57º SBPO
SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA OPERACIONAL
Gramado • RS
DE 5 A 9 DE OUTUBRO DE 2025

PROBLEMAS DE LOCALIZAÇÃO-ROTEAMENTO EM APLICAÇÕES MILITARES E DE DEFESA: UMA ABORDAGEM BIBLIOMÉTRICA

Lívia de Souza Ribeiro
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) /
Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)
Av. Athos da Silveira Ramos 149, Cidade Universitária, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro – RJ /
Praça Barão de Ladário, s/n°, Ilha das Cobras, Rua da Ponte, Ed. 23, Centro, Rio de Janeiro– RJ
liribeiro.86@gmail.com

Gabriel Custódio Rangel
Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)
Praça Barão de Ladário, s/n°, Ilha das Cobras, Rua da Ponte, Ed. 23, Centro, Rio de Janeiro– RJ
gabrielcrk@hotmail.com

Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros Teixeira
Centro de Análises de Sistemas Navais (CASNAV)
Praça Barão de Ladário, s/n°, Ilha das Cobras, Rua da Ponte, Ed. 23, Centro, Rio de Janeiro– RJ
frederico.horacio@gmail.com

Miguel Ângelo Lellis Moreira
Universidade Federal Fluminense (UFF)
Rua Passo da Pátria, 156, Boa Viagem, Niterói – RJ
miguellellis@hotmail.com

RESUMO

O estudo apresenta uma análise bibliométrica sobre os problemas de localização-roteamento (LRP) aplicados à área militar e de defesa, com o objetivo de identificar a evolução da produção científica, os principais temas abordados e as contribuições mais relevantes no campo. A partir de uma pesquisa na base Scopus, foram analisados 440 documentos, considerando aspectos como produção científica ao longo do tempo, países mais produtivos, autores influentes, colaboração científica e palavras-chave mais frequentes. Os resultados destacam a importância do LRP em aplicações que visam segurança, eficiência energética e resiliência de redes de comunicação.

PALAVRAS CHAVE. Localização-Roteamento, Militar, Bibliometria.
Tópicos: PO em Defesa e Poder Marítimo; PO em Defesa e Segurança.

ABSTRACT

The study presents a bibliometric analysis of location-routing problems (LRP) applied to the military and defense fields, to identify the evolution of scientific production, the main topics addressed, and the most relevant contributions in the field. Based on a search in the Scopus database, 440 documents were analyzed, considering aspects such as scientific production over time, the most productive countries, influential authors, scientific collaboration, and the most frequent keywords. The results highlight the importance of LRP in applications aimed at security, energy efficiency, and the resilience of communication networks.

KEYWORDS. Location-Routing, Military, Bibliometrics.
Paper Topics: OR in Defense and Maritime Power; OR in Defense and Security.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

1. Introdução

A Pesquisa Operacional (PO) é um campo abrangente e multidisciplinar, que comumente faz uso de ferramentas da matemática, estatística e probabilidade para a solução de problemas reais do cotidiano [TEIXEIRA, 2020].

Nos últimos anos, os problemas de localização e roteamento (Location-Routing Problems - LRP) têm se destacado na pesquisa operacional, integrando decisões sobre localização de instalações e planejamento de rotas para otimização logística. Essa abordagem integrada se torna ainda mais relevante em contextos que exigem alto nível de coordenação e adaptabilidade, como as operações militares. [HASSANZADEH et al., 2009]

No campo militar, o LRP desempenha um papel crítico no suporte a decisões logísticas estratégicas e operacionais, envolvendo desde o posicionamento de bases até a distribuição de recursos para tropas em cenários de conflito ou missões humanitárias. Por exemplo, em situações de guerra ou desastres naturais, o sucesso de uma operação pode depender diretamente da eficiência com que suprimentos críticos são entregues a áreas de difícil acesso.

2. Objetivo

Este estudo realiza uma análise bibliométrica dos LRP aplicados à área militar, investigando sua evolução, temas abordados e métodos empregados.

Para atingir este objetivo, o estudo será conduzido com base em análises descritivas, de rede e de conteúdo, para responder as perguntas de pesquisa (PP) segundo classificação a seguir:

1. Evolução da Produção Científica:

PP 1.1: Como a produção científica relacionada ao LRP na área militar evoluiu ao longo do tempo?

PP 1.2: Quais são os países mais produtivos na pesquisa de LRP aplicada à área militar?

PP 1.3: Quais são os autores e trabalhos mais influentes na produção científica sobre LRP na área militar?

PP 1.4: Como é a colaboração científica entre países neste campo?

2. Temas e Tópicos Abordados

PP 2.1: Quais são os principais temas explorados nos estudos sobre LRP na área militar?

PP 2.2: Quais são os problemas e cenários específicos que têm sido tratados nas aplicações de LRP em contextos militares?

