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

# REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA SOBRE GESTÃO DE ESTOQUES E BACKLOGGING EM SERVIÇOS DE CAMPO

**Stéfane Dias Rodrigues**
Universidade Federal de Santa Maria - Inesc P&D Brasil
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria, RS - Rua José Caballero, 15, SP
stefane.rodrigues@acad.ufsm.br

**Maria Sofia Luna Delgadillo**
Universidade Federal de Santa Maria - Inesc P&D Brasil
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria, RS - Rua José Caballero, 15, SP
sofia9927@hotmail.com

**Gabriel Rodrigues Moreira**
Universidade Federal de Santa Maria - Inesc P&D Brasil
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria, RS - Rua José Caballero, 15, SP
gabriel.moreira@acad.ufsm.br

**Amanda Klein**
Universidade Federal de Santa Maria - Inesc P&D Brasil
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria, RS - Rua José Caballero, 15, SP
amanda.klein@acad.ufsm.br

**João Felipe Schmidt**
Universidade Federal de Santa Catarina - Inesc P&D Brasil
R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, s/n, Florianópolis, SC - Rua José Caballero, 15, SP
joaoschmidt@grad.ufsc.br

**Lynceo Falavigna Braghirolli**
Universidade Federal de Santa Catarina - Inesc P&D Brasil
R. Eng. Agronômico Andrei Cristian Ferreira, s/n, Florianópolis, SC - Rua José Caballero, 15, SP
joaoschmidt@grad.ufsc.br

**Vinicius Jacques Garcia**
Universidade Federal de Santa Maria - Inesc P&D Brasil
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria, RS - Rua José Caballero, 15, SP
viniciusjg@ufsm.br

**Daniel Pinheiro Bernardon**
Universidade Federal de Santa Maria - Inesc P&D Brasil
Av. Roraima nº 1000, Santa Maria, RS - Rua José Caballero, 15, SP
dpbernardon@ufsm.br

**Laura Giovanna Freitas Castro**
Instituto de Ciência e Tecnologia Grupo Equatorial
Tv. São José, 455, Porto Alegre, RS
laura.castro@equatorialenergia.com.br

**Karlen Maura de Souza Silva**
Instituto de Ciência e Tecnologia Grupo Equatorial
Tv. São José, 455, Porto Alegre, RS
karlen.souza@equatorialenergia.com.br

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

**RESUMO**

Este estudo, desenvolvido em colaboração com o EQT Lab (Grupo Equatorial) no âmbito do Projeto de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) PD-00037-0053/2024, apresenta uma Revisão Sistemática da Literatura sobre gestão de estoques e *backlogging* em serviços de campo, utilizando o protocolo PRISMA para garantir rigor e transparência no processo de seleção das fontes. A busca foi realizada nas bases Scopus e Web of Science, resultando inicialmente em 1.331 documentos. Após a aplicação de filtros e eliminação de duplicatas, restaram 124 artigos, dos quais 38 foram selecionados para avaliação. A revisão inclui uma análise crítica de estudos sobre otimização de estoques, estratégias de *backlog*, impacto da digitalização na infraestrutura energética e técnicas de planejamento integrado de técnicos e peças de reposição. Os resultados apresentam metodológicas variadas, como heurísticas, modelagem matemática e simulações, e reforçam a integração entre estratégias de estoque e serviços de campo.

**PALAVRAS-CHAVE. Revisão Sistemática da Literatura, Gestão de estoque, Serviço de campo.**

**Tópicos: AD&GP – Pesquisa Operacional na Administração e Gestão da Produção, EN&OG – PO na Área de Energia, Óleo e Gás e OA – Outras Aplicações em PO.**

**ABSTRACT**

This study, developed in collaboration with EQT Lab (Equatorial Group) within the scope of the Research, Development and Innovation Project of the National Electric Energy Agency (ANEEL) PD-00037-0053/2024, presents a Systematic Literature Review on inventory management and backlogging in field services, using the PRISMA protocol to ensure rigor and transparency in the source selection process. The search was carried out in the Scopus and Web of Science databases, initially resulting in 1,331 documents. After applying filters and eliminating duplicates, 124 articles remained, of which 38 were selected for evaluation. The review includes a critical analysis of studies on inventory optimization, backlog strategies, the impact of digitalization on energy infrastructure, and integrated planning techniques for technicians and spare parts. The results present varied methodologies, such as heuristics, mathematical modeling, and simulations, and reinforce the integration between inventory strategies and field services.

**KEYWORDS. Systematic Literature Review. Inventory Management. Field Service.**

**Paper topics: AD&GP – Operational Research in Production Administration and Management, EN&OG – PO in the Energy, Oil and Gas Area and OA – Other Applications in PO.**

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

## 1. Introdução

A energia elétrica é de grande importância para o desenvolvimento da sociedade, tendo viabilizado avanços significativos na qualidade de vida e na evolução tecnológica. Entretanto, o aumento contínuo do consumo, decorrente do crescimento populacional e da expansão da automação e da conectividade, impõe às concessionárias responsáveis pela gestão e distribuição, desafios operacionais que demandam análises aprofundadas sobre a confiabilidade do fornecimento, em especial os indicadores *DEC* (Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora) e *FEC* (Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora), bem como dos impactos sociais resultantes de eventuais interrupções.

Os mercados de energia apresentam, em sua maioria, uma estrutura centralizada, na qual a geração e a distribuição são responsabilidades das concessionárias, que também definem políticas de transmissão e manutenção da rede com base em seus próprios parâmetros [Da Motta Xavier et al., 2016]. Nessa estrutura, as concessionárias operam em extensas áreas geográficas, o que exige um planejamento operacional mais robusto e coordenado. Tal complexidade tem sido agravada pelo aumento de eventos climáticos extremos, os quais intensificam os desafios na gestão das equipes de manutenção [Caires e Garcia, 2016], contribuindo para o acúmulo de ordens de serviço e atrasos no atendimento ao consumidor.

De acordo com o relatório integrado de gestão da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) [2024], em 2023 os brasileiros permaneceram, em média, 10,43 horas sem fornecimento de energia elétrica. Nesse mesmo período, a média de interrupções por consumidor foi de 5,24 vezes, o que gerou cerca de 1.201.134 interações dos usuários com as distribuidoras afiliadas à agência. Esses números evidenciam a urgência de ações que visem à otimização dos serviços de manutenção no setor elétrico brasileiro.

