

Avaliação da criticidade de peças de reposição no setor ferroviário utilizando análise multicritério

Criticality assessment of spare parts in the railway sector using multi-criteria analysis

Isabella Alves Cavalcanti Engenheira de Produção. Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) – Brasil.
<https://orcid.org/0009-0007-9818-4854> isabella.cavalcanti@discente.univasf.edu.br

Felipe Guilherme Oliveira-Melo Mestre em Engenharia Industrial. Doutorando em Engenharia Industrial pela Universidade Federal da Bahia (UFBA) – Brasil.
<https://orcid.org/0000-0002-5339-5718> felipe.guilherme@univasf.edu.br

RESUMO

A gestão de estoques de peças de reposição é uma atividade complexa na manutenção devido à demanda esporádica, aos longos prazos de entrega por importação e aos altos custos. A ausência de estoque de segurança de peças de reposição pode comprometer a operação de equipamentos e interromper processos críticos, enquanto manter estoques excessivos representa capital imobilizado. Nesse contexto, este trabalho visa classificar e priorizar peças de reposição de uma indústria do setor ferroviário por meio de uma abordagem sistemática baseada no método de Análise Hierárquica de Processos (AHP). Desse modo, espera-se reduzir rupturas de estoque, direcionar investimentos para itens realmente críticos e aumentar a disponibilidade operacional. Foram analisados 24 itens de reposição utilizando critérios como qualidade, segurança, criticidade do ativo e tempo de entrega. Os dados foram obtidos do sistema SAP-PM e complementados com informações de especialistas. A classificação VED (Vital, Essencial e Desejável) foi aplicada, seguida de uma reclassificação ABC com base nos pesos definidos pelo método AHP. Dos itens analisados, 67% tiveram sua classificação alterada, considerando a classificação adotada atualmente pela empresa, refletindo maior alinhamento com as prioridades operacionais. Itens inicialmente classificados como críticos foram rebaixados devido à baixa relevância em critérios-chave, enquanto outros foram promovidos por sua importância operacional. A nova classificação demonstrou potencial para otimizar recursos e reduzir a escassez de materiais críticos, aumentando a confiabilidade dos ativos. A aplicação do AHP provou ser eficaz na gestão de estoques, permitindo ajustes contínuos e promovendo melhorias operacionais. A abordagem proposta se mostrou efetiva para a empresa estudada, além de fornecer uma base para estudos futuros que avaliem sua aplicabilidade em outros contextos ou em conjuntos de itens mais amplos.

Palavras-chave: Análise Hierárquica de Processos; Empresa Ferroviária; Gestão de Estoque; Peças Sobressalentes.

ABSTRACT

Spare parts inventory management is a complex activity within maintenance operations due to sporadic demand, long lead times associated with imports, and high costs. The absence of safety stock for spare parts can jeopardize

equipment operation and disrupt critical processes, whereas excessive inventory represents tied-up capital. In this context, this study aims to classify and prioritize spare parts in a railway industry through a systematic approach based on the Analytic Hierarchy Process (AHP) method. The goal is to reduce stockouts, direct investments toward genuinely critical items, and increase operational availability. A total of 24 spare parts were analyzed using criteria such as quality, safety, asset criticality, and lead time. Data were collected from the SAP-PM system and complemented with expert input. The VED (Vital, Essential, and Desirable) classification was applied, followed by an ABC reclassification based on the weights defined by the AHP method. Among the analyzed items, 67% had their classification altered compared with the company's current categorization, reflecting greater alignment with operational priorities. Items initially classified as critical were downgraded due to low relevance in key criteria, while others were upgraded based on their operational importance. The new classification demonstrated potential to optimize resources and reduce shortages of critical materials, thereby enhancing asset reliability. The application of AHP proved effective for inventory management, enabling continuous adjustments and promoting operational improvements. The proposed approach was effective for the company under study and provides a foundation for future research assessing its applicability in other contexts or with broader sets of items.

Keywords: analytic hierarchy process; railway industry; inventory management; spare parts; replacement parts.

Recebido em 02/01/2025. Aprovado em 02/12/2025. Avaliado pelo sistema *double blind peer review*. Publicado conforme normas da ABNT.
<https://doi.org/10.22279/navus.v16.2074>

1 INTRODUÇÃO

A gestão de estoques é fundamental nos processos industriais, pois se concentra em definir o momento de realizar novos pedidos e determinar as quantidades a serem adquiridas, decisões que podem reduzir custos e aumentar a eficiência operacional (Torre; Salomon; Florek-Paszkowska, 2025; Wang et al., 2025). Segundo Wanke (2012), os estoques frequentemente representam até 50% do investimento total de capital, figurando entre os ativos de maior valor.

Modelos tradicionais de gestão de estoques, como os modelos de revisão periódica e de revisão contínua, atendem bem a demandas previsíveis em produção e distribuição (Wanke, 2012; Gomes; Wanke, 2008; Rosa; Mayerle; Gonçalves, 2010). Contudo, peças de reposição apresentam demandas esporádicas, longos prazos de entrega e altos custos, exigindo níveis de serviço elevados. A indisponibilidade pode causar interrupções críticas, enquanto o excesso aumenta os custos operacionais (Silva; Hernandez; Brandalise, 2019). Assim, a gestão de peças de reposição é uma das mais complexas na manutenção, demandando estratégias específicas (Almeida et al., 2015).

Empresas com grande variedade de itens enfrentam desafios adicionais na gestão de estoques. Classificar itens em subgrupos simplifica a adoção de políticas mais adequadas e reduz a complexidade operacional (Santos; Rodrigues, 2006). No caso das peças de reposição, essa abordagem possibilita priorizar itens críticos, alocando recursos estrategicamente e concentrando esforços nos itens com maior impacto potencial em caso de falha (Silva; Hernandez; Brandalise, 2019).

Ramaganesh et al. (2021) reforçam que a gestão de peças de reposição é determinante para indústrias que dependem de muitos ativos. A falta dessas peças pode gerar paradas prolongadas e custos elevados, enquanto sua manutenção em estoque resulta em despesas significativas, especialmente no caso de itens caros e de uso raro (Dendauw et al., 2021; Silva; Hernandez; Brandalise, 2019). Assim, é necessário equilibrar custos e disponibilidade, otimizando recursos e reduzindo perdas (Pinçe; Turrini; Meissner, 2021).

Diversos métodos dedicados à previsão de demanda de peças de reposição têm sido propostos na literatura, desde o modelo clássico de Croston até suas variações, como Syntetos-Boylan Approximation e Teunter-Syntetos-Babai (TSB) (Affonso et al., 2024). Esses modelos se tornaram referência em contextos com demandas intermitentes, uma vez que o método de Croston foi pioneiro ao adaptar o modelo de suavização exponencial para esse tipo de comportamento. Posteriormente, Syntetos e Boylan identificaram um viés significativo no método original e propuseram uma modificação que aprimorou a acurácia das previsões. De forma semelhante, Teunter, Syntetos e Babai avançaram com a revisão do método (TSB), reduzindo as imprecisões na estimativa de demandas por período. Assim, tais técnicas representam a principal vertente da literatura sobre previsão de demandas esporádicas (Huskova; Kasparova; Dyntar, 2025). Contudo, esses métodos ainda apresentam limitações, como a necessidade de pressupostos sobre distribuições de probabilidade e a dissociação entre previsão e controle de estoques, situação em que maior precisão nas previsões nem sempre resulta em melhor desempenho de inventário.

Nesse cenário, a adoção do método multicritério de Análise Hierárquica de Processos (AHP) se justifica por oferecer uma estrutura acessível e prática para a classificação de peças de reposição segundo múltiplos critérios de

criticidade, eliminando a necessidade de métodos híbridos complexos (Torre; Salomon; Florek-Paszowska, 2025).

Nesse contexto, este estudo visa classificar e priorizar peças de reposição de uma indústria do setor ferroviário por meio de uma abordagem sistemática baseada no método de AHP. A pesquisa foi aplicada em uma empresa ferroviária que avalia somente a criticidade dos ativos, sem considerar adequadamente a criticidade das peças de reposição. A ausência dessa análise pode resultar na falta de materiais críticos e em decisões reativas de reposição.