3. Referencial Teórico

3.1 O Problema de Localização-Roteamento

O LRP envolve escolher locais para instalações logísticas e definir rotas de entrega a clientes por meio de veículos que atendem múltiplos destinos [HASSANZADEH et al., 2009]. O objetivo é minimizar custos de instalação e transporte, integrando dimensões espacial e operacional [MIN; JAYARAMAN; SRIVASTAVA, 1998].

A escolha de locais estratégicos e o planejamento das rotas são essenciais para a eficiência logística. O objetivo principal do LRP é otimizar essas decisões de forma conjunta, considerando tanto os custos associados à localização das instalações quanto aqueles relacionados ao transporte e às rotas dos veículos. Além disso, o problema busca integrar de maneira eficiente as dimensões espacial e operacional da logística, garantindo a minimização de custos totais e a melhoria na qualidade do serviço prestado. [MIN; JAYARAMAN; SRIVASTAVA, 1998; NAGY; SALHI, 2007]

Segundo [Nagy e Salhi, 2007], o LRP é uma combinação de dois problemas complexos: o de localização e o de roteamento de veículos, ambos classificados como NP-difíceis, ou seja, não se conhece algoritmo que resolva todos os casos de forma exata em tempo polinomial. Resolver o LRP exige métodos robustos, muitas vezes baseados em heurísticas ou metaheurísticas, devido à alta complexidade computacional.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

O LRP tem aplicação em áreas como logística de emergências, gestão de resíduos, saúde, logística urbana e defesa. Em saúde, por exemplo, ele otimiza a distribuição de vacinas; na logística verde, visa reduzir emissões de CO_2 [MARA et al., 2021].

3.2 Classificação e Taxonomia de LRP

Os LRP apresentam diversas variações em sua aplicação, assim como as variações presentes nos problemas tradicionais de localização e roteamento. Neste sentido, diversos formatos de classificação são apresentados na literatura como os presentes nos estudos de [Min et al. 1998], [Nagy e Salhi 2007], [Lopes et al. 2013] e [Mara et al. 2021]. Dentre os quais, os seguintes critérios podem ser observados:

- Tipo de dados: determinístico ou estocástico. No modelo estocástico tem-se variáveis de entrada podendo assumir uma forma de distribuição de probabilidade. (geralmente relacionado a natureza da demanda). Alguns trabalhos, como o de [Fazayeli et al. 2018] utilizam a abordagem fuzzy para representar a incerteza nos dados.
- Horizonte de planejamento: estático ou dinâmico. A exemplo de problemas em que inclusão de novas instalações podem ocorrer de acordo com o aumento da demanda ao longo do tempo;
- Quantidade de instalações de distribuição: única ou múltiplas;
- Quantidade de veículos: único ou múltiplos;
- Tipo de frota: homogênea ou heterogênea;
- Capacidade das instalações: capacidade limitada ou ilimitada;
- Capacidade dos veículos: capacidade limitada ou ilimitada;
- Camadas de instalações: primárias e secundárias. Como exemplo de problema logístico com múltiplas camadas de instalações tem-se: uma camada primária para representar o fabricante (s), a camada secundária para os depósitos ou centros de distribuição e os usuários sendo os elos finais (varejistas);
- Estrutura de janelas de tempo: não considerado, rígida ou flexível. Nos problemas com janelas de tempo com restrições rígidas, os serviços podem ser realizados apenas dentro das janelas temporais estabelecidas. Quando as restrições são flexíveis, permite-se a realização de serviços fora da janela de tempo estabelecida mediante uma penalidade;
- Tipo de objetivo: único ou múltiplo. O objetivo de custo (localização, instalação, transporte ou total) é o mais comum. Como exemplo de problema com múltiplos objetivos tem-se o trabalho de [Govindan et al. 2022] referente a gestão de resíduos hospitalares em que são abordados duas funções objetivos: uma de minimização de custo totais e outra de minimização de riscos para a comunidade local; e
- Método de solução: métodos exatos que incluem algoritmos baseados em programação matemática, como branch-and-bound e branch-and-price, que garantem soluções ótimas. Ou pela utilização de heurísticas ou meta-heurísticas. Dado a caracterização do problema com NP-difícil, os métodos exatos são aplicados aos problemas mais simples e quando o número de parâmetros associados não é elevado. Conforme abordado por [Nagy e Salhi 2007], a resolução sequencial de um problema de localização-roteamento por métodos exatos de localização e roteamento, não é considerado um método exato. O resultado obtido pela aplicação de métodos exatos de forma sequencial não será ótimo, mas pode ser utilizado como parâmetro de referência, funcionando com um método heurístico.

