

## RuTi Maquinista: Assistente artificial de Bordo para Acesso Seguro aos Procedimentos Operacionais

Autora: Mariana Aid Ramos Costa

Co-autores: Pedro Marcelo Becel, Renan Emanuel Fernandes do Nascimento

### Resumo

A RuTi Maquinista é uma solução de inteligência artificial desenvolvida pela Rumo Logística, baseada em um container digital que centraliza documentos normativos da empresa. O sistema permite que maquinistas consultem normas, procedimentos operacionais e instruções técnicas por meio de linguagem natural. A IA oferece respostas contextualizadas em tempo real, utilizando exclusivamente os documentos oficiais da área normativa. O uso da solução é restrito ao celular institucional e somente quando o trem está parado, assegurando conformidade com os protocolos de segurança operacional. Este artigo detalha o processo de desenvolvimento da RuTi, sua integração com o repositório documental e os impactos práticos observados em campo. São discutidos os ganhos em eficiência, padronização, rastreabilidade e sustentabilidade.

Palavras-chave: Inteligência Artificial, Documentação Normativa, Operação Ferroviária, Segurança Operacional, Sustentabilidade.

### Abstract

RuTi Maquinista is an artificial intelligence solution developed by Rumo Logística, structured on a digital container that centralizes the company's normative documents. The system enables train operators to access standards, operational procedures, and technical instructions using natural language. The AI provides contextualized answers in real time based solely on the official documentation. The solution is accessible only through a corporate smartphone and only when the train is stationary, ensuring compliance with safety protocols. This article details the development process, integration with the normative repository, and the practical impacts observed in the field. Gains in efficiency, standardization, traceability, and sustainability are discussed.

Keywords: Artificial Intelligence, Normative Documentation, Railway Operation, Operational Safety, Sustainability.

## 1. Introdução

A operação ferroviária moderna exige precisão, rastreabilidade e segurança em todas as etapas. Em um contexto de aumento da complexidade logística, a digitalização de processos se apresenta como uma necessidade estratégica, desta forma, o acesso móvel e seguro a informações normativas se torna elemento central na busca da centralização da informação.

A Rumo Logística, maior operadora ferroviária do Brasil em extensão de malha, tem direcionado esforços contínuos para a inovação tecnológica aplicada às suas operações. Entre essas iniciativas, destaca-se a RuTi Maquinista, assistente virtual baseada em inteligência artificial, desenvolvida sobre uma arquitetura de container digital que centraliza os procedimentos operacionais elaborados pela área normativa da companhia.

Fruto da escuta ativa aos profissionais da linha de frente e da busca constante do time de tecnologia por tendências e soluções de ponta, a tecnologia integra conhecimento prático com o que há de mais atual no mercado, atendendo à necessidade de acesso rápido e confiável às atualizações operacionais pelos maquinistas.

O container de documentos da RuTi Maquinista foi estruturada utilizando Azure Blob Storage, da Microsoft, solução amplamente adotada por empresas que priorizam alta disponibilidade, escalabilidade e segurança da informação (MICROSOFT, 2024). Essa estrutura permite o versionamento automático dos documentos internos, controle granular de acesso e integração direta com modelos de IA hospedados no Azure OpenAI Service, assegurando que o maquinista acesse sempre a versão mais atualizada do procedimento, com rastreabilidade total.

A RuTi utiliza processamento de linguagem natural (PLN) para oferecer respostas contextuais a dúvidas operacionais, com base exclusivamente no conteúdo técnico consolidado da empresa. O uso da ferramenta é permitido apenas via dispositivo móvel institucional e somente quando o trem encontra-se parado, em conformidade com as regras de segurança da operação ferroviária (RUMO, 2024). Conforme a Política de uso de celular da empresa, é vedado o uso de celulares durante a condução dos trens, sendo permitido o acesso à RuTi apenas quando o trem encontra-se completamente parado e em segurança, garantindo atenção total às tarefas operacionais.

A centralização e digitalização de documentos técnicos, como procedimentos operacionais, instruções normativas e alertas críticos, é apontada por estudos internacionais como uma estratégia eficaz para garantir segurança, rastreabilidade e padronização nas operações

ferroviárias. Segundo Rodríguez-Hernández et al. (2025), a adoção de inteligência artificial e automação na gestão de conteúdo técnico permite acesso rápido e preciso à informação essencial para a tomada de decisão, especialmente em contextos operacionais complexos. A RuTi está em linha com essa abordagem ao disponibilizar um repositório digital controlado com os documentos oficiais da Rumo, promovendo uma operação mais segura, eficiente e confiável.

Além disso, estudos recentes demonstram que a substituição de documentos impressos por meios digitais é uma das práticas mais imediatas e eficazes para reduzir o impacto ambiental nas cadeias logísticas (ANDROOD et al., 2024). Desta forma, a digitalização de processos operacionais tem se mostrado um dos caminhos mais diretos para promover sustentabilidade nas empresas, especialmente em setores regulados e com alta demanda documental, como o ferroviário. A assistente virtual contribui para esse cenário ao eliminar a necessidade de impressão de normas, procedimentos e alertas operacionais a cada atualização, ao disponibilizar essas informações de forma digital, segura e sempre atualizada, reduzindo, assim, o consumo de papel pela operação.

Desta forma, este artigo tem como objetivo apresentar os fundamentos técnicos da solução, a metodologia de desenvolvimento, os impactos observados em campo e as perspectivas futuras para a consolidação de assistentes baseados em Inteligência Artificial na rotina ferroviária.

## 2. Metodologia

Este artigo se caracteriza como uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e descritiva, baseada em um estudo de caso sobre a implantação da solução RuTi Maquinista no contexto operacional da Rumo Logística. De acordo com Gil (2010), a pesquisa aplicada busca resolver problemas concretos com foco na utilidade prática, enquanto a descritiva se propõe a observar, registrar e analisar fatos sem interferência direta do pesquisador. Essa abordagem permite compreender como tecnologias baseadas em inteligência artificial podem ser integradas a ambientes operacionais críticos, respeitando normas, segurança e realidades de campo.

A metodologia foi estruturada em três etapas principais: (1) consolidação e curadoria da base normativa, (2) estruturação técnica da solução e (3) validação prática com usuários finais.

Desde a fase inicial, a digitalização dos documentos e o acesso via celular corporativo foram pensados como estratégia para eliminar impressões físicas e reduzir o uso de papel na operação. A centralização da base normativa em formato digital contribui para a diminuição do impacto ambiental da atividade, ao mesmo tempo em que melhora a rastreabilidade e a confiabilidade da informação. Essa diretriz de sustentabilidade esteve presente em todas as fases do projeto, orientando decisões técnicas e reforçando o alinhamento da RuTi às práticas de operação limpa, segura e digital.

### 2.1 Consolidação e curadoria da base normativa

O primeiro passo envolveu a identificação e o mapeamento de documentos técnicos normativos já existentes, organizados pela área normativa da Rumo. Foram considerados Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), alertas técnicos, manuais operacionais e instruções específicas para condução, segurança e manutenção. Esses documentos passaram por uma curadoria criteriosa para garantir validade, clareza, rastreabilidade e aderência aos padrões internos da companhia.

Essa etapa seguiu os princípios de governança da informação descritos por Fernandes et al. (2022), que destacam a importância da curadoria documental e da rastreabilidade em ambientes corporativos com alta exigência de conformidade. A estruturação da base normativa visou eliminar duplicações, padronizar nomenclaturas e organizar os conteúdos por categoria operacional, área técnica responsável e tipo de documento. Os documentos passaram a