A pesquisa busca responder à seguinte questão: de que forma a avaliação multicritério da criticidade de peças de reposição pode alterar sua classificação e apoiar uma gestão de estoques mais alinhada às prioridades operacionais em uma empresa ferroviária? A contribuição do estudo consiste na integração de fatores como tempo de entrega, produção, criticidade do ativo, qualidade e segurança em uma ferramenta prática, capaz de apoiar decisões mais assertivas. Essa abordagem promove ganhos de eficiência operacional e disponibiliza um método estruturado que pode ser replicado em diferentes áreas do setor ferroviário, como a manutenção de via, de locomotivas e de vagões, por exemplo.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Esta seção aborda a complexidade da gestão de estoques de peças de reposição, a classificação dessas peças na literatura, uma introdução aos métodos de decisão multicritério e, por fim, o método AHP, destacando sua aplicação na priorização de peças e exemplos de estudos relacionados.

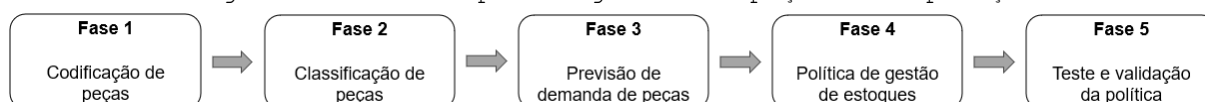
2.1 Peças de reposição

A gestão de peças de reposição envolve duas principais aplicações: o gerenciamento de inventário para suprimentos de Manutenção, Reparo e Operações (MRO), como ferramentas e lubrificantes, essenciais para a manutenção dos equipamentos; e o gerenciamento de peças destinadas a serviços pós-venda, oferecendo suporte ao longo da vida útil dos produtos (Bhalla et al., 2021).

Segundo Silva, Hernandez e Brandalise (2019), a disponibilidade dos ativos é determinante para minimizar o tempo de inatividade na manufatura, exigindo a utilização de peças de reposição para substituições. Roda et al. (2014) afirmam que os estoques de reposição garantem o funcionamento contínuo dos equipamentos, sendo gerenciados de forma mais complexa que outros tipos de estoque devido a fatores como demanda irregular, necessidade de resposta rápida e risco de obsolescência (Bacchetti; Sacconi, 2012).

Nesse contexto, Cavalieri et al. (2008) propuseram um *framework* em cinco fases para orientar a tomada de decisão na gestão de peças de reposição (Figura 1), que abrange desde a codificação até a validação da política de estoque.

Figura 1 – Passos para a gestão de peças de reposição



Fonte: Adaptado de Cavalieri et al. (2008).

As cinco fases apresentadas na Figura 1 incluem: (1) a codificação de peças, que atribui um sistema específico para materiais MRO, diferenciando-se das listas de materiais de produtos e fornecendo informações técnicas, localização e fornecedor; (2) a classificação de peças, que organiza os materiais conforme aspectos como criticidade, especificidade e valor, facilitando a definição de políticas de estoque; (3) a previsão de demanda, que utiliza técnicas específicas devido ao consumo esporádico e à dependência de fatores como confiabilidade e número de equipamentos; (4) a definição de políticas de gestão de estoques, que devem ser personalizadas para cada classe de itens, variando entre políticas *on-demand* e métodos tradicionais; e, por fim, (5) o teste e validação dessas políticas, garantindo sua eficácia por meio de ajustes baseados nos resultados obtidos (Cavalieri et al., 2008).

Este estudo foca na segunda fase, referente à classificação das peças de reposição, detalhada a seguir.

2.1.1 Classificação de peças de reposição

A etapa de classificação de peças de reposição é primordial para guiar o processo de gestão, pois aprimora a utilização de recursos, orienta decisões estratégicas, aumenta a disponibilidade de componentes e contribui para a redução de custos (Roda et al., 2014; Molenaers et al., 2012). A classificação permite selecionar métodos adequados de controle e definir níveis de estoques, priorizando peças críticas (Syntetos; Keyes; Babai, 2009; Bacchetti; Saccani, 2012).

Teixeira, Lopes e Figueiredo (2018) identificam dois critérios de classificação principais: criticidade para o processo (impacto de falhas) e criticidade de controle (dificuldade de reposição). Além disso, Bhalla et al. (2021) destacam três áreas de decisão: seleção de critérios (como custo, tempo de entrega e incerteza no fornecimento), definição de categorias (como ABC, VED, FSN etc.) e aplicação de métodos de classificação/agrupamentos, como AHP e *k-means*.

Na indústria, o método ABC é o mais usado, classificando itens em A (importantes), B (moderados) e C (menos importantes) com base na demanda anual e preço médio por unidade (Teixeira et al., 2018). No entanto, Roda et al. (2014) e Huiskonen (2001) apontam que essa abordagem unidimensional pode não ser suficiente para contemplar todos os requisitos de controle de diferentes tipos de itens, especialmente diante da diversidade de características relevantes. Assim, a literatura reconhece a necessidade de abordagens multicritério, capazes de integrar diferentes dimensões de criticidade (Bacchetti; Saccani, 2012; Teixeira; Lopes; Figueiredo, 2018). Nesse contexto, métodos qualitativos oferecem maior flexibilidade por incorporarem o conhecimento de especialistas e permitirem adaptações ao ambiente específico da empresa.

No campo qualitativo, o método VED (Vital, Essencial e Desejável) utiliza a opinião de especialistas para classificar peças críticas, embora seja sujeito a subjetividade (Roda et al., 2014; Teixeira; Lopes; Figueiredo, 2018). Gajpal, Ganesh e Rajendran (1994) foram os primeiros a propor a aplicação do método AHP em conjunto com a classificação VED para mitigar os problemas de subjetividade.

A classificação de peças de reposição considera diversos critérios além de custo e demanda, como custo da falta de estoque, tempo de reposição e preço unitário (Roda et al., 2014). Critérios adicionais incluem especificidade, volume, previsibilidade da demanda, obsolescência, ciclo de

vida, número de fornecedores e probabilidade de falha (Petrović; Petrović, 1992; Partovi; Burton, 1993; Molenaers et al., 2012; Zeng; Wang; He, 2012). Contudo, não há consenso na literatura sobre quais critérios são mais adequados (Roda et al., 2014).

Teixeira, Lopes e Figueiredo (2018) destacam aspectos financeiros, como o valor das peças e os investimentos, e aspectos práticos, como o tempo de entrega e a probabilidade de falha, enquanto Muniz et al. (2021) ressaltam que a criticidade varia conforme o setor e a atividade.

A seleção de peças para estoque exige uma análise criteriosa que considera múltiplos fatores e cenários, requerendo a atribuição de pesos específicos a cada critério. Nesse contexto, os métodos de decisão multicritério organizam dados complexos para decisões mais eficazes (Muniz et al., 2021; Kriguer, 2015).

A seção a seguir apresenta os métodos de decisão multicritério, com foco no método AHP, utilizado nesta pesquisa.

2.2 Métodos de decisão multicritério

A tomada de decisão multicritério auxilia em problemas complexos caracterizados por incertezas, objetivos conflitantes e múltiplos interesses, fornecendo uma estrutura para avaliar e comparar alternativas. Suas técnicas se adaptam a diferentes métodos e critérios, cada um apropriado para tipos específicos de decisões (Muniz et al., 2021; Nasrollahi et al., 2023).

Muniz et al. (2021) destacam que a escolha do método depende das características do problema, exigindo uma seleção criteriosa para resultados eficazes. A compreensão das características distintas de cada método é decisiva para selecionar a abordagem mais adequada para um determinado problema de decisão.

O método AHP, proposto por Saaty na década de 70, é amplamente utilizado em decisões multicritério e foi pioneiramente aplicado na classificação de itens de manutenção por Partovi e Burton (1993) (Kriguer, 2015; Roda et al., 2014; Muniz et al., 2021).

O AHP estrutura o problema em uma hierarquia de três níveis: objetivo geral no topo, critérios no nível intermediário e alternativas no nível inferior (Gajpal; Ganesh; Rajendran, 1994). Essa abordagem permite determinar prioridades relativas ou pesos para os critérios e alternativas por meio de comparações em pares, sendo especialmente útil para classificar peças de reposição (Silva; Hernandez; Brandalise, 2019).