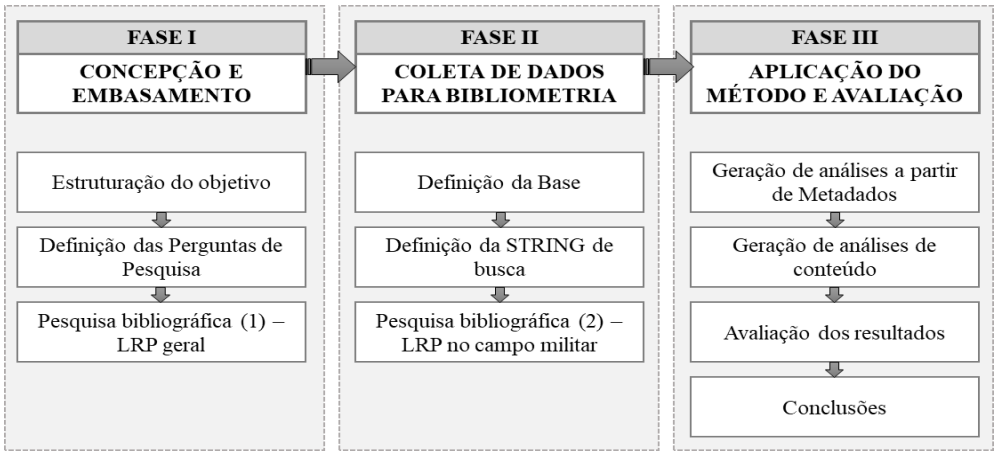
Diversos outros critérios podem ser considerados para formular uma classificação nos problemas de localização e roteamento.

4. Materiais e Métodos

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

Este estudo, de natureza exploratória e descritiva, utiliza a bibliometria para mapear padrões, tendências e conexões na produção científica sobre LRP na área militar. Ao contrário das revisões tradicionais focadas em temas específicos, a bibliometria permite analisar grandes volumes de dados, revelando relações entre autores, instituições e tópicos, além de gerar representações visuais úteis na identificação de colaborações e lacunas do campo [ZUPIC; ČATER, 2015]. A Figura 1 apresenta as três etapas adotadas neste estudo:

Figura 1: Etapas de Pesquisa



Fonte: Os autores

Na fase 1, foi realizada uma busca inicial na base Scopus sobre problemas de localização-roteamento e estudos bibliométricos, separadamente, com o intuito de construir o referencial teórico e fundamentar o objetivo do estudo. Essa etapa ocorreu entre 28/11/2024 e 03/12/2024.

Na fase 2, teve início a extração e tratamento dos dados bibliométricos. A base Scopus foi escolhida por sua ampla cobertura e pela qualidade dos metadados, evitando inconsistências que podem surgir com o uso combinado de múltiplas bases. [VISSER et al., 2019; MESQUITA et al., 2022]

A string de busca utilizada, conforme apresentada na Tabela 1, combinada com filtros para artigos de periódicos e conferências, resultou em 440 documentos. A busca foi realizada em 02/12/2024.

Tabela 1: String de Busca

Campo de Busca	Termos de Busca	Operador Booleano
TITLE-ABS-KEY	*"location-routing"*	OR
TITLE-ABS-KEY	*"location"* AND *"routing"*	AND
TITLE-ABS-KEY	*"military"* OR "*armed forces"* OR *"defense"* OR *"air force"* OR *"navy"* OR *"army"*	-

Fonte: Os autores

Na fase 3 foram geradas as análises descritivas e de rede com o apoio de softwares como o VOSviewer e o pacote Bibliometrix do Software R-Studio. Na sequência, serão apresentadas as considerações finais.