Nesse contexto, as concessionárias enfrentam o desafio crítico da priorização das ordens de serviço, enfrentando dificuldades para manter a eficiência operacional e garantir a qualidade dos serviços prestados. Essas dificuldades também acarretam maiores custos, relacionados aos deslocamentos das equipes, frequentemente ocasionados por falhas no planejamento [Breda, 2023]. Além disso, há a necessidade de atender a demandas emergenciais, que devem ser priorizadas em relação às manutenções programadas, comprometendo o planejamento original e aumentando a complexidade da alocação de recursos [Cândido, 2020].

Dada a dinâmica incerta das operações e a disponibilidade dos recursos operacionais, planejamentos inadequados resultam em atrasos no atendimento, sobrecarga do corpo técnico, aumento dos custos operacionais e prejuízos à imagem das empresas perante seus consumidores. Essa problemática é agravada pelas incertezas quanto à localização e ao tempo das demandas, pelas limitações das infraestruturas tecnológicas disponíveis e por dificuldades de acesso a determinadas regiões geográficas dentro da área de cobertura [Ribeiro et al., 2018]. Dessa forma, a gestão eficiente dos recursos humanos e materiais são necessárias para a prestação de um serviço de qualidade, com redução de custos e aumento da satisfação dos consumidores.

Uma abordagem que tem destaque na mitigação de problemas relacionados ao gerenciamento de acúmulo de tarefas e demandas de trabalhos não concluídas é a do *Backlog*, o qual é utilizado pelas empresas de energia para gerir, organizar, monitorar e priorizar demandas de trabalho com o intuito de aumentar a eficiência das equipes de trabalho [Meng et al., 2025]. O *backlog* auxilia na determinação de quais ordens de serviços são mais críticas em detrimento de outras ponderando critérios relevantes como número de clientes afetados, tempo de serviço, localização e tipo de problema enfrentado, para que assim sejam estabelecidas as prioridades de atendimento [Bonomo et al., 2025].

Este estudo tem como objetivo apresentar uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL) que abordam o problema de roteirização de equipes de manutenção em concessionárias de energia, com ênfase na aplicação da metodologia de backlog. Para entender como esses conceitos estão sendo aplicados no gerenciamento do acúmulo de tarefas de equipes, de modo a oferecer subsídios e direcionamentos para pesquisas futuras nesse campo. Este trabalho foi desenvolvido no âmbito

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PDI da ANEEL, de código PD-00037-0053/2024, que visa aprimorar métodos de roteirização e priorização em serviços de campo no setor elétrico brasileiro.

## 2. Metodologia

Para explorar a literatura disponível sobre o tema em estudo, foi realizada uma RSL nas principais bases de dados, Scopus e Web of Science (WoS), utilizando o PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). O protocolo PRISMA, originalmente publicado em 2009 e atualizado em 2020, é amplamente reconhecido por fornecer uma estrutura metodológica rigorosa e transparente para a condução de revisões sistemáticas, assegurando a reprodutibilidade e a clareza em todas as etapas do processo [Page et al., 2021].

A sistematização do estudo teve início com a formulação da seguinte questão de pesquisa: Quais são as principais abordagens identificadas na literatura para a aplicação do *backlog* na gestão e roteirização de equipes de manutenção em concessionárias de energia?

A partir dessa questão, foi definida a *String* de busca a ser utilizada nas bases de dados:

*TITLE ("service" OR "field service"*) AND ("stock*" OR "stock management*" OR "stock system*" OR "inventory") AND ("backlogging*" OR "backlog*") **

A *String* foi aplicada na seção de busca avançada das bases de dados Scopus e WoS, resultando em um total inicial de 1.331 registros bibliográficos. A Tabela 1 e a Figura 1, apresentadas a seguir, sintetizam o processo de filtragem adotado, o qual também é detalhado nas próximas seções deste trabalho.

Tabela 1. Resumo das etapas protocolo PRISMA.

| Etapa | Scopus | WoS | Total |
|---|---|---|---|
| Busca inicial (sem filtros) | 232 | 1.099 | 1.331 |
| Aplicação de filtros[1] | 67 | 59 | 126 |
| Remoção de duplicatas[2] | -2 | - | 124 |
| Seleção final (título, resumo e metodologia) | 20 | 18 | 38 |

Fonte: Elaborado pelos autores.

[1]Filtros aplicados: ano de publicação (2011–2024), idioma (inglês), tipo de documento (artigo de periódico) e acesso aberto.

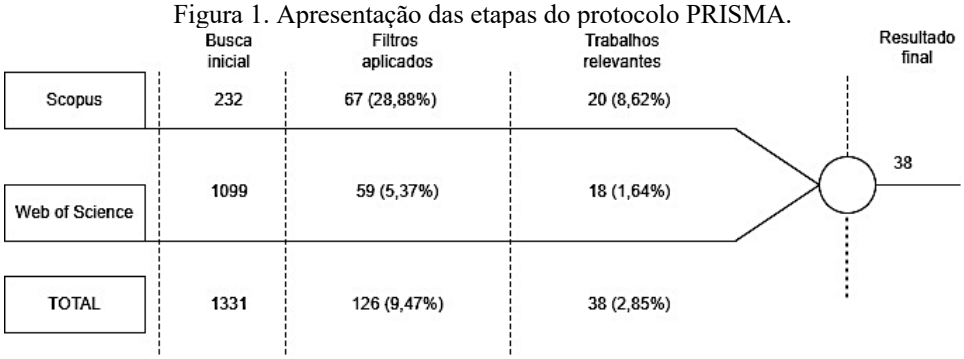
[2]Foram identificadas e eliminadas 2 duplicatas após a exportação dos dados.

A Tabela 1 apresenta um resumo das etapas seguidas no processo de seleção dos artigos, conforme o protocolo PRISMA. Inicialmente, a aplicação da string de busca nas bases Scopus e WoS resultou em um total de 1.331 documentos, sendo 1.099 provenientes da Scopus e 232 da WoS. Em seguida, foram aplicados os seguintes filtros: ano de publicação (2011 a 2024), idioma (inglês), tipo de documento e acesso aberto, com o objetivo de garantir a disponibilidade integral dos textos. Essa etapa resultou em 126 artigos selecionados, dos quais 67 eram da Scopus e 59 da WoS.