Além de ser flexível, o método AHP combina dados qualitativos e quantitativos, lidando com critérios conflitantes e subjetivos (Roda et al., 2014; Silva; Hernandez; Brandalise, 2019; Gajpal; Ganesh; Rajendran, 1994; Muniz et al., 2021). O método segue quatro etapas, detalhadas nas próximas seções: (1) Modelagem do método AHP; (2) Comparação dos critérios e alternativas; (3) Definição das prioridades globais; e (4) Cálculo da consistência (Saaty, 2008; Kriguer, 2015).

2.2.1 Método AHP

O método AHP organiza o problema em três níveis hierárquicos: no primeiro, define-se o objetivo geral; no segundo, listam-se os critérios relacionados a esse objetivo; e no terceiro, detalham-se as alternativas associadas a cada critério.

Em seguida, realizam-se comparações em pares entre critérios e entre alternativas, utilizando julgamentos verbais convertidos em uma escala de 1 a 9 proposta por Saaty (1990). Essa escala fundamental representa os julgamentos usados na comparação apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Escala Fundamental de Saaty

Intensidade de importância	Definição	Descrição
1	Igual importância	As duas atividades contribuem igualmente para o objetivo
3	Importância moderada	A experiência ou o julgamento favorece levemente uma atividade em relação à outra
5	Forte importância	A experiência ou o julgamento favorece fortemente uma atividade em relação à outra
7	Importância muito forte	Uma atividade é fortemente favorecida em relação à outra e sua dominância pode ser demonstrada na prática
9	Importância absoluta	A evidência que favorece uma atividade sobre outra é do mais alto grau possível de afirmação.
2, 4, 6, 8	Valores intermediários entre os dois julgamentos sucessivos	Quando se procura uma condição de compromisso entre duas definições.

Fonte: Saaty (1990).

Esse processo avalia a relevância relativa de cada elemento. O número de comparações (I) em cada nível é calculado pela fórmula $= n \times (n - 1)/2$, em que n é o número de elementos.

Assumindo que existam n critérios C_1, \dots, C_n , cujos pesos valem w_1, \dots, w_n , respectivamente, é construída a matriz de comparações par a par, na qual as linhas fornecem as razões dos pesos de cada critério em relação a todos os outros. A representação das comparações pode ser representada por uma matriz de julgamento (A) (Tabela 1).

Tabela 1 – Matriz de comparações

	C_1	C_2	...	C_n
C_1	w_1/w_1	w_1/w_2	...	w_1/w_n
C_2	w_2/w_1	w_2/w_2	...	w_2/w_n
\vdots	\vdots	\vdots		\vdots
C_n	w_n/w_1	w_n/w_2	...	w_n/w_n

Fonte: Adaptado de Saaty (1990).

Onde w_i é o peso relativo do critério C_i .

A matriz $A = (a_{ij})$, $a_{ij} = w_i/w_j, i, j = 1, \dots, n$, possui entradas positivas em todas as posições e satisfaz a propriedade recíproca $a_{ij} = 1/a_{ji}$.

Se um elemento da linha for menos importante do que um elemento da coluna na matriz de comparação, o valor recíproco é inserido na posição correspondente da matriz.

Depois que a matriz de julgamento for desenvolvida, calcula-se um vetor de prioridade (w) para ponderar os elementos da matriz. Para tanto, divide-se cada elemento da matriz de julgamentos pela soma da coluna a que pertence. Ao fazer isso, a soma de todas as divisões da coluna é igual a 1. Esse passo é representado pela Equação 1.

$$Aw = \begin{array}{c|cccc} & w_1/w_1 & w_1/w_2 & \dots & w_1/w_n \\ \hline w_2/w_1 & w_2/w_1 & w_2/w_2 & \dots & w_2/w_n \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & w_n/w_1 & w_n/w_2 & \dots & w_n/w_n \\ \hline \sum w_n/w_1 & \sum w_n/w_2 & \dots & \sum w_n/w_n \end{array} \quad (1)$$

$$a_{11} = \frac{w_1/w_1}{\sum w_n/w_1}; a_{12} = \frac{w_1/w_2}{\sum w_n/w_2} \dots a_{1n} = \frac{w_1/w_n}{\sum w_n/w_n}.$$

Em seguida, soma-se cada linha da matriz normalizada (Aw) e divide-se por n , a fim de obter o peso relativo do critério correspondente. O somatório dos pesos encontrados deve ser igual a 1. A solução origina a matriz denominada autovetor.

A qualidade dos julgamentos deve ser avaliada por meio do Índice de Consistência (IC) e da Razão de Consistência (RC).

O Índice de Consistência é representado por:

$$IC = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}, \quad (2)$$

Onde λ_{max} é o autovalor máximo da matriz, dado por:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum \frac{Aw_i}{w_i}, \quad (3)$$

Ou seja, faz-se o somatório das razões entre os valores do autovetor e os pesos relativos dos critérios. Em seguida, divide-se o resultado do somatório por n .

Por fim, é determinada a Razão de Consistência, dada por:

$$RC = \frac{IC}{IR}, \quad (4)$$

Onde IR é o índice randômico dado em função da ordem da matriz A . Seus valores podem ser obtidos pela Tabela 2.

Tabela 2 - Índice randômico para matrizes quadradas de ordem n

n	3	4	5	6	7	8	9	10
IR	0,58	0,9	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fonte: Adaptado de Saaty (1987).

Os julgamentos são considerados aceitáveis se $RC \leq 0,1$, ou seja, menor que 10%. Em casos de inconsistência, o processo de avaliação para a matriz inconsistente é imediatamente repetido. Uma razão de inconsistência de 0,1 ou mais pode exigir investigações adicionais.

Na última etapa, uma síntese de todo o processo é realizada, resultando na elaboração de um *ranking* das alternativas avaliadas. Isso é feito combinando as matrizes das alternativas com a matriz dos critérios, fazendo o somatório do produto do vetor prioridade da matriz dos critérios com o peso das alternativas atribuídas.

Na aplicação prática do AHP, observou-se a ocorrência de inconsistências nas avaliações ($RC > 0,1$), decorrentes da falta de revisão das respostas pelos participantes, da dificuldade de manter coerência com muitos critérios e da própria limitação da escala de 1 a 9, que não permite

pontuações fracionadas. Além disso, erros no preenchimento ou uso inadequado dos extremos podem acentuar o problema (Baby, 2013).

Para lidar com esse tipo de limitação, a literatura apresenta alternativas metodológicas, como o GAOHP, que combina produto de Hadamard e algoritmos genéticos para ajustar as matrizes, mantendo a intenção dos avaliadores (Zhang et al., 2022). Outras propostas incluem o método iterativo simplificado de Pascoe (2022), adequado para grandes conjuntos de dados, e a técnica de Jarek (2016), que reduz a inconsistência para níveis aceitáveis em apenas uma iteração.

Apesar das vantagens oferecidas por essas abordagens, optou-se por não as adotar neste trabalho, devido à complexidade adicional que esses métodos introduziriam no processo de análise. O foco deste estudo foi aplicar uma abordagem prática e replicável, passível de implementação pela equipe de manutenção da empresa ferroviária, sem a necessidade de ferramentas ou conhecimentos avançados em otimização matemática.

2.3 O método AHP aplicado à classificação de peças de reposição

Considerando a necessidade de identificar os principais critérios utilizados na aplicação do método AHP para classificação de peças de reposição, o Quadro 2 apresenta os trabalhos mais relevantes sobre o tema e os respectivos critérios adotados pelos autores. Os trabalhos foram selecionados por meio de uma revisão bibliográfica sobre o tema e pela análise das referências citadas nos artigos examinados durante a pesquisa.