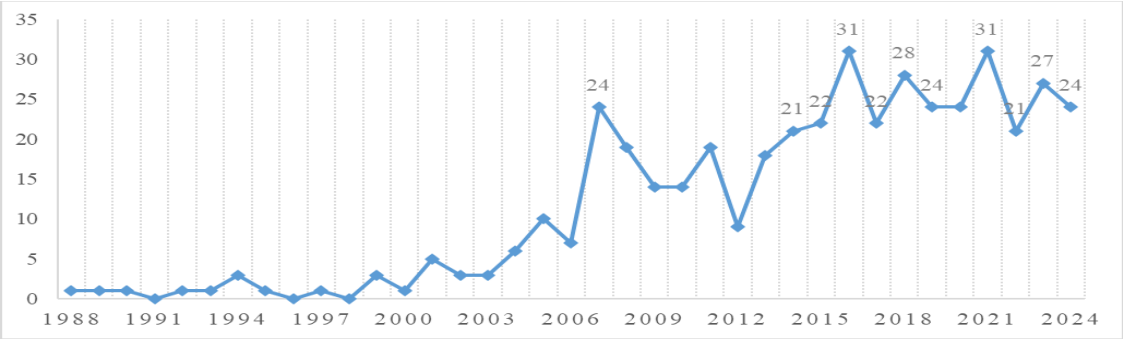
5. Aplicação e Análise de Resultados

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

Com o objetivo de responder à pergunta de pesquisa PP1.1 (Como a produção científica relacionada ao problema de localização e roteamento (LRP) na área militar evoluiu ao longo do tempo?), foram avaliados os dados referentes ao número de publicações por ano. Conforme apresentado na Figura 2, o ano de 2007 marcou um crescimento do número de publicações sendo a primeira marca acima de 20 publicações anuais. A partir do ano de 2014 observa-se uma maior regularidade com a manutenção de 20 publicações ou mais por ano, com os anos de 2016 e 2021 com as maiores marcas (31 publicações).

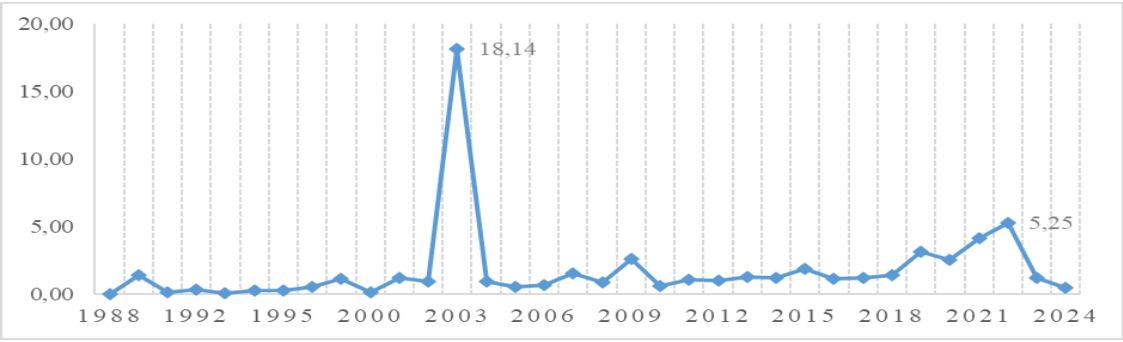
Por outro lado, essa produção científica ao longo dos anos pode ser avaliada por sua relevância considerando o número total de citações. Para tanto, o número médio de citações por ano, tendo como referência as publicações realizadas no ano em análise podem ser observadas na Figura 3. Verifica-se que o ano de 2003 apresenta um descolamento da média de citações dos demais anos, indicando que a produção daquele ano é referência nas temáticas de LRP. Ressalta-se que as produções do ano de 2022 se apresentam como um pico de citações médias dos anos mais recentes, revelando uma produção científica de referência no período, mesmo considerando o curto período de anos citáveis (2022, 2023 e 2024).

Figura 2: Publicações por ano



Fonte: Os autores

Figura 3: Média de citações por ano



Fonte: Os autores

Para responder à pergunta de pesquisa PP1.2 (Quais são os países mais produtivos na pesquisa de LRP aplicada à área militar?), foi analisada a produção científica por países, por autoria, além da mesma avaliação de forma temporal.

Na contabilização da produção científica por país, os autores principais e co-autores contabilizam da mesma forma. Os 10 países com a maior produção aparecem representados na Figura 4.

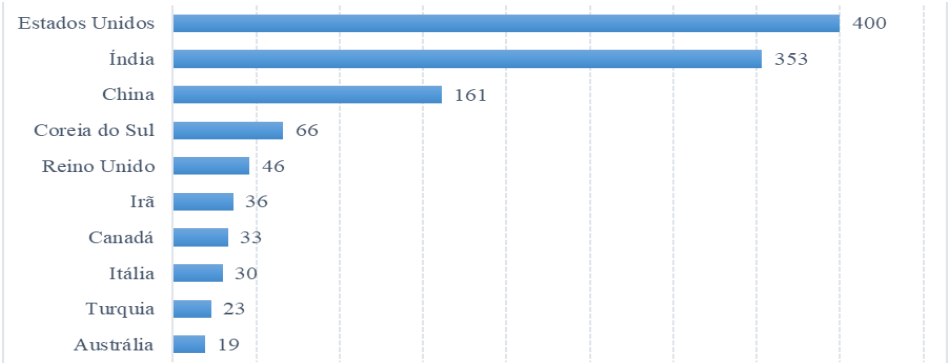
Observa-se que o país com a maior produção científica na área é os Estados Unidos, seguido de perto pela Índia, que teve uma maior aceleração em produção científica na temática em

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

comparação aos demais países apresentados na análise, assumindo a segunda posição a partir do ano de 2014.