Posteriormente, os dados bibliográficos foram exportados nos formatos BibTeX e CSV. Para eliminar duplicatas entre as bases, realizou-se o cruzamento dos registros nos arquivos BibTeX, o que resultou na exclusão de dois artigos repetidos, totalizando 124 documentos únicos. Por fim, foi realizada à leitura dos títulos, resumos e seções metodológicas dos artigos, de modo a identificar aqueles que efetivamente se enquadravam nos critérios da revisão. Ao final dessa triagem, 38 artigos foram selecionados para compor a base da RSL. A Figura 1 apresenta um resumo das informações apresentadas dessas etapas do protocolo PRISMA.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

Figura 1. Apresentação das etapas do protocolo PRISMA.

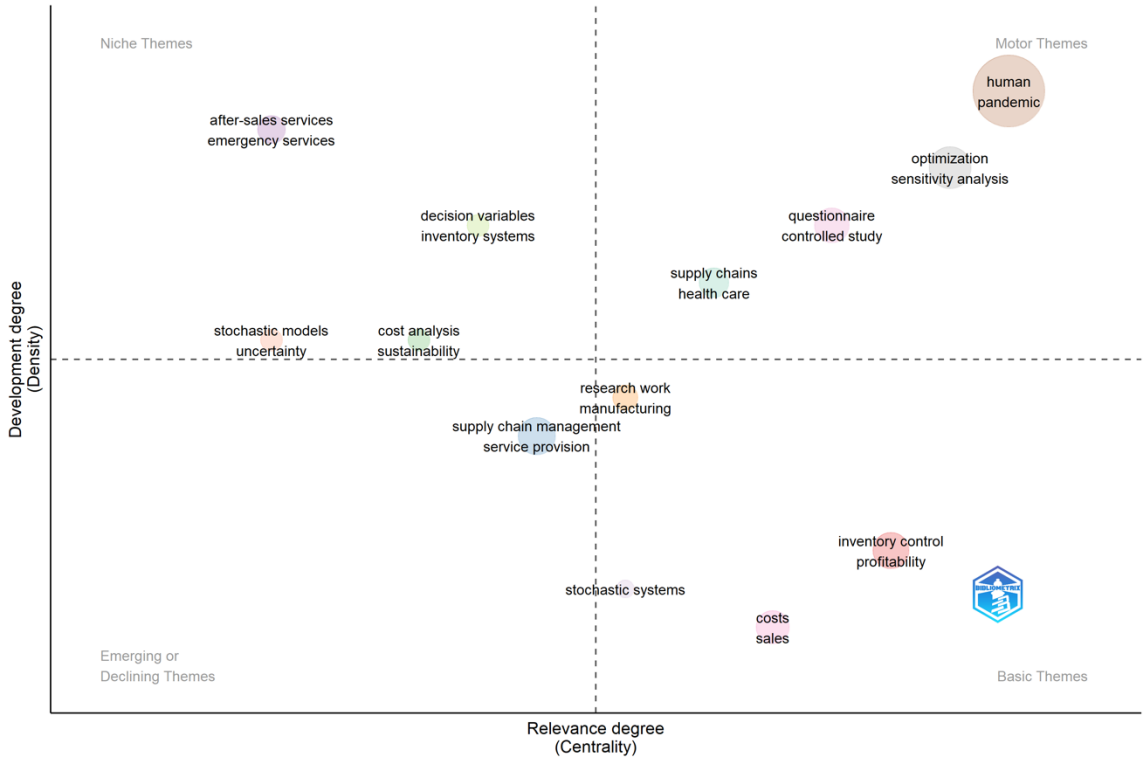



Fonte: Elaborado pelos autores.

## 3. Resultados

Para proporcionar uma visão global das temáticas abordadas nos 38 artigos selecionados, foi elaborado um mapa temático (Figura 2) utilizando o *software* Bibliometrix. Esse gráfico classifica os tópicos recorrentes nos artigos com base em dois eixos: densidade (que representa o grau de desenvolvimento do tema) e centralidade (que indica sua relevância e conexão com outros temas da área). A seguir, a Figura 2 apresenta o mapa temático sobre os 38 artigos que serão avaliados.

Figura 2. Mapa temático dos 38 trabalhos avaliados.




Fonte: Elaborado pelos autores.

De acordo com a Figura 2 é possível analisar que os temas localizados no quadrante superior direito são denominados *Temas Motores*, por estarem altamente desenvolvidos e apresentarem forte relevância no campo de pesquisa como, por exemplo, estudos que tratam da aplicação de técnicas de controle de estoques e *backlogging* em contextos de gerenciamento de crises e pandemias. Já os temas posicionados no quadrante inferior direito são classificados como

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

*Temas Básicos*: embora fundamentais, ainda apresentam um nível menor de desenvolvimento. Entre eles, tópicos como controle de estoques e lucratividade são destacados.

No quadrante superior esquerdo encontram-se os *Temas de Nicho*, que são altamente desenvolvidos, porém com baixa centralidade, ou seja, possuem menor conexão com os demais temas analisados. Exemplos incluem serviços de emergência e atendimento pós-venda. Por fim, os temas no quadrante inferior esquerdo representam os chamados *Temas Emergentes ou em Declínio*, como modelagem estocástica e análise de custos, que atualmente demonstram menor relevância e menor grau de desenvolvimento.

A avaliação dos trabalhos é realizada a seguir com os casos mais relevantes mediante uma análise pontual da problemática tratada em cada caso contrastando-a com a abordagem metodológica proposta para lhe dar solução e com os resultados obtidos de cada aplicação.

O estudo de Habib et al. [2017] aborda o desafio da proteção de microrredes, com o objetivo de detectar, isolar e restaurar falhas de forma eficiente, ao mesmo tempo em que busca reduzir custos e atrasos. Para isso, foi adotada uma abordagem determinística, baseada em um método de controle de falhas assistido por comunicação, responsável por identificar a localização da falha, realizar seu isolamento e restaurar o funcionamento do sistema. A proposta fundamenta-se em um Sistema Multiagente, cujo principal enfoque é a designação de agentes com base em sua experiência. Esses agentes são estrategicamente alocados ao longo de uma linha de distribuição, sendo responsáveis pela cobertura de pontos críticos, especialmente nas extremidades da linha. Essa configuração visa aumentar a confiabilidade do sistema, possibilitando uma detecção mais rápida das falhas, bem como um processo de restauração mais eficiente e com menor probabilidade de não conformidades.