Os critérios mais recorrentes para a classificação de peças de reposição incluem: a criticidade do equipamento, o *lead time* e o número de fornecedores potenciais. A criticidade do equipamento aparece em vários estudos, como Ferreira et al. (2018), Ghuge, Dohale e Akarte (2022) e Molenaers et al. (2012), evidenciando sua relevância na priorização de itens essenciais para a operação contínua de sistemas críticos. Já o *lead time*, presente em pesquisas mais recentes como as de Silva, Hernandez e Brandalise (2019) e Muniz et al. (2021), reflete a importância do tempo necessário para reposição, especialmente em indústrias nas quais interrupções na produção acarretam prejuízos significativos. O número de fornecedores potenciais, também frequente, indica a dependência de uma base diversificada de fornecedores para mitigar riscos de indisponibilidade.

Nos estudos mais recentes, como os de Ghuge, Dohale e Akarte (2022) e Muniz et al. (2021), observa-se um foco crescente em critérios relacionados à segurança, ao impacto ambiental e à confiabilidade das peças, refletindo preocupações com sustentabilidade e responsabilidade social corporativa. Além disso, critérios financeiros, como custo da falta de estoque e orçamento anual alocado, evidenciam a busca por uma gestão de estoques mais eficiente e alinhada às restrições econômicas. Esses avanços apontam para uma abordagem mais abrangente e multicritério na tomada de decisões, que considera, além dos aspectos operacionais, também os impactos ambientais e sociais.

Quadro 2 – Critérios utilizados e aplicações do método AHP na literatura

Autor(es)	Critérios	Aplicação
Ferreira et al. (2018)	Criticidade do equipamento Volume da demanda Valor unitário Tempo de entrega Número de fornecedores potenciais	Refinaria de biodiesel
Ghuge, Dohale e Akarte (2022)	Lead time Custo unitário Demanda anual Orçamento anual alocado Criticidade do equipamento Número de fornecedores Custo de falta de estoque	Empresa de manufatura
Kriguer (2015)	Valor de aquisição Giro de estoque Item crítico Ciclo de vida Tempo de fornecimento Item estrutural	Empresa de bens de capital
Silva, Hernandez e Brandalise (2019)	Lead time Variabilidade do consumo Custo de aquisição Forma de ressuprimento Segurança Meio ambiente Qualidade Produção	Empresa de capital intensivo
Molenaers et al. (2012)	Criticidade do equipamento Probabilidade de falha do item Tempo de reabastecimento Número de fornecedores potenciais Disponibilidade de especificações técnicas Tipo de manutenção	Planta petroquímica
Muniz et al. (2021)	Segurança interna e dano ambiental Garantia de segurança Tempo de inatividade Perda de qualidade do produto Criticidade da função Prioridade da máquina Confiabilidade da peça Tempo de negociação Lead time Preço	Mineradora
Braglia, Grassi e Montanari (2004)	Perda de produção Efeito dominó Segurança interna/externa e dano ambiental Canibalismo Lead time Número de fornecedores potenciais Preço Obsolescência Frequência de falha Taxa de uso	Indústria de papel

Fonte: Os autores (2025).

3 MÉTODOS

Esta pesquisa possui natureza aplicada e adota uma abordagem mista (quantitativa e qualitativa). Trata-se de um estudo de campo de caráter empírico (Calefi; Oliveira-Melo, 2020), baseado em dados reais provenientes de uma empresa do setor ferroviário.

3.1 Contexto formal de pesquisa

Este estudo foi conduzido em uma empresa do setor ferroviário, responsável por uma obra de malha ferroviária em execução no Nordeste brasileiro, interligando três estados: Pernambuco, Ceará e Piauí.

O escopo desta pesquisa engloba o setor de manutenção de Máquinas de Via, mais precisamente os Equipamentos de Grande Porte (EGP). Este setor é responsável pela execução dos planos de manutenção dos ativos, garantindo níveis adequados de confiabilidade e disponibilidade necessários para a montagem da superestrutura da ferrovia. A Tabela 3 descreve os equipamentos do setor.

Tabela 3 - Máquinas de via (EGP)	
Nome	Quantidade
Socadora niveladora alinhadora	3
Reguladora de lastro	3
Caminhão rodoferroviário	2
Caminhão munck	1
Caminhão de via ferroviária	1
Veículo leve sobre trilho (VLT)	1
Pórtico de lançamento de dormentes	4
Empilhadeira 12 T	1
Empilhadeira 7 T	1

Fonte: Os autores (2025).

A ausência de um método sistematizado para avaliar a criticidade das peças dificulta a gestão dos estoques na empresa. Atualmente, a classificação é realizada com base na criticidade dos sistemas dos ativos, sem considerar a criticidade individual das peças. Por exemplo, se um dos sistemas de um ativo for classificado com criticidade A, todas as peças do mesmo ativo recebem a mesma classificação de criticidade A. Os estoques são controlados apenas para itens de desgaste, resultando em frequentes faltas de materiais para manutenções, com itens críticos sendo adquiridos apenas após falhas nos equipamentos.

3.2 Planejamento e operacionalização da pesquisa

Esta seção apresenta o planejamento e a operacionalização da pesquisa, detalhando as etapas realizadas para a aplicação do método.

3.2.1 Coleta de dados e análise exploratória

Foi compilada uma base de dados a partir dos registros de aquisição de peças de reposição para o setor de máquinas de via, cobrindo o período de agosto de 2021 a janeiro de 2024, com um total de 944 itens. A análise preliminar revelou que a maioria dos itens (822 ao todo) foi solicitada apenas uma vez. Além disso, alguns itens foram solicitados duas ou três vezes ao longo do período avaliado. Após a análise exploratória dos dados, foram selecionados aleatoriamente 24 itens para aplicação do método. Para classificá-los segundo a lógica adotada pela empresa, foi necessário determinar a criticidade dos ativos e de seus sistemas, com apoio da equipe de engenharia de manutenção. Com a colaboração do setor de máquinas de via, identificaram-se os sistemas relacionados aos itens e as classes ABC correspondentes foram atribuídas.

3.2.2 Modelagem do método AHP

O método AHP foi aplicado conforme as etapas descritas na Seção 2.2.1. Dada a ausência de uma formalização prévia sobre os critérios e suas respectivas importâncias para a avaliação de itens de reposição (Kriguer,

2015), este estudo identificou critérios relevantes na literatura. Uma lista consolidada foi avaliada por profissionais da empresa envolvidos na manutenção de ativos, incluindo coordenadores de Planejamento e Controle de Manutenção, de material rodante, de engenharia e engenheiros de manutenção, denominados "Avaliadores". Esses profissionais selecionaram os critérios que consideraram mais relevantes para a gestão de peças de reposição. Os cinco critérios mais votados foram utilizados na análise (Quadro 3).

Para garantir uniformidade na interpretação dos critérios, foi fornecido um quadro explicativo aos participantes durante a etapa de comparação dos critérios. Em seguida, para construir a matriz de decisão do AHP, foi desenvolvido um formulário que permitiu aos avaliadores comparar diretamente os cinco critérios selecionados. Cada critério foi comparado em pares, totalizando 10 comparações. Os participantes atribuíram valores utilizando a Escala Fundamental de Saaty (1 a 9), que representa a importância relativa de um critério em relação a outro (Saaty, 1990). A partir dessas comparações, foram calculados os pesos individuais de cada critério, refletindo sua contribuição relativa no processo de decisão.

As alternativas do método AHP foram definidas com base na classificação VED, que categoriza as peças de reposição em três níveis de criticidade: Vital (V), Essencial (E) e Desejável (D). Os pesos atribuídos a essas categorias foram baseados em estudos prévios (Silva, Hernandez e Brandalise, 2019; Kriquer, 2015), sendo $V = 70\%$, $E = 23\%$ e $D = 7\%$.

Com os pesos dos critérios e das alternativas VED, foi realizada uma nova classificação ABC para os 24 itens analisados. Essa classificação foi obtida pela multiplicação dos pesos dos critérios pelos pesos das alternativas no método AHP, gerando uma hierarquia que reflete a importância relativa de cada item para reposição e estocagem. Por fim, a nova classificação foi comparada à classificação tradicional da empresa, permitindo identificar possíveis ajustes para otimizar a gestão de estoques.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Seleção e avaliação dos critérios

O Quadro 3 apresenta os critérios empregados neste estudo para classificar os itens de reposição, acompanhados de suas respectivas explicações e das alternativas que compõem os parâmetros adotados para a Classificação VED. Este quadro foi fornecido aos participantes da pesquisa durante a etapa de comparação dos critérios, a fim de assegurar uma interpretação uniforme.