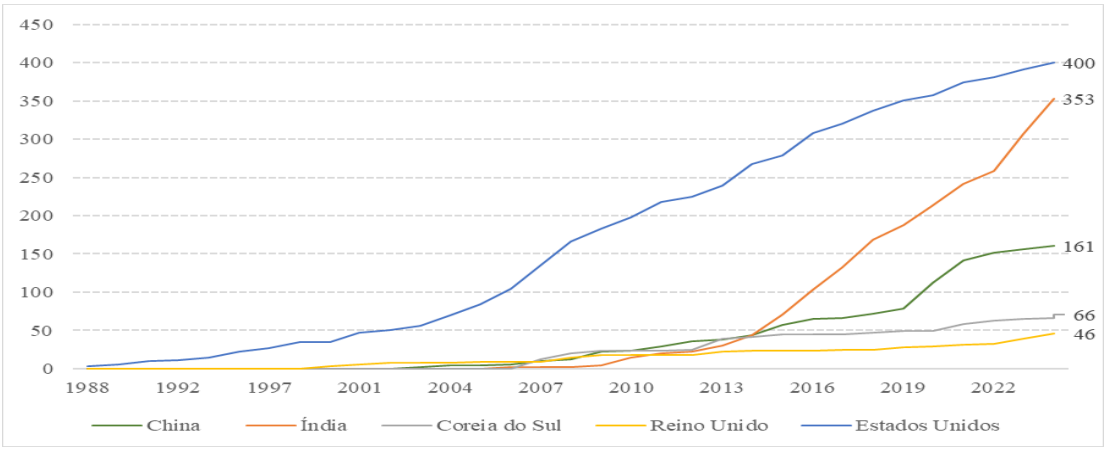
O Brasil está listado com um total de 7 autorias na temática.

Figura 4: Produção científica por país (autoria)



Fonte: Os autores

Figura 5: Evolução anual da produção científica por país



Fonte: Os autores

Buscando responder à pergunta de pesquisa PP1.3 (Quais são os autores e trabalhos mais influentes na produção científica sobre LRP na área militar?), serão apresentadas contabilização de produção científica e de citação, sendo esta última mais relevante para identificar a influência do autor no meio científico. Neste sentido, a Tabela 2 apresenta 20 autores mais relevantes ordenados a partir do total de citações. Observa-se que a lista dos 20 maiores autores, considerando o número de citações, fazem referência a 7 documentos de grande relevância.

Tabela 2: Citação por autores e documentos

Autor	Produção Científica	Total de Citação	Citação Máxima (por documento)	Documento com Maior Citação
PERRIG A	2	1240	1191	*Packet leashes: a defense against wormhole attacks in wireless networks*

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

HU Y-C	1	1191	1191	*Packet leashes: a defense against wormhole attacks in wireless networks*
JOHNSON DB	1	1191	1191	*Packet leashes: a defense against wormhole attacks in wireless networks*
CHEN X	2	519	469	*Sensor network security: a survey*
MAKKI K	1	469	469	*Sensor network security: a survey*
PISSINOU N	1	469	469	*Sensor network security: a survey*
YEN K	1	469	469	*Sensor network security: a survey*
ARAFAT MY	3	379	232	*Localization and clustering based on swarm intelligence in uav networks for emergency communications*
MOH S	3	379	232	*Localization and clustering based on swarm intelligence in uav networks for emergency communications*
LIU A	3	281	134	*Design and analysis of probing route to defense sink-hole attacks for internet of things security*
BAILEY M	1	270	270	*Bohatei: flexible and elastic DDoS defense*
FAYAZ SK	1	270	270	*Bohatei: flexible and elastic DDoS defense*
SEKAR V	1	270	270	*Bohatei: flexible and elastic DDoS defense*
TOBIOKA Y	1	270	270	*Bohatei: flexible and elastic DDoS defense*
ZHANG L	4	232	129	*Protecting receiver-location privacy in wireless sensor networks*
EL DEFRAWY K	3	224	112	*Alarm: anonymous location-aided routing in suspicious manets*
TSUDIK G	3	224	112	*Alarm: anonymous location-aided routing in suspicious manets*
CHEN S	2	195	129	*Protecting receiver-location privacy in wireless sensor networks*
JIAN Y	2	195	129	*Protecting receiver-location privacy in wireless sensor networks*
ZHANG Z	2	195	129	*Protecting receiver-location privacy in wireless sensor networks*

Fonte: Os autores

Para responder à pergunta de pesquisa PP1.4 (Como é a colaboração científica entre países neste campo?) a Tabela 3 apresenta a relação de colaboração entre países com ao menos 2 produções. No topo da colaboração na temática analisada estão Estados Unidos e China.

