 9347-9360, 2022.

AYEGBA, Peace *et al.* A comparative study of minimal spanning tree algorithms. In: **2020 International Conference in Mathematics, Computer Engineering and Computer Science (ICMCECS)**. IEEE, 2020. p. 1-4.

BOSSEK, Jakob; GRIMME, Christian. Generalised Kruskal Mutation for the Multi-Objective Minimum Spanning Tree Problem. In: **Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference**. 2024. p. 133-141.

CAVALHEIRO, Ellen Marianne Bernal. Otimização da Operação de Sistemas Modernos de Distribuição de Energia Elétrica. 2023.

CHEN, Jiayu. The analysis and application of Prim algorithm, Kruskal algorithm, Boruvka algorithm. In: **Proceedings of the 5th International Conference on Computing and Data Science**, v. 19, p. 84-89, 2023.

DE OLIVEIRA, Clarissa Maria Rodrigues *et al.* **Desenvolvimento de uma árvore mínima geradora por meio de algoritmos de simulação**. 2021.

GARCIA, Danielle Rangel. **EasyGrafos 2.0: Desenvolvimento de módulo adicional para resolução da árvore geradora mínima na versão de Prim**. 2022.

Goldbarg, M. C., Goldbarg, E. (2012). Grafos : conceitos, algoritmos e aplicações. Elsevier. Hillier, F. S., Lieberman, G. J. (2013). Introdução à pesquisa operacional (9th ed.). AMGH.

HILLIER, F. S., LIEBERMAN, G. J. Introdução à Pesquisa Operacional. (2010). 8ª edição, Porto Alegre: AMGH. **Editora Bookman**.

HERNANDES, Fabio; FRIGHETTO, Lucas Fernando; MULATI, Mauro Henrique. **O uso da dominância no problema da árvore geradora mínima com parâmetros fuzzy**. 2022.

ITCZAK, Alex. **Otimização do cabeamento interconector de aerogeradores em parques eólicos Onshore**. 2020.

MARODIN, Rafael Conte; DE FREITAS, Ricardo Luiz Barros. **Aplicação de algoritmo Prim com Multi-Start e busca local para minimização de perdas de sistemas de distribuição**. 2020.

NILUMINDA, Kankanam Pathiranage Oshan; EKANAYAKE, Ekanayake M. U. S. Bandara. An approach for solving minimum spanning tree problem using a modified



Anais do Simpósio Acadêmico de Engenharia de Produção (SAEPRO) da EEL-USP

IX SAEPRO – 25 e 26 de novembro de 2025

Ant colony optimization algorithm. **American Journal of Applied Mathematics**, v. 10, n. 6, p. 223-235, 2022.

NILUMINDA, Kankanam Pathiranage Oshan; EKANAYAKE, Ekanayake M. U. S. Bandara. **Innovative Matrix Algorithm to Address the Minimal Cost-Spanning Tree Problem**. J Electrical Electron Light , v. 1, n. 1, pág. 148–153, 2023.

PADUA, Fausto Luiz Jorge; SENNE, Edson Luiz França. **Estudo da Cobertura da Rede de Fibra Óptica nos Municípios Brasileiros sob a luz de Algoritmos Exato e Heurístico**. 2023.

PEREIRA JÚNIOR, Wilson Garcia. **Otimização do fluxo de potência utilizando algoritmo Prim e Genético**. 2024.

PORTO, Rodrigo Celso de Lima *et al.* **Estudo de Árvore Geradora Mínima com uma modelagem do Algoritmo de Prim em VBA**. 2022.

REDDY, Upender Ganga *et al.* Minimal Spanning tree Algorithms wrt Bipolar Neutrosophic Graphs. **London Journals Press**, 2020.

REYNOSO, César Augusto Romero. **Estratégia de verificação de radialidade em subgrafos para a otimização de sistemas de distribuição de energia elétrica**. 2024.

SIMON, Matheus Raffael *et al.* Comparação do desempenho dos algoritmos de Prim e Kruskal em conjuntos de dados de tamanhos variados e análise de sua complexidade assintótica. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 4, p. e14291-e14291, 2025.

SOUZA, Luís Eduardo Bino. **Análise utilizando teoria de redes complexas aplicada aos microdados do ENEM**. 2024.