Selinka, Stolletz e Maindl [2022] investigam os desafios relacionados à análise e previsão do desempenho de sistemas de filas com múltiplos servidores, considerando a chegada de clientes modelada por um processo de Poisson não homogêneo, tempos de atendimento com distribuição exponencial e tempos de abandono da fila com distribuição geral. No estudo, os autores propõem a abordagem denominada *Stationary Backlog-Carryover* (SBC), desenvolvida para analisar o desempenho de sistemas de filas com múltiplos servidores sob condições de chegadas, tempos de serviço e abandono distribuídos de forma geral. A metodologia é estruturada em duas etapas e foi validada tanto teoricamente quanto por meio de simulações e dados reais de centrais de atendimento. Os resultados demonstram a eficácia da abordagem SBC para sistemas de pequeno e médio porte, mesmo em diferentes configurações paramétricas.

Na pesquisa realizado por Gruson, Cordeau e Jans [2018], são abordados os problemas de dimensionamento de lotes, tanto com capacidade limitada quanto ilimitada, considerando uma demanda determinística em um horizonte de tempo finito e discreto, com o objetivo de compreender o impacto da definição de níveis de serviço nesse contexto. Diante da dificuldade em distinguir claramente entre as técnicas de *backlog* e *backorder* nesse tipo de problema, os autores propõem uma reformulação conceitual, explicitando as diferenças entre ambas e incorporando diversas restrições associadas ao nível de serviço já presentes na literatura e outras propostas pelos próprios autores. Os resultados indicaram que os custos tendem a estabilizar a estrutura das soluções encontradas, independentemente das restrições aplicadas. Além disso, a implementação de uma política *first-in-first-out*, contribuindo para a melhoria da maioria das soluções obtidas.

Shabalov et al. [2021] analisam o impacto das transformações tecnológicas na infraestrutura energética global, com foco nos desafios enfrentados atualmente pela indústria de energia. Os autores discutem diferentes cenários para o desenvolvimento de uma infraestrutura energética modernizada, considerando aspectos como confiabilidade, qualidade do fornecimento e riscos ambientais associados ao sistema. Os resultados evidenciam que a adoção de tecnologias digitais e de informação contribui para o aumento da eficiência energética e para a redução da taxa de deterioração da infraestrutura existente. Além disso, o estudo apresenta um cenário em que a modernização do setor energético cria condições propícias para a ampliação dos investimentos na área, impulsionando o crescimento econômico e a geração de empregos.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

Na análise dos artigos identificados, o pesquisador Rahimi-Ghahroodi, da Índia possui destaque, como um dos principais autores atuantes na área de gestão de estoques aplicada tanto a serviços quanto à produção. Suas contribuições são particularmente relevantes para esta pesquisa, pois auxiliam na melhor contextualização da abordagem metodológica adotada e fundamentam a discussão dos resultados.

No trabalho de Rahimi-Ghahroodi et al. [2017], é abordado o problema do planejamento integrado de recursos em sistemas logísticos voltados à manutenção de serviços, considerando simultaneamente o fornecimento de peças sobressalentes e a alocação de técnicos. O objetivo consiste em determinar os níveis de estoque e o número ideal de técnicos de forma a minimizar os custos médios totais, respeitando uma restrição de tempo médio máximo de espera. O problema é modelado como uma rede de filas, sendo propostos um método exato e duas abordagens aproximadas para avaliação de políticas específicas. Além disso, é utilizada uma heurística para otimizar o planejamento integrado. Os resultados numéricos indicam que, em casos com mais de cinco tipos de peças de reposição, as abordagens aproximadas se mostram mais vantajosas devido à maior rapidez computacional.

O autor também publicou outros dois estudos que também tratam do planejamento integrado de técnicos e peças de reposição em contextos de falhas aleatórias em sistemas. No primeiro artigo, o foco está na otimização conjunta dos níveis de estoque e do número de técnicos, com o objetivo de minimizar os custos de serviço sob uma política de *backlog* com reservas de peças [Rahimi-Ghahroodi et al., 2019a]. No segundo, além do gerenciamento conjunto desses recursos, é incorporada a possibilidade de recorrer a um fornecedor de emergência, o que acrescenta uma dimensão de custo adicional e exige coordenação estratégica [Rahimi-Ghahroodi et al., 2019b]. Ambos os estudos propõem métodos eficientes de resolução: o primeiro recorre a uma heurística gulosa, enquanto o segundo utiliza um algoritmo baseado na busca de equilíbrio de *Stackelberg* para otimizar o desempenho e reduzir os custos. Embora abordem o risco e a incerteza sob diferentes perspectivas, ambos os trabalhos evidenciam sua importância: o primeiro enfatiza os prazos de reparo, ao passo que o segundo explora o risco associado a contratos de cooperação.

Além desses trabalhos, Rahimi-Ghahroodi et al. [2020], analisou o projeto de contratos em uma cadeia de fornecimento de serviços com vários recursos entre um prestador de serviços de primeira linha e um prestador de serviços de emergência com assimetria de informações. O estudo analisa diferentes tipos de contratos, como contratos somente de preço e contratos de compartilhamento de receita, em que o fornecedor de emergência recebe uma fração da receita anual do fornecedor de serviços em troca da cobrança de um preço mais baixo por chamada.

Esmaeili, Naghavi e Ghahghaei [2018] analisam um sistema de estoque de dois níveis, composto por um depósito e um varejista, com demanda estocástica e uma política de reabastecimento até um nível predeterminado. A relação entre as partes é modelada por meio de um jogo de *Stackelberg* com informações incompletas, em que o tempo de transporte é desconhecido pelo varejista, enquanto o nível de serviço é oculto para o depósito. Os resultados evidenciam que o compartilhamento de informações favorece principalmente o armazém, em comparação ao varejista.

No estudo de Tan e Weng [2013], é proposto um sistema de estoque para itens perecíveis sob revisão periódica, considerando horizonte de planejamento finito, demanda estocástica e um custo fixo por pedido. Uma fração constante do excesso de estoque se deteriora ao final de cada período, e a demanda não atendida é parcialmente acumulada, sendo satisfeita com a chegada do próximo lote. O acúmulo de pedidos é posteriormente substituído por restrições de nível de serviço, permitindo reformular o problema como um modelo de programação matemática mista.