Quadro 3 - Critérios de classificação adotados na pesquisa

Critério	Explicação	Alternativas
C1 - Tempo de entrega	Tempo decorrido entre a data da requisição de compra e a chegada do material, em dias	V - Tempo de entrega > 180 E - $45 < \text{Tempo de entrega} \leq 180$ D - Tempo de entrega ≤ 45
C2 - Produção	Uma falha tem consequência na produção se causar uma perda de função ou outro dano que interrompa a produção.	V - A falta do item resultaria em interrupções significativas na linha de produção ou nos processos operacionais. E - Sua falta pode levar a atrasos ou impactos moderados na produção, mas a produção pode continuar com ajustes temporários. D - Sua falta pode ser gerenciável com poucos ou nenhum impacto significativo na produção.
C3 - Criticidade do ativo	O grau de importância do ativo para o funcionamento geral de um sistema ou processo.	V - Ativos críticos cuja falha pode resultar em sérios impactos operacionais, financeiros ou de segurança; possuem criticidade A. E - Ativos necessários para atender às demandas normais de produção ou serviço, mas com possibilidade de substituição temporária; possuem criticidade B. D - Ativos cuja manutenção ou investimento pode ser adiada sem causar grandes problemas operacionais ou financeiros; possuem criticidade C.
C4 - Qualidade	Uma falha tem consequência na qualidade se causar uma perda de função ou outro dano que provoque problemas na qualidade do produto.	V - Item essencial para o desempenho adequado dos produtos da empresa. E - Item importante para a reputação da empresa, mas com uma tolerância maior para falhas ou defeitos ocasionais. D - Item não crítico para o desempenho dos produtos, com uma tolerância mais alta para falhas ou defeitos.
C5 - Segurança	Uma falha tem consequência na segurança se causar uma perda de função ou outro dano que poderia ferir ou matar alguém.	V - Falha do item pode resultar em riscos graves à saúde ou segurança, incluindo acidentes graves ou lesões. E - A falha do item pode resultar em riscos moderados à segurança, exigindo ação corretiva imediata para mitigar os impactos. D - A falha do item tem pouco ou nenhum impacto direto na segurança, mas pode aumentar os riscos indiretos se não for mantido adequadamente.

Fonte: Os autores (2025).

Os avaliadores realizaram as comparações par a par dos cinco critérios, permitindo o preenchimento das matrizes de comparação conforme o modelo apresentado na Tabela 1. Com base nessas matrizes, foram calculados os vetores de prioridade dos critérios e as respectivas razões de consistência das avaliações, cujos resultados estão detalhados na Tabela 4.

Tabela 4 – Vetores prioridade e razões de consistência

Avaliador 1			Avaliador 2		
w_1	0,2140	$\lambda_{max} = 6,4199$	w_1	0,0262	$\lambda_{max} = 6,3298$
w_2	0,1591	IC = 0,355	w_2	0,1603	IC = 0,3324
w_3	0,0369	RC = 0,3169	w_3	0,0687	RC = 0,2368
w_4	0,1207		w_4	0,1603	
w_5	0,4693		w_5	0,5843	
Avaliador 3			Avaliador 4		
w_1	0,0538	$\lambda_{max} = 7,1949$	w_1	0,0807	$\lambda_{max} = 5,4973$
w_2	0,2148	IC = 0,5487	w_2	0,1201	IC = 0,1243
w_3	0,1575	RC = 0,4899	w_3	0,0479	RC = 0,111
w_4	0,0805		w_4	0,3077	
w_5	0,0434		w_5	0,4436	
Avaliador 5			Avaliador 6		
w_1	0,1406	$\lambda_{max} = 7,6409$	w_1	0,0407	$\lambda_{max} = 5,6738$
w_2	0,0249	IC = 0,6602	w_2	0,065	IC = 0,1685
w_3	0,0745	RC = 0,5895	w_3	0,111	RC = 0,1504
w_4	0,2411		w_4	0,1504	
w_5	0,5190		w_5	0,6329	
Avaliador 7			Avaliador 8		
w_1	0,3504	$\lambda_{max} = 7,7748$	w_1	0,0757	$\lambda_{max} = 5,8412$
w_2	0,1385	IC = 0,562	w_2	0,1855	IC = 0,2103
w_3	0,1865	RC = 0,4966	w_3	0,1038	RC = 0,1878
w_4	0,2928		w_4	0,1935	
w_5	0,0318		w_5	0,4416	
Avaliador 9			Avaliador 10		
w_1	0,3667	$\lambda_{max} = 6,9161$	w_1	0,0531	$\lambda_{max} = 7,1986$
w_2	0,1338	IC = 0,4790	w_2	0,1738	IC = 0,5496
w_3	0,1106	RC = 0,4277	w_3	0,0821	RC = 0,4908
w_4	0,2212		w_4	0,1735	
w_5	0,1677		w_5	0,5176	
Avaliador 11			Avaliador 12		
w_1	0,0472	$\lambda_{max} = 5,2018$	w_1	0,0984	$\lambda_{max} = 6,5295$
w_2	0,1429	IC = 0,0504	w_2	0,0840	IC = 0,3824
w_3	0,1429	RC = 0,0450	w_3	0,0456	RC = 0,3414
w_4	0,3335		w_4	0,2498	
w_5	0,3335		w_5	0,5223	
Avaliador 13					
w_1	0,0314	$\lambda_{max} = 5,5735$			
w_2	0,1112	IC = 0,1434			
w_3	0,0517	RC = 0,1280			
w_4	0,4144				
w_5	0,3914				

Fonte: Os autores(2025).

Das 13 avaliações realizadas, apenas os julgamentos do Avaliador 11 apresentaram uma razão de consistência abaixo de 10% (IC = 0,0504; RC = 0,0450), sendo as únicas respostas consideradas válidas. Algumas outras avaliações apresentaram razões de consistência próximas ao limite aceitável de 10%, como as dos Avaliadores 4 (IC = 0,1243; RC = 0,111), 6 (IC = 0,1685; RC = 0,1504), 8 (IC = 0,2103; RC = 0,1878) e 13 (IC = 0,1434; RC = 0,1280). Dado que os julgamentos do Avaliador 11 apresentaram a única razão de consistência dentro do limite aceitável de 10%, os pesos atribuídos por esse avaliador foram utilizados como base para os critérios. Essa decisão se justifica pela necessidade de assegurar a validade e a confiabilidade dos resultados, priorizando avaliações consistentes em alinhamento com a metodologia estabelecida.

Com base nos resultados do vetor de prioridade, os critérios C4 - Qualidade e C5 - Segurança foram identificados como os mais relevantes na aquisição de peças de reposição para estoque. Esses critérios receberam os

maiores pesos na maioria das avaliações (9 de 13, correspondendo a 69,3%). Apesar das inconsistências observadas nas matrizes de comparação da maior parte dos avaliadores, a prioridade atribuída a esses critérios manteve-se estável. Os participantes destacaram que o descumprimento desses critérios pode causar interrupções nas atividades de manutenção e produção, além de prejudicar a reputação da empresa. Problemas de qualidade podem gerar retrabalhos, enquanto falhas que comprometem a segurança podem paralisar operações e resultar em perdas de confiança e litígios legais. Comparando com o julgamento do Avaliador 4, que apresentou uma consistência de 11,1%, C4 e C5 também foram priorizados, confirmando a importância atribuída à Qualidade e Segurança.

Vale destacar que a prioridade dos critérios pode variar conforme a função dos avaliadores, uma vez que suas áreas de interesse podem ser diferentes. Por exemplo, um avaliador da manutenção pode valorizar mais Segurança, Qualidade e Criticidade do Ativo, enquanto um da área de suprimentos pode priorizar Tempo de Entrega, Preço e Quantidade de Fornecedores. Por esse motivo, foram escolhidos avaliadores de áreas distintas e adotado um método de decisão que considera múltiplos critérios e percepções.

Com base nas comparações realizadas pelo Avaliador 11, os critérios foram ponderados conforme mostrado no Quadro 4.