Tabela 3: Colaboração entre países

País A	País B	Frequência
Estados Unidos	China	9
Estados Unidos	Reino Unido	5
China	Reino Unido	4
Índia	Arábia Saudita	4

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

China	Emirados Árabes Unidos	3
Canadá	França	2
Índia	Iraque	2
Índia	Coreia do Sul	2
Índia	Reino Unido	2
Paquistão	Malásia	2
Arábia Saudita	Paquistão	2
Reino Unido	Arábia Saudita	2
Estados Unidos	Índia	2
Estados Unidos	Japão	2
Estados Unidos	Coreia do Sul	2
Estados Unidos	Arábia Saudita	2
Estados Unidos	Emirados Árabes Unidos	2

Fonte: Os autores

Para responder à pergunta de pesquisa PP2.1, realizou-se uma análise das 15 palavras-chave mais frequentes nos artigos, conforme apresentado na Tabela 4. A base de termos foi revisada para unificar sinônimos sob uma mesma referência.

Os termos mais citados indicam forte presença de temas ligados às redes de comunicação, sobretudo no contexto de redes *ad hoc* e de sensores sem fio. Destacam-se tópicos relacionados à estrutura e gerenciamento dessas redes, como *wireless sensor network* e *mobile ad hoc network*, essenciais em ambientes descentralizados e de alta mobilidade, comuns em contextos militares. Também são recorrentes os desafios de *routing*, *routing protocol* e segurança, com termos como *security*, *secure routing* e *anonymity*. A presença de AODV (*Ad hoc On-Demand Distance Vector*) ressalta o interesse por protocolos adaptativos que garantam rotas eficientes e seguras em cenários dinâmicos.

Tabela 4: Frequência de Palavras-chave do autor

Palavra-chave (autor)	**Frequência**
wireless sensor network	71
mobile ad hoc network	45
routing	44
routing protocol	27
security	24
clustering	22
energy	21
sensor network	16
network lifetime	11
localization	10
anonymity	9
secure routing	9
source location privacy	9
ad hoc networks	8
AODV	8

Fonte: Os autores

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

Em continuidade à análise das palavras-chave, foi realizada uma avaliação de conteúdo com base nos 10 artigos mais citados, conforme Tabela 5, para responder à pergunta de pesquisa PP2.2 (Quais são os problemas e cenários específicos tratados nas aplicações de LRP em contextos militares?).

Os estudos analisados abordam desafios como segurança, eficiência energética e resiliência de redes de comunicação em ambientes complexos e dinâmicos. Destaca-se a necessidade de integrar localização eficiente com roteamento robusto para lidar com problemas como ataques cibernéticos, otimização de consumo energético e adaptação a topologias variáveis.

Artigos como os de [Hu et al. 2003] e [Chen et al. 2009] reforçam a importância de mecanismos contra ameaças como *wormhole attacks* e vulnerabilidades em redes *ad hoc*, assegurando rotas confiáveis. Já [Arafat e Moh 2019] e [Jung et al. 2007] focam em soluções voltadas à eficiência energética em cenários críticos, como redes *UAV* (*Unmanned Aerial Vehicle*) e sensores subaquáticos, utilizando inteligência artificial e *clustering*. [Chan et al. 2001] e [Veeraiah et al. 2021], por sua vez, exploram demandas estocásticas e protocolos híbridos em redes *MANETs* (*Mobile Ad Hoc Networks*), integrando critérios de confiança e desempenho energético.

Tabela 5: Análise de Conteúdo

Documento	Observações sob o enfoque de problemas de Localização-Roteamento
Packet leashes: a defense against wormhole attacks in wireless networks (HU; PERRIG; JOHNSON, 2003)	Sob o enfoque de problemas de localização-roteamento, o ataque wormhole: distorce a localização lógica dos nós ao criar caminhos falsamente curtos; compromete o roteamento eficiente, impedindo que a rede encontre soluções viáveis para o envio de pacotes; torna necessária a inclusão de mecanismos de segurança (como packet leashes) como restrições adicionais no problema, garantindo que as rotas identificadas sejam confiáveis e seguras.
Sensor network security: a survey (CHEN et al., 2009)	Sob o enfoque de problemas de localização-roteamento, o artigo aborda como as ameaças e vulnerabilidades impactam diretamente: a localização segura dos nós sensores; a eficiência e segurança do roteamento em redes ad hoc sem fio.
Bohatei: flexible and elastic DDoS defense (FAYAZ et al., 2015)	O Bohatei resolve as limitações dos sistemas tradicionais ao integrar localização dinâmica e roteamento programável para defesa contra ataques DDoS. Essa abordagem permite respostas escaláveis e flexíveis, aumentando a resiliência da rede e garantindo que os recursos de mitigação sejam aplicados onde e quando necessários, algo crucial em problemas de localização-roteamento para segurança em redes modernas.
Localization and clustering based on swarm intelligence in UAV networks for emergency communications (ARAFAT; MOH, 2019)	Sob o enfoque de problemas de localização-roteamento, o artigo apresenta soluções inovadoras que combinam localização eficiente (SIL) com roteamento otimizado e energeticamente eficiente (SIC). A utilização de técnicas de inteligência de enxame (PSO) permite lidar com os desafios de mobilidade, energia limitada e topologia dinâmica, fundamentais em redes UAV para cenários críticos, como comunicação de emergência.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