Chiu et al. [2017] abordam a otimização do tempo de produção em um modelo com taxa de produção finita, incorporando políticas de atraso, retrabalho de produtos defeituosos e falhas aleatórias de máquinas, sob restrições de nível de serviço. Através de modelagem matemática e técnicas de otimização, os autores derivam o tempo ideal de produção que minimiza os custos médios de longo prazo, fornecendo subsídios valiosos para o planejamento e controle de sistemas produtivos.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

Wang, Tang e Huo [2013] exploram a política de racionamento em sistemas de estoque com duas classes de demanda, cada uma com critérios distintos de serviço para pedidos em atraso. Os autores propõem uma política baseada no sistema de revisão contínua (r, Q), que define um limite de alocação de pedidos pendentes. Diante da complexidade do problema, uma heurística é desenvolvida com foco no atendimento das diferentes classes de demanda. Os resultados indicam que, com custos de pedido médios ou altos, o mecanismo proposto se aproxima do ótimo; entretanto, com custos baixos, estratégias diferenciadas de racionamento são necessárias conforme a prioridade das classes.

Saritha, Mamatha e Reddy [2019] propõem um modelo de estoque com preservação de um único componente, no qual o reabastecimento é uma variável crítica. O sistema admite três estados: itens em estoque, atendimento sob demanda e processamento de produtos defeituosos (reparo ou descarte). O objetivo é otimizar os custos, reduzir o tempo de serviço e gerenciar o estoque com maior eficiência. Os resultados indicam ganhos significativos nas métricas de desempenho, sendo proposto um modelo que estima o comportamento estocástico ideal do sistema.

Pan e Hui [2017] investigam um problema real de controle de estoque em um centro de serviços de vestuário para idosos e pessoas com deficiência, em Hong Kong. Considera-se um sistema com revisão contínua e *backordering* parcial, onde a demanda segue um processo de Poisson com lead time constante. Uma política de estoque do tipo (Q, r) é aplicada, considerando riscos de ruptura, capacidade de armazenamento e acúmulo parcial de pedidos. Um modelo de otimização de custos é formulado com base em um estudo de caso, mostrando que a política proposta reduz o custo esperado por ciclo de pedido em aproximadamente 20%.

Engelseth e White [2020] analisam pedidos urgentes sob uma perspectiva intraorganizacional, destacando interações entre fornecedores e clientes. A partir de um estudo de caso com um fornecedor de dispositivos médicos, são exploradas duas categorias de pedidos: fornecimento com prazo estipulado e produção rápida sem estoque. A pesquisa adota o pensamento sistêmico para identificar causas, efeitos e soluções corretivas, contribuindo para a mitigação de problemas em pedidos urgentes e para o avanço da literatura nessa área. Tomazella et al. [2024] apresentam modelos para o problema integrado de *sourcing* e dimensionamento de lotes com múltiplos clientes e pedidos em atraso. O estudo, baseado em uma empresa do setor de refrigeração, trata demandas específicas por cliente, o que permite decisões mais precisas frente a faltas e acúmulos de ordens. Resultados computacionais demonstram que os modelos orientados ao nível de serviço promovem maior equidade entre clientes, ainda que à custa de uma leve redução na taxa de atendimento global.

Jiang, Shi e Shen [2019] propõem a otimização de estoques sob restrições probabilísticas de nível de serviço, considerando os parâmetros alpha (taxa de disponibilidade) e beta (taxa de atendimento). Dois modelos clássicos são avaliados: controle com atrasos e controle com remanufatura e devoluções aleatórias. O estudo introduz o conceito de produção forçada com atraso e apresenta um algoritmo heurístico eficiente para múltiplos itens, alcançando soluções com desvio inferior a 2% em relação à otimização. Cárdenas-Barrón et al. [2020] destacam a lacuna de estudos sobre otimização de estoques em serviços. Propõem um modelo em que tarefas e informações são tratadas como componentes estocáveis, buscando a integração entre estoque de serviços e processos físicos. A abordagem visa antecipar a execução de tarefas, otimizando a prestação de serviços.

Lai et al. [2017], no setor de transportes, apresentam um modelo híbrido para previsão de fluxo origem-destino em trens de alta velocidade. A metodologia integra o modelo Holt-Winters com análise das variações de frequência do serviço, aplicando o método do valor absoluto mínimo. Validado com dados da linha Pequim-Xangai (2012–2016), o modelo demonstrou alta precisão para previsão e avaliação de impacto das variações de frequência do serviço.

Liu, Chen e Huang [2021] propõem um modelo baseado em aprendizado por reforço para otimizar serviços de carregamento de veículos elétricos, enfrentando desafios como localização ideal de estações e tempo de carregamento. Com um modelo dinâmico de tempo de viagem e recompensas, a abordagem melhora a distribuição da carga entre estações e eleva a satisfação dos

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

usuários. Behzad, Moraga e Chen [2011] utilizam dinâmica de sistemas para modelar cadeias de suprimento internas em hospitais, com foco em erros na entrega de medicamentos e no efeito chicote. A simulação, validada com dados reais, mostra que o efeito chicote não se manifesta nesse contexto e identifica medidas para mitigar falhas de entrega. Duc, Tai e Buddhakulsomsiri [2022] desenvolvem um modelo de programação inteira mista baseado em serviço garantido, visando posicionar estoques em cadeias de suprimento com política básica. Com cenários baseados em distribuições normais e empíricas, os resultados mostram que a abordagem empírica supera a normal, apresentando diferença superior a 25%.

Chen et al. [2020] propõem um modelo difuso de demanda-benefício para o planejamento energético em cadeias de serviço de veículos elétricos. Utilizando dados da China (2011–2018), o modelo avalia a capacidade de carregamento com base em comportamento de mercado e políticas públicas, contribuindo para a otimização da infraestrutura energética. Por fim, Akkermans e Voss [2013] discutem a manifestação do efeito chicote no setor de serviços, com foco na indústria de telecomunicações. Por meio de estudos de caso, identificam fatores agravantes como retrabalho manual em processos automatizados, ausência de dados e falta de visão sistêmica. O controle desses fatores é apontado como essencial para o aprimoramento da gestão de serviços. A seguir, a Tabela 2 apresenta o resumo dos estudos avaliados.