Quadro 4 - Pesos dos critérios

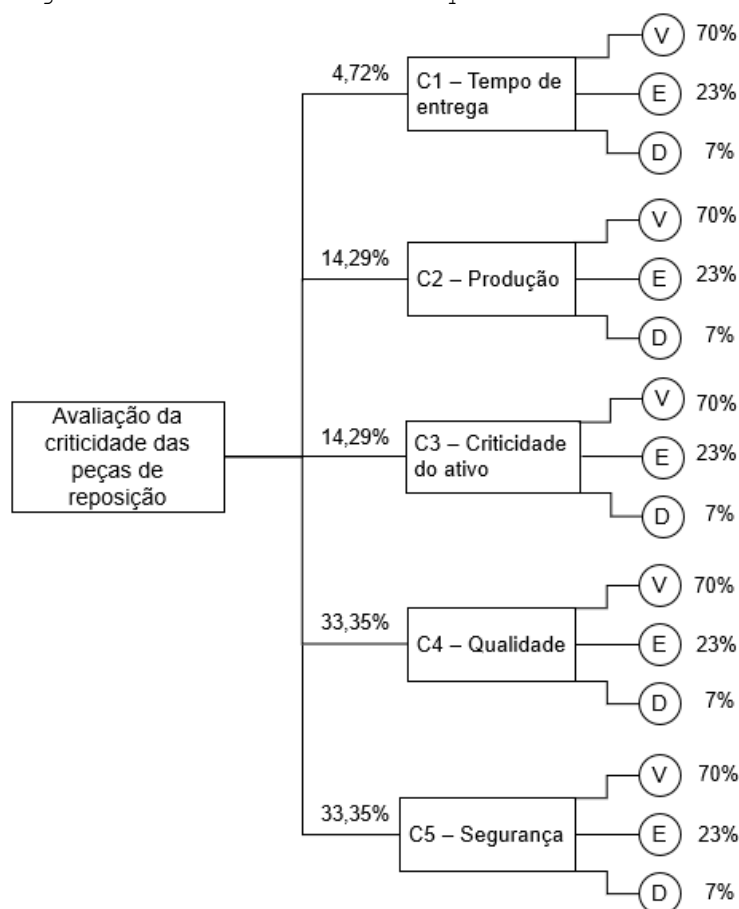
C1 - Tempo de entrega	4,72%
C2 - Produção	14,29%
C3 - Criticidade do ativo	14,29%
C4 - Qualidade	33,35%
C5 - Segurança	33,35%

Fonte: Os autores(2025).

4.2 Avaliação da criticidade dos itens de reposição

A estrutura hierárquica do método AHP aplicada a esse estudo é ilustrada na Figura 2. No topo da hierarquia encontra-se o objetivo global: avaliar a criticidade das peças de reposição. O segundo nível abrange os critérios de avaliação e seus respectivos pesos, conforme definidos no Quadro 5. Por fim, no terceiro nível, estão as alternativas, determinadas com base na Classificação VED e em seus pesos correspondentes.

Figura 2 - Estrutura hierárquica do método AHP



Fonte: Os autores(2025).

Em posse da lista dos itens de reposição, foi feita a classificação VED, usando as alternativas dos critérios listadas no Quadro 4.

As informações referentes ao Tempo de Entrega foram extraídas do sistema SAP-PM, e os intervalos das alternativas foram estabelecidos a partir de uma combinação dos parâmetros descritos por Silva, Hernandez e Brandalise (2019) e Muniz et al. (2021). O valor mínimo encontrado no primeiro estudo (45 dias) foi adotado como o limite para a categoria "Desejável". Para a categoria "Essencial", foi multiplicado esse valor mínimo por 4 (totalizando 180 dias), seguindo a abordagem de Muniz et al. (2021).

A Criticidade do Ativo foi estabelecida de acordo com a criticidade do sistema ao qual a peça de reposição está associada. No caso de uma peça ser aplicada a mais de um ativo, adotou-se a criticidade mais elevada entre eles. Já os critérios Produção, Qualidade e Segurança foram definidos de forma subjetiva com a colaboração do coordenador e supervisores de manutenção de máquinas de via.

O Quadro 5 mostra as aplicações das peças de reposição da amostra e a avaliação da criticidade ABC determinada pela empresa (coluna Classe), juntamente com o resultado da classificação VED.

Quadro 5 - Classificação VED para as peças de reposição

Item	Aplicação	Classe	C1	C2	C3	C4	C5
Filtro lubrificante	Reguladora e Rodoferroviário	A	V	V	V	V	E
Kit de junta do cabecote	Reguladora e Socadora	A	E	V	V	V	D
Cabecote de forquilha	Socadora	A	V	V	V	V	D
Arruela de assento do bico injetor	Socadora	A	E	V	V	V	D
Sapata de freio	Pórtico de lançamento de dormentes	A	V	V	V	V	V
Terminal tipo olhal p/ cabo 4,00 mm ²	Máquinas de via	A	D	D	V	D	E
Contra pino em aço carbono zincado 5/23 x 1,1/2 mm	Socadora	A	E	D	V	D	D
Luva cônica	Socadora	A	E	E	V	D	D
Bateria 12 V 150 AH	Pórtico de lançamento de dormentes, VLT, Caminhão de via e rodoferroviário	A	E	V	V	V	V
Garfo manipulador do plator de embreagem	Reguladora	A	E	D	V	D	D
Eixo de embreagem	Reguladora	A	E	V	V	V	D
Retentor da caixa de bombas	Reguladora	A	E	V	V	V	D
Pulsador da buzina	Reguladora	A	V	D	V	D	D
Vedação do cilindro de deslocamento	Socadora	B	E	V	E	V	D
Secador de ar	Reguladora	B	E	V	E	V	D
Tomador de pressão 16x2x7500	Socadora	B	D	D	E	D	D
Anel elástico para eixo E24	Máquinas de via	B	D	V	E	V	V
União rápida plástica 8 mm	Máquinas de via	B	D	E	E	V	V
Sensor velocidade indutivo 4 pinos	Caminhão de via	B	E	D	E	D	D
Anel de vedação 83 x 3 mm	Socadora	B	D	V	E	V	D
Retentor do pinhão	Rodoferroviário	B	D	V	E	V	D
Compressor	Rodoferroviário	C	E	V	D	V	E
Tubo branco de nylon pal2 12 x 1,5 mm	VLT, Caminhão de via e rodoferroviário	C	D	E	D	D	V
Rolamento do câmbio	VLT	C	E	D	D	D	D
Notas: Classe: Classificação adotada pela empresa. C1: Tempo de entrega; C2: Produção; C3: Criticidade do ativo; C4: Qualidade; C5: Segurança.							

Fonte: Os autores(2025).

A partir das classificações definidas, foi aplicado o método AHP com os pesos dos critérios e das alternativas, fazendo o somatório dos produtos dos pesos dos critérios pelas alternativas correspondentes. O resultado final obtido é mostrado na Tabela 5.

Tabela 5 – Resultado da avaliação de criticidade dos itens de reposição

	C1	C2	C3	C4	C5	
	4,72%	14,29%	14,29%	33,35%	33,35%	
Item	Tempo de entrega	Produção	Criticidade do ativo	Qualidade	Segurança	Resultado
Filtro lubrificante	70%	70%	70%	70%	23%	54,33%
Kit de junta do cabeçote	23%	70%	70%	70%	7%	46,77%
Cabeçote de forquilha	70%	70%	70%	70%	7%	48,99%
Arruela de assento do bico injetor	23%	70%	70%	70%	7%	46,77%
Sapata de freio	70%	70%	70%	70%	70%	70,00%
Terminal tipo olhal p/ cabo 4,00 mm ²	7%	7%	70%	7%	23%	21,34%
Contra pino em aço carbono zincado 5/23 x 1,1/2 mm	23%	7%	70%	7%	7%	16,76%
Luva cônica	23%	23%	70%	7%	7%	19,04%
Bateria 12 V 150 AH	23%	70%	70%	70%	70%	46,77%
Garfo manipulador do plator de embreagem	23%	7%	70%	7%	7%	16,76%
Eixo de embreagem	23%	70%	70%	70%	7%	46,77%
Retentor da caixa de bombas	23%	70%	70%	70%	7%	46,77%
Pulsador da buzina	70%	7%	70%	7%	7%	18,98%
Vedação do cilindro de deslocamento	23%	70%	23%	70%	7%	40,05%
Secador de ar	23%	70%	23%	70%	7%	40,05%
Tomador de pressão 16x2x7500	7%	7%	23%	7%	7%	9,29%
Anel elástico para eixo E24	7%	70%	23%	70%	70%	60,31%
União rápida plástica 8 mm	7%	23%	23%	70%	70%	53,59%
Sensor velocidade indutivo 4 pinos	23%	7%	23%	7%	7%	10,04%
Anel de vedação 83 x 3 mm	7%	70%	23%	70%	7%	39,30%
Retentor do pinhão	7%	70%	23%	70%	7%	39,30%
Compressor	23%	70%	7%	70%	23%	43,10%
Tubo de nylon pa12 12 x 1,5 mm	7%	23%	7%	7%	70%	30,30%
Rolamento do câmbio	23%	7%	7%	7%	7%	7,76%

Fonte: Os autores (2025).