The concentric clustering scheme for efficient energy consumption in the pegasis (JUNG; HAN; CHUNG, 2007)	O estudo demonstra que ao integrar a localização da estação base no processo de seleção de rotas e organização dos nós sensores (via clusterização concêntrica), é possível otimizar significativamente a eficiência energética e o roteamento de dados em redes de sensores sem fio. Essa abordagem é particularmente relevante em aplicações onde a energia é limitada, e a precisão das rotas influencia diretamente o desempenho da rede.
Design and analysis of probing route to defense sink-hole attacks for internet of things security (LIU et al., 2020)	Sob o enfoque de LRP, o esquema PRDSA resolve os desafios impostos pelo ataque sinkhole ao: identificar e localizar o sinkhole através de assinaturas e padrões de energia; restaurar rotas seguras combinando mecanismos de roteamentos adaptativos; garantir eficiência energética, minimizando o impacto na vida útil da rede.
Protecting receiver-location privacy in wireless sensor networks (JIAN et al., 2007)	O protocolo LPR resolve o problema de localização-roteamento ao: ocultar a localização real do receptor por meio de rotas aleatórias e diversificação dos caminhos; criar distrações através da injeção de pacotes falsos, dificultando a análise do tráfego pelo adversário; manter um roteamento eficiente, equilibrando custo energético, tempo de entrega e proteção da privacidade.
A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands (CHAN; CARTER; BURNES, 2001)	Este estudo resolve um problema de localização-roteamento estocástico com múltiplos depósitos e veículos, no qual as demandas surgem de maneira dinâmica e dependem de eventos prévios. A abordagem propõe: antecipação de demandas por meio de processos estocásticos; localização eficiente de depósitos para atender a demandas futuras; roteamento robusto para adaptar-se a cenários dinâmicos em tempo real.
Trust aware secure energy efficient hybrid protocol for MANET (VEERAIAH et al., 2021)	O estudo resolve os desafios de localização e roteamento em MANETs ao: selecionar cabeças de cluster confiáveis com base em um sistema de confiança robusto; implementar rotas multi-hop eficientes e seguras usando o protocolo híbrido com C-SSA; detectar e mitigar ataques seletivos, garantindo a entrega eficiente de pacotes com baixo consumo de energia. Essa abordagem contribui significativamente para a segurança, eficiência energética e resiliência de MANETs, especialmente em aplicações críticas como operações militares e desastres naturais.
A novel cluster head selection method based on k-means algorithm for energy efficient wireless sensor network (PARK et al., 2013)	O estudo resolve o problema de localização-roteamento ao otimizar a localização dos cabeças de cluster (CHs) com o algoritmo k-means. Isso leva a: rotas mais curtas e eficientes entre os nós sensores e os CHs; redução do consumo energético, prolongando a vida útil da rede; melhor desempenho global da rede em comparação com protocolos existentes.

Fonte: Os autores

5. Conclusão

Os LRP têm papel estratégico em operações militares, enfrentando desafios como segurança, logística, energia e adaptação a cenários hostis. A análise bibliométrica, baseada em 440 documentos, permitiu identificar tendências relevantes, principais atores científicos, colaborações internacionais e palavras-chave mais frequentes no campo, fornecendo um panorama da produção científica relacionada ao tema.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

Os artigos mais citados reforçam a necessidade de soluções inovadoras que combinem técnicas robustas de localização com protocolos de roteamento eficientes, capazes de lidar com questões como ataques à rede, mobilidade de nós, otimização de recursos energéticos e adaptação a topologias complexas.

Referências

ARAFAT, M. Y.; MOH, S. Localization and Clustering Based on Swarm Intelligence in UAV Networks for Emergency Communications. **IEEE Internet of Things Journal**, v. 6, n. 5, p. 8958–8976, 2019.

CHAN, Y.; CARTER, W. B.; BURNES, M. D. A multiple-depot, multiple-vehicle, location-routing problem with stochastically processed demands. **Computers and Operations Research**, v. 28, n. 8, p. 803–826, 2001.

CHEN, X. et al. Sensor network security: A survey. **IEEE Communications Surveys and Tutorials**, v. 11, n. 2, p. 52–73, 2009.