Tabela 2 – Resumo das principais características dos estudos avaliados.

| Referência | Objetivo | Método | Resultados |
|---|---|---|---|
| Habib et al. [2017] | Detectar e restaurar falhas em microrredes | Sistema Multi-agentes | Reporte mais rápido das falhas e menor probabilidade de não conformidades |
| Selinka et al. [2022] | Análise do desempenho de filas com vários servidores | *Stationary Backlog-Carryover* | Eficiência da abordagem e aproximação da simulação com eventos de desempenho de filas de espera |
| Gruson et al. [2018] | Melhoria em dimensionamento de lotes | Backlog | Estabilização de custos e melhoria das soluções obtidas |
| Shabalov et al. [2021] | Análise do impacto das mudanças tecnológicas na infraestrutura energética local | Análise de cenários para o desenvolvimento energético | Evoluções tecnológicas melhoram a eficiência energética reduzindo a deterioração do sistema |
| Rahimi-Ghahroodi et al. [2017] | Determinação do nível de estoque e quantidade de técnicos ideias para minimização de custos | Heurística de planejamento integrado | Melhoria no planejamento |
| Rahimi-Ghahroodi et al. [2019a] | otimização dos níveis de estoque e número de técnicos de serviço | Heurística gulosa | Eficiência operacional |
| Rahimi-Ghahroodi et al. [2019b] | Incorporação de um fornecedor de emergência | Equilíbrio de Stalckerberg | Eficiência operacional |
| Esmaeili et al. [2018] | Análise de um sistema de estoques | Jogo de Stalckeberg | Compartilhamento de informações beneficia mais o armazém do que o varejista |
| Rahimi-Ghahroodi et al. [2020] | Análise de contratos de uma cadeia de suprimentos | Análise de cenários | Aumento no lucro dos fornecedores |
| Tan e Weng [2013] | Estudo de um novo sistema de estoque | Programação matemática mista | Reformulação dos níveis de serviço |
| Chiu et al. [2017] | Otimização do tempo de produção | Modelagem simulação e otimização | Auxílio para tomada de decisão |

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

| | | | |
|---|---|---|---|
| Wang et al. [2013] | Análise de uma política de racionamento | Abordagem heurística | Diferença nos mecanismos de racionamento de acordo com os custos |
| Saritha et al. [2019] | Otimização de custos e redução de tempos de serviços | Desenvolvimento de um modelo de estoque | Melhorias no sistema |
| Pan e Hui [2017] | Melhoria em um controle de estoque | Modelagem de otimização matemática | Redução de custo |
| Engelseth e White [2020] | Análises de processos de um fornecedor de dispositivos médicos | Aplicação de pensamentos de sistemas complexos | Identificação das causas de problemas de planejamento |
| Tomazella et al. [2024] | Apresentação de novos modelos de dimensionamento de lotes | Experimentos computacionais | Promoção de equidade de serviços entre clientes |
| Jiang et al. [2019] | Otimização do nível de estoques | Modelos estocásticos de controle de estoque | Otimização nos níveis de estoque |
| Cárdenas-Barrón et al. [2020] | Apresentar uma nova abordagem de inventário de serviços | Modelo de otimização de estoques | Redução de custos, aumento de lucro e melhoria nos níveis de serviço |
| Lai et al. [2017] | Previsão do fluxo de passageiros em trens de alta velocidade | Modelo híbrido de otimização | Eficiência na previsão do fluxo de passageiros |
| Liu et al. [2021] | Otimização no carregamento de veículos elétricos | Método de programação de serviços | Melhoria na eficiência das estações |
| Behzad et al. [2011] | Análise do impacto da aplicação de diferentes parâmetros na cadeia de suprimentos de um hospital | Simulação de sistemas | Redução de erros na entrega de medicamentos |
| Duc et al. [2022] | Determinar as posições e quantidades ideais de estoque | Programação inteira mista | Aproximação do modelo com a simulação |
| Chen et al. [2020] | Otimização do fornecimento de energia | Modelo demanda-benefício | Eficiência da ferramenta no fornecimento de energia |
| Akkermans e Voss [2013] | Análise do efeito-chicote em uma indústria de telecomunicações | Estudos de caso | Melhoria na gestão de cadeias de suprimentos |

Fonte: Autores

A análise dos trabalhos apresentados na Tabela 2 revela uma diversidade de abordagens aplicadas à gestão de estoques, serviços técnicos, microrredes e processos logísticos. Parte significativa dos estudos concentra-se na otimização de recursos, seja por meio da determinação de níveis ideais de estoque e alocação de técnicos [Rahimi-Ghahroodi et al., 2020, 2019a, 2019b, 2017], seja na melhoria de políticas de controle e planejamento operacional [Gruson et al., 2018b; Pan and Hui, 2017; Tan and Weng, 2013]. As metodologias empregadas variam entre heurísticas gulosas, programação matemática mista, simulação de sistemas, análise de cenários e teorias de jogos, como o equilíbrio de Stackelberg. Esses métodos resultaram, em sua maioria, na melhoria da eficiência operacional, na redução de custos e na maior estabilidade de processos. Além disso, estudos como os de Chiu et al. [2017] e Jiang et al. [2019] destacam a contribuição dos modelos de simulação e otimização para o apoio à tomada de decisão em ambientes com alta variabilidade da demanda. Outra vertente importante refere-se à aplicação de sistemas inteligentes e energéticos, como no trabalho de Habib et al. [2017], que utiliza sistemas multiagentes para a detecção e restauração de falhas em microrredes, e no estudo de Shabalov et al. [2021], que demonstra como inovações tecnológicas podem aumentar a eficiência energética. Estudos voltados para o carregamento de veículos elétricos Liu et al. [2021] e a otimização do fornecimento de energia Chen et al. [2020] também evidenciam o potencial de ferramentas computacionais na gestão eficiente de infraestruturas energéticas. Ainda, investigações como as de Lai et al. [2017] e Behzad et al. [2011] mostram como modelos híbridos e simulações podem contribuir para a previsão de demandas e a redução de erros em serviços essenciais. Apesar da ampla gama de aplicações, nota-se uma oportunidade de integração entre os domínios da gestão de estoques e *backlogging* em serviços de campo, o que abre espaço para contribuições inéditas em pesquisas futuras.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

## 4. Conclusão

A crescente demanda por energia elétrica, aliada à maior complexidade das redes de distribuição, impõe às concessionárias desafios relacionados à eficiência operacional e à qualidade do atendimento ao consumidor. Diante desse cenário, a gestão eficiente das ordens de serviço e a otimização no uso dos recursos disponíveis são importantes para mitigar os impactos das interrupções no fornecimento e garantir maior confiabilidade ao sistema elétrico. Ao mesmo tempo, esse contexto representa uma oportunidade a para o desenvolvimento de estudos e aplicações práticas em parceria com as agências reguladoras do setor.