Os resultados foram convertidos numa nova classificação ABC para os itens, que obedece aos intervalos do Quadro 6, que foram definidos com base na distribuição de frequência da coluna Resultado (Tabela 5). Na sequência, o Quadro 7 mostra a mudança de classes obtida.

Quadro 6 - Parâmetros da nova classificação ABC

A	Resultado > 48%
B	40% < Resultado ≤ 48%
C	Resultado ≤ 40%

Fonte: Os autores (2025).

Após aplicar o método AHP às 24 peças de reposição selecionadas, observou-se que 16 (67%) delas tiveram suas classes redefinidas. Essas alterações indicam uma avaliação mais precisa, alinhada com as necessidades e prioridades da empresa em relação às peças de reposição.

Quadro 7 - Redefinição das classes

Pos.	Item	Classe anterior	Classe atual	Comparativo
1	Filtro lubrificante	A	A	Igual
2	Kit de junta do cabeçote	A	B	Mudou
3	Cabeçote de forquilha	A	A	Igual
4	Arruela de assento do bico injetor	A	B	Mudou
5	Sapata de freio	A	A	Igual
6	Terminal tipo olhal p/ cabo 4,00 mm ²	A	C	Mudou
7	Contra pino em aço carbono zincado 5/23 x 1,1/2 mm	A	C	Mudou
8	Luva cônica	A	C	Mudou
9	Bateria 12 V 150 AH	A	A	Igual
10	Garfo manipulador do plator de embreagem	A	C	Mudou
11	Eixo de embreagem	A	B	Mudou
12	Retentor da caixa de bombas	A	B	Mudou
13	Pulsador da buzina	A	C	Mudou
14	Vedação do cilindro de deslocamento	B	B	Igual
15	Secador de ar	B	B	Igual
16	Tomador de pressão 16x2x7500	B	C	Mudou
17	Anel elástico para eixo E24	B	A	Mudou
18	União rápida plástica 8 mm	B	A	Mudou
19	Sensor velocidade indutivo 4 pinos	B	C	Mudou
20	Anel de vedação 83 x 3 mm	B	C	Mudou
21	Retentor do pinhão	B	C	Mudou
22	Compressor	C	B	Mudou
23	Tubo de nylon pa12 12 x 1,5 mm	C	C	Igual
24	Rolamento do câmbio	C	C	Igual
Notas: Classe anterior: Classificação adotada pela empresa. Classe atual: Classificação proposta por esta pesquisa.				

Fonte: Os autores (2025).

Vale ressaltar que houve mudanças tanto para classes mais altas quanto para classes mais baixas, com diferenças de até duas classes. Por exemplo, o item 7 foi reclassificado de A para C. Inicialmente considerado crítico por pertencer ao sistema mecânico da máquina socadora de lastro, ele foi reclassificado para "Desejável" por não causar impactos significativos à Produção, Qualidade ou Segurança. Outro exemplo é o item 13, um pulsador de buzina, também reclassificado de A para C. Embora faça parte do sistema elétrico da reguladora de lastro, sua falha não interfere na produção ou segurança, com a falha de uma buzina sendo facilmente compensada por outras.

Por outro lado, o item 17, utilizado em várias aplicações, subiu da classe B para A, sendo considerado Vital nos critérios de Produção, Qualidade e Segurança, devido à sua relevância para as operações das socadoras.

Esses resultados mostram que a avaliação individual das peças pode levar a uma classificação mais confiável. Além disso, utilizar essa classificação para definir previsões e políticas de estoque mais adequadas para cada tipo de criticidade pode otimizar a alocação de recursos e reduzir a escassez de materiais nas manutenções, aumentando a confiabilidade e a disponibilidade dos ativos e minimizando interrupções na construção da ferrovia. Portanto, estabelecer critérios claros para classificar as peças

de reposição segundo sua criticidade pode melhorar a gestão de estoque e garantir a disponibilidade das peças essenciais.

A abordagem de classificar as peças de reposição utilizando métodos estruturados, como o AHP, pode ser vista como uma base para um processo de melhoria contínua. À medida que novas informações são coletadas, seja por meio de falhas anteriores, *feedback* da equipe de manutenção ou alterações nas condições operacionais, as classificações podem ser revisadas e aprimoradas, criando um ciclo de revisão que acompanha a evolução das necessidades e das condições da operação.

5 CONCLUSÃO

Este estudo teve como objetivo classificar e priorizar peças de reposição de uma indústria do setor ferroviário por meio de uma abordagem sistemática baseada no AHP. Os resultados mostraram que a avaliação multicritério alterou a classificação de 67% dos itens analisados, evidenciando que a consideração conjunta de critérios como qualidade, segurança, produção, tempo de entrega e criticidade do ativo proporciona uma visão mais precisa da relevância de cada peça para a operação.

A predominância dos critérios de qualidade e segurança como fatores decisivos confirma que a gestão de estoques deve ir além de parâmetros puramente logísticos, alinhando-se às prioridades operacionais e à confiabilidade dos ativos. Assim, a análise demonstrou que a avaliação multicritério pode corrigir distorções da classificação tradicional, evitando estoques desnecessários de itens menos críticos e garantindo a disponibilidade daqueles realmente vitais para a continuidade das operações ferroviárias.

A pesquisa responde à questão proposta ao mostrar que a aplicação de uma abordagem multicritério contribuiu significativamente para uma melhor classificação das peças de reposição, fornecendo suporte concreto para uma gestão de estoques mais eficiente, segura e alinhada às necessidades operacionais da empresa ferroviária.

Apesar dos resultados significativos, o estudo enfrentou limitações, como inconsistências nos dados do sistema SAP, dificuldades na coleta manual de informações e a ausência de conhecimento técnico detalhado sobre as máquinas de via. Para mitigar esses desafios, foram adotadas medidas como a revisão de bases de dados, análises de consistência e consultas a especialistas da empresa, o que permitiu aumentar a confiabilidade dos resultados.

Como recomendações, sugere-se ampliar o escopo para incluir outras etapas da gestão de estoques, como previsão de demanda e definição de políticas de reposição, de forma a consolidar um modelo mais robusto e aplicável a diferentes contextos do setor ferroviário.