FAYAZ, S. K. et al. **Bohatei: Flexible and elastic DDoS defense**. Proc. USENIX Secur. Symp. **Anais**... Em: PROCEEDINGS OF THE 24TH USENIX SECURITY SYMPOSIUM. USENIX Association, 2015. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85076279342&partnerID=40&md5=e675f1ddfba128024d09df21f0cb3019>

FAZAYELI, S.; EYDI, A.; KAMALABADI, I. N. Location-routing problem in multimodal transportation network with time windows and fuzzy demands: Presenting a two-part genetic algorithm. **Computers & Industrial Engineering**, v. 119, p. 233–246, 1 maio 2018.

GOVINDAN, K. et al. Green reverse logistics network design for medical waste management: A circular economy transition through case approach. **Journal of Environmental Management**, v. 322, p. 115888, 15 nov. 2022.

HASSANZADEH, A. et al. Location-Routing Problem. Em: ZANJIRANI FARAHANI, R.; HEKMATFAR, M. (Eds.). **Facility Location: Concepts, Models, Algorithms and Case Studies**. Heidelberg: Physica-Verlag HD, 2009. p. 395–417.

HU, Y.-C.; PERRIG, A.; JOHNSON, D. B. **Packet leashes: A defense against wormhole attacks in wireless networks**. Proc IEEE INFOCOM. **Anais**... Em: PROCEEDINGS - IEEE INFOCOM. 2003. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0041973497&doi=10.1109%2fINFCOM.2003.1209219&partnerID=40&md5=208e893e766b11cad8fdc20dd2058793>

JIAN, Y. et al. **Protecting receiver-location privacy in wireless sensor networks**. Proc IEEE INFOCOM. **Anais**... Em: PROCEEDINGS - IEEE INFOCOM. 2007. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-34548310311&doi=10.1109%2fINFCOM.2007.227&partnerID=40&md5=535cab0568dd04cb9173440a75e745f1>

JUNG, S.-M.; HAN, Y.-J.; CHUNG, T.-M. **The concentric clustering scheme for efficient energy consumption in the PEGASIS**. Int. Conf. Adv. Commun. Technol. ICACT. **Anais**... Em: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMMUNICATION TECHNOLOGY, ICACT. 2007. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br

34347223651&doi=10.1109%2fICACT.2007.358351&partnerID=40&md5=5aaf5e2ebcf6963f512111d54bc1bf12>

LIU, Y. et al. Design and Analysis of Probing Route to Defense Sink-Hole Attacks for Internet of Things Security. **IEEE Transactions on Network Science and Engineering**, v. 7, n. 1, p. 356–372, 2020.

LOPES, R. B. et al. A taxonomical analysis, current methods and objectives on location-routing problems. **International Transactions in Operational Research**, v. 20, n. 6, p. 795–822, 2013.

MARA, S. T. W.; KUO, R. J.; ASIH, A. M. S. Location-routing problem: a classification of recent research. **International Transactions in Operational Research**, v. 28, n. 6, p. 2941–2983, 2021.

MESQUITA, D. L. et al. Autonomous Vehicles and People with Disabilities: A Scientometric and Integrative Analysis of the Literature. **Journal of Scientometric Research**, v. 11, n. 3, p. 332–343, 2022.

MIN, H.; JAYARAMAN, V.; SRIVASTAVA, R. Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions. **European Journal of Operational Research**, v. 108, n. 1, p. 1–15, 1 jul. 1998.

NAGY, G.; SALHI, S. Location-routing: Issues, models and methods. **European Journal of Operational Research**, v. 177, n. 2, p. 649–672, 1 mar. 2007.

PARK, G. Y. et al. **A novel cluster head selection method based on k-means algorithm for energy efficient wireless sensor network**. **Anais**. Em: PROCEEDINGS - 27TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED INFORMATION NETWORKING AND APPLICATIONS WORKSHOPS, WAINA 2013. Disponível em: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84881397392&doi=10.1109%2fWAINA.2013.123&partnerID=40&md5=f46345015f23e1b3b90843c9bb116cb5>

TEIXEIRA, Luiz Frederico Horácio de Souza de Barros. Análise dos testes de aderência em tábuas atuariais: uma contribuição para o sistema de proteção social dos militares das Forças Armadas. 2020. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola de Engenharia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, 2020.

VEERAIAH, N. et al. Trust aware secure energy efficient hybrid protocol for MANET. **IEEE Access**, v. 9, p. 120996–121005, 2021.

VISSER, M.; JAN VAN ECK, N.; WALTMAN, L. **Large-scale comparison of bibliographic data sources: Web of Science, Scopus, Dimensions, and CrossRef**. Em: 17TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON SCIENTOMETRICS AND INFORMETRICS, ISSI 2019 - PROCEEDINGS. 2019.

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 1 jul. 2015.

DOI: 10.59254/sbpo-2025-212213
https://proceedings.science/p/212213?lang=pt-br