Com base nessa perspectiva, esta pesquisa realizou uma RSL com o objetivo de identificar abordagens metodológicas aplicadas à roteirização e ao planejamento de equipes de manutenção no setor elétrico, com ênfase no uso do backlog como ferramenta de priorização. A análise dos 38 artigos selecionados permitiu mapear as principais contribuições científicas sobre o tema, destacando avanços relevantes no desenvolvimento de modelos matemáticos, simulações e aplicações práticas voltadas à melhoria da gestão de demandas reprimidas.

Os resultados revelam que o *backlog*, embora amplamente utilizado em setores industriais e de serviços, ainda carece de estudos aprofundados quando aplicado ao contexto específico das concessionárias de energia. As abordagens identificadas evidenciam a importância de considerar múltiplos critérios na definição das prioridades de atendimento, como tempo de espera, relevância da demanda, número de consumidores afetados e localização geográfica, além de sugerirem soluções integradas que envolvem o planejamento conjunto de equipes técnicas e de estoques de materiais.

Adicionalmente, um crescimento no interesse acadêmico por soluções baseadas em modelos estocásticos é identificado, redes de filas e simulações computacionais, que demonstram potencial para apoiar a tomada de decisão em ambientes com alta variabilidade e incerteza. Destaca-se também a atuação de autores recorrentes na área, cujos trabalhos contribuem para a consolidação do campo de estudo e fornecem subsídios importantes para futuras pesquisas.

No cenário brasileiro, há oportunidades para o desenvolvimento e aplicação de soluções adaptadas às condições operacionais e regulatórias das concessionárias nacionais. Nesse sentido, esta pesquisa se alinha aos objetivos do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da ANEEL (PDI ANEEL), oferecendo subsídios para o avanço de tecnologias e metodologias voltadas à realidade do setor elétrico brasileiro. A integração de estratégias de *backlog* com técnicas de roteirização e priorização em tempo real representa uma frente estratégica, com potencial para aumentar a eficiência dos serviços prestados, reduzir custos operacionais e melhorar a satisfação dos consumidores.

Portanto, há um espaço significativo para o desenvolvimento de novas abordagens aplicadas à realidade das concessionárias brasileiras, especialmente aquelas que integrem estratégias de *backlog* com técnicas de roteirização e priorização em tempo real. Esse avanço não apenas responde às lacunas identificadas na literatura, mas também reforça o compromisso deste trabalho com os objetivos do PDI ANEEL, promovendo inovações que podem ser diretamente aplicadas em projetos de campo no setor elétrico.

## Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Modelagem e Otimização de Sistemas (LaMOS – UFSM). Ao apoio e financiamento da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código Financeiro 001 e EQT Lab no âmbito do Projeto de PDI ANEEL PD-00037-0053/2024, em conjunto com o INESC P&D Brasil.

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

## Referências

Agência Nacional de Energia Elétrica, 2024. Relatório de gestão 2023: relatório integrado [WWW Document]. Ao longo de seus 26 anos de história, a Agência se dedica para garantir condições regulatórias favoráveis para o desenvolvimento do país, para a modernização do setor elétrico e para proporcionar um ambiente seguro para investimentos e em benefício da so…. URL https://biblioteca.aneel.gov.br/acervo/detalhe/241811 (accessed 4.7.25).

Akkermans, H., Voss, C., 2013. The service bullwhip effect. International Journal of Operations & Production Management 66, 765–788. https://doi.org/10.1108/IJOPM-10-2012-0402

Behzad, B., Moraga, R.J., Chen, S.-J., 2011. Modelling healthcare internal service supply chains for the analysis of medication delivery errors and amplification effects. Journal of Industrial Engineering and Management (JIEM) 4, 554–576. https://doi.org/10.3926/jiem.201

Bonomo, O.L., Yechiali, U., Reuveni, S., 2025. Queues with service resetting. Eur J Oper Res 322, 908–919. https://doi.org/10.1016/J.EJOR.2024.12.044

Breda, G.R., 2023. Métodos heurísticos para o problema de roteamento de equipes de trabalho na inspeção e na manutenção da rede elétrica.

Caires, L.M., Garcia, V.J., 2016. Strategy for the management of service orders in electrical energy concessionaires. Proceedings - 2016 51st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2016 2017-January, 1–5. https://doi.org/10.1109/UPEC.2016.8113993

Cândido, G.V., 2020. Otimização multicritério para roteirização de serviços de uma distribuidora de energia elétrica.

Cárdenas-Barrón, L.E., Reynoso, J., Edvardsson, B., Cabrera, K., 2020. Inventory model optimization revisited: Understanding service inventories to improve performance. Scientia Iranica Journal 27, 1572–1592. https://doi.org/10.24200/SCI.2018.50333.1639

Chen, W., Xu, M., Xing, Q., Cui, L., Jiao, L., 2020. A fuzzy demand-profit model for the sustainable development of electric vehicles in china from the perspective of three-level service chain. Sustainability 12, 1–18. https://doi.org/10.3390/SU12166389

Chiu, S.W., Liu, C.-J., Chen, Y.-R., Peter Chiu, Y.-S., 2017. Finite production rate model with backlogging, service level constraint, rework, and random breakdown. Engineering Modeling 30, 63–80.

Da Motta Xavier, E., Medeiros Pereira, G., Friedrich, L.R., Schneider, L.C., Danesi, L.C., Borchardt, M., 2016. Requirements to Leverage the Electricity Distributors' Sales and Revenues in the Brazilian Free Market. IEEE Latin America Transactions 14, 4293–4303. https://doi.org/10.1109/TLA.2016.7786308

Duc, N.T.T., Tai, P.D., Buddhakulsomsiri, J., 2022. Inventory Positioning in Supply Chain Network: A Service-Oriented Approach. IEEE Access 10, 92986–93002. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3202906

Engelseth, P., White, B.E., 2020. The networked handling of rush orders in customer services. Operations and Supply Chain Management An International Journal 13, 194–209. https://doi.org/10.31387/OSCM0410262

Esmaeili, M., Naghavi, M.S., Ghahghaei, A., 2018. Optimal (R, Q) policy and pricing for two-echelon supply chain with lead time and retailer's service-level incomplete information. Journal of Industrial Engineering International 14, 43–53. https://doi.org/10.1007/s40092-017-0207-9

Gruson, M., Cordeau, J.-F., Jans, R., 2018a. The impact of service level constraints in deterministic lot sizing with backlogging. Omega (Westport) 79, 91–103. https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.08.003

Gruson, M., Cordeau, J.-F., Jans, R., 2018b. The impact of service level constraints in deterministic lot sizing with backlogging. Omega (Westport) 79, 91–103. https://doi.org/10.1016/j.omega.2017.08.003

Habib, H.F., Youssef, T., Cintuglu, M.H., Mohammed, O.A., 2017a. Multi-Agent-Based Technique for Fault Location, Isolation, and Service Restoration. IEEE Trans Ind Appl 53, 1841–1851. https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2671427

Habib, H.F., Youssef, T., Cintuglu, M.H., Mohammed, O.A., 2017b. Multi-Agent-Based Technique for Fault Location, Isolation, and Service Restoration. IEEE Trans Ind Appl 53, 1841–1851. https://doi.org/10.1109/TIA.2017.2671427

Jiang, Y., Shi, C., Shen, S., 2019. Service Level Constrained Inventory Systems. Production and Operations Management POMS 28, 2365–2389. https://doi.org/10.1111/poms.13060

Lai, Q., Liu, J., Luo, Y., Ma, M., 2017. A Hybrid Short-Term Forecasting Model of Passenger Flow on High-Speed Rail considering the Impact of Train Service Frequency. Math Probl Eng 3, 1–9. https://doi.org/10.1155/2017/1828102

Liu, Y., Chen, W., Huang, Z., 2021. Reinforcement Learning-Based Multiple Constraint Electric Vehicle Charging Service Scheduling. Math Probl Eng 2021. https://doi.org/10.1155/2021/1401802

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br

Meng, Q., Feng, B., Yu, G., 2025. Dynamic volunteer assignment: Integrating skill diversity, task variability and volunteer preferences. Transp Res E Logist Transp Rev 197, 104068. https://doi.org/10.1016/J.TRE.2025.104068

Page, M.J., McKenzie, J.E., Bossuyt, P.M., Boutron, I., Hoffmann, T.C., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J.M., Akl, E.A., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J.M., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E.W., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., McGuinness, L.A., Stewart, L.A., Thomas, J., Tricco, A.C., Welch, V.A., Whiting, P., Moher, D., 2021. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. The BMJ. https://doi.org/10.1136/bmj.n71

Pan, A., Hui, C.-L., 2017. Inventory Control System for a Healthcare Apparel Service Centre with Stockout Risk: A Case Analysis. J Healthc Eng 2017, 799–816. https://doi.org/10.1155/2017/9210532

Rahimi-Ghahroodi, S., Al Hanbali, A., Vliegen, I.M.H., Cohen, M.A., 2019a. Joint optimization of spare parts inventory and service engineers staffing with full backlogging. Int J Prod Econ 212, 39–50. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.02.007

Rahimi-Ghahroodi, S., Al Hanbali, A., Zijm, W.H.M., Timmer, J.B., 2020. Multi-resource emergency supply contracts with asymmetric information in the after-sales services. Int J Prod Econ 229. https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2020.107761

Rahimi-Ghahroodi, S., Al Hanbali, A., Zijm, W.H.M., Timmer, J.B., 2019b. Emergency supply contracts for a service provider with limited local resources. Reliability Engineering & System Safety 189, 445–460. https://doi.org/10.1016/j.ress.2019.04.027

Rahimi-Ghahroodi, S., Al Hanbali, A., Zijm, W.H.M., van Ommeren, J.K.W., Sleptchenko, A., 2017. Integrated planning of spare parts and service engineers with partial backlogging. OS Spectrum 39, 711–748. https://doi.org/10.1007/s00291-017-0473-3

Ribeiro, V.C., José Da, R., Camões, S., Rocha De Araujo, A., 2018. Avaliação de Sistemas de Ordem de Serviço: Estudo de caso em Unidade Militar. TECNOLOGIAS EM PROJEÇÃO 9, 18–35.

Saritha, S., Mamatha, E., Reddy, C.S., 2019. Performance measures of online warehouse service system with replenishment policy. Journal Européen des Systèmes Automatisés 52, 631–638. https://doi.org/10.18280/jesa.520611

Selinka, G., Stolletz, R., Maindl, T.I., 2022. Performance Approximation for Time-Dependent Queues with Generally Distributed Abandonments. Informs journal of computing 34, 20–38. https://doi.org/10.1287/ijoc.2021.1090

Shabalov, M.Y., Zhukovskiy, Y.L., Buldysko, A.D., Gil, B., Starshaia, V. V., 2021. The influence of technological changes in energy efficiency on the infrastructure deterioration in the energy sector. Energy Reports 7, 2664–2680. https://doi.org/10.1016/j.egyr.2021.05.001

Tan, Y., Weng, M.X., 2013. Optimal stochastic inventory control with deterioration and partial backlogging/service-level constraints. International Journal of Operational Research 16, 241–261. https://doi.org/10.1504/IJOR.2013.051785

Tomazella, C.P., Santos, M.O., Alem, D., Jans, R., 2024. Service-level-driven procurement and production lot-sizing problem with demand fulfilment. Int J Prod Res 62, 1977–1998. https://doi.org/10.1080/00207543.2023.2204958

Wang, D., Tang, O., Huo, J., 2013. A heuristic for rationing inventory in two demand classes with backlog costs and a service constraint. Comput Oper Res 40, 2826–2835. https://doi.org/10.1016/j.cor.2013.06.001

**DOI:** 10.59254/sbpo-2025-212523
https://proceedings.science/p/212523?lang=pt-br