REFERÊNCIAS

AFFONSO, T. *et al.* A new hybrid forecasting method for spare part inventory management using heuristics and bootstrapping. **Decision Analytics Journal**, v. 10, p. 100415, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2024.100415>

ALMEIDA, A. T. *et al.* **Multicriteria and multiobjective models for risk, reliability and maintenance decision analysis**. Cham, Switzerland: Springer International Publishing, 2015. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-17969-8>

BABY, S. AHP modeling for multicriteria decision-making and to optimise

strategies for protecting coastal landscape resources. **International Journal of Innovation, Management and Technology**, v. 4, n. 2, p. 218, 2013. <https://doi.org/10.7763/IJIMT.2013.V4.395>

BACCHETTI, A.; SACCANI, N. Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. **Omega**, v. 40, n. 6, p. 722-737, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2011.06.008>

BHALLA, S. et al. Advances in spare parts classification and forecasting for inventory control: A literature review. **IFAC-PapersOnLine**, v. 54, n. 1, p. 982-987, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.118>

BRAGLIA, M.; GRASSI, A.; MONTANARI, R. Multi-attribute classification method for spare parts inventory management. **Journal of quality in maintenance engineering**, v. 10, n. 1, p. 55-65, 2004. <https://doi.org/10.1108/13552510410526875>

CALEFI, T. S.; OLIVEIRA-MELO, F. G. Propostas para Otimização do Processo de Expedição de uma Fábrica de Fertilizantes. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção- ENEGEP 2020, 40. **Anais [...]**. Online: ABEPRO, 2020. https://doi.org/10.14488/ENEGEP2020_TN_STO_343_1761_40358

CAVALIERI, S. et al. A decision-making framework for managing maintenance spare parts. **Production Planning & Control**, v. 19, n. 4, p. 379-396, 2008. <https://doi.org/10.1080/09537280802034471>

DENDAUW, P. et al. Condition-based critical level policy for spare parts inventory management. **Computers & Industrial Engineering**, v. 157, n. 107369, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107369>

FERREIRA, L. et al. A multicriteria decision framework for the management of maintenance spares - A case study. **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 531-537, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.373>

GAJPAL, P. P.; GANESH, L. S.; RAJENDRAN, C. Criticality analysis of spare parts using the analytic hierarchy process. **International Journal of Production Economics**, v. 35, n. 1-3, p. 293-297, 1994. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(94\)90095-7](https://doi.org/10.1016/0925-5273(94)90095-7)

GHUGE, S.; DOHALE, V.; AKARTE, M. Spare part segmentation for additive manufacturing-A framework. **Computers & Industrial Engineering**, v. 169, n. 108277, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108277>

GOMES, A. V. P.; WANKE, P. Modelagem da gestão de estoques de peças de reposição através de cadeias de Markov. **Gestão & Produção**, v. 15, p. 57-72, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0104-530X2008000100007>

HUISKONEN, J. Maintenance spare parts logistics: Special characteristics and strategic choices. **International Journal of Production Economics**, v. 71, n. 1-3, p. 125-133, 2001. [https://doi.org/10.1016/S0925-5273\(00\)00112-2](https://doi.org/10.1016/S0925-5273(00)00112-2)

HUSKOVA, K.; KASPAROVA, P.; DYNTER, J. Towards sporadic demand stock management based on simulation with single reorder point estimation. **E&M Economics and Management**, v. 28, n. 2, p. 67-80, 2025. <https://doi.org/10.15240/tul/001/2024-5-027>

JAREK, S. Removing Inconsistency in Pairwise Comparisons Matrix in the AHP. **Multiple Criteria Decision Making**, v. 11, p. 63-76. 2016. <https://doi.org/10.22367/mcdm.2016.11.05>

KRIGUER, H. **Classificação multicritério de peças de reposição**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá - SP, 2015. Disponível em: <https://acervodigital.unesp.br/handle/11449/134253>. Acesso em 14 fev. 2024.

MOLENAERS, A. et al. Criticality classification of spare parts: A case study. **International Journal of Production Economics**, v. 140, n. 2, p. 570-578, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2011.08.013>

MUNIZ, L. et al. Spare parts inventory management: a new hybrid approach. **The International Journal of Logistics Management**, v. 32, n. 1, p. 40-67, 2021. <https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2019-0361>

NASROLLAHI, S. et al. Selecting suitable wave energy technology for sustainable development, an MCDM approach. **Renewable Energy**, v. 202, p. 756-772, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.11.005>

PARTOVI, F.; BURTON, J. Using the analytic hierarchy process for ABC analysis. **International Journal of Operations & Production Management**, v. 13, n. 9, p. 29-44, 1993. <https://doi.org/10.1108/01443579310043619>

PASCOE, S. A Simplified Algorithm for Dealing with Inconsistencies Using the Analytic Hierarchy Process. **Algorithms**, v. 15, n. 12, p. 442, 2022. <https://doi.org/10.3390/a15120442>

PETROVIĆ, D.; PETROVIĆ, R. SPARTA II: Further development in an expert system for advising on stocks of spare parts. **International journal of production economics**, v. 24, n. 3, p. 291-300, 1992. [https://doi.org/10.1016/0925-5273\(92\)90141-S](https://doi.org/10.1016/0925-5273(92)90141-S)

PINÇE, C.; TURRINI, L.; MEISSNER, J. Intermittent demand forecasting for spare parts: A critical review. **Omega**, v. 105, n. 102513, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2021.102513>

RAMAGANESH, M. et al. Spare parts ordering decisions using age based, block based and condition based replacement policies. **Materials Today: Proceedings**, v. 46, p. 7854-7859, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.432>

RODA, I. et al. A review of multi-criteria classification of spare parts: From literature analysis to industrial evidences. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 25, n. 4, p. 528-549, 2014. <https://doi.org/10.1108/JMTM-04-2013-0038>

ROSA, H; MAYERLE, S.; GONÇALVES, M. Controle de estoque por revisão contínua e revisão periódica: uma análise comparativa utilizando simulação. **Production**, v. 20, p. 626-638, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0103-65132010005000052>

SAATY, R. The analytic hierarchy process - what it is and how it is used. **Mathematical Modelling**, v. 9, n. 3-5, p. 161-176, 1987. [https://doi.org/10.1016/0270-0255\(87\)90473-8](https://doi.org/10.1016/0270-0255(87)90473-8)

SAATY, T. L. How to make a decision: the analytic hierarchy process. **European journal of operational research**, v. 48, n. 1, p. 9-26, 1990. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)

SAATY, T. L. Decision making with the analytic hierarchy process. **International journal of services sciences**, v. 1, n. 1, p. 83-98, 2008. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>

SANTOS, A. M.; RODRIGUES, I. A. Controle de estoque de materiais com diferentes padrões de demanda: estudo de caso em uma indústria química. **Gestão & Produção**, v. 13, p. 223-231, 2006.
<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2006000200005>

SILVA, L.; HERNÁNDEZ, C.; BRANDALISE, N. Avaliação de criticidade de peças sobressalentes utilizando o método *Analytic Hierarchy Process* com ratings. **Sistemas & Gestão**, v. 14, n. 2, p. 166-176, 2019.
<https://doi.org/10.20985/1980-5160.2019.v14n2.1500>

SYNTETOS, A.; KEYES, M.; BABAI, M. Demand categorisation in a European spare parts logistics network. **International journal of operations & production management**, v. 29, n. 3, p. 292-316, 2009.
<https://doi.org/10.1108/01443570910939005>

TEIXEIRA, C.; LOPES, I.; FIGUEIREDO, M. Classification methodology for spare parts management combining maintenance and logistics perspectives. **Journal of Management Analytics**, v. 5, n. 2, p. 116-135, 2018. <https://doi.org/10.1080/23270012.2018.1436989>

TORRE, N.; SALOMON, V.; FLOREK-PASZKOWSKA, A. Multi-criteria classification of spare parts in the steel industry. **Brazilian Journal of Operations & Production Management**, v. 22, n. 1, p. 2344-2344, 2025.
<https://doi.org/10.14488/BJOPM.2344.2025>

WANG, D. et al. Research on the optimization method of inventory management of important spare parts of intercity railway. **PloS One**, v. 20, n. 7, p. e0327852, 2025. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0327852>

WANKE, P. Quadro conceitual para gestão de estoques: enfoque nos itens. **Gestão & Produção**, v. 19, p. 677-687, 2012.
<https://doi.org/10.1590/S0104-530X2012000400002>

ZENG, Y.; WANG, L.; HE, J. A Novel Approach for Evaluating Control Criticality of Spare Parts Using Fuzzy Comprehensive Evaluation and GRA. **International Journal of Fuzzy Systems**, v. 14, n. 3, 2012.
<https://doi.org/10.30000/IJFS.201209.0005>.

ZHANG, R. et al. Genetic algorithm optimised Hadamard product method for inconsistency judgement matrix adjustment in AHP and automatic analysis system development. **Expert Systems With Applications**, v. 211, n. 118689, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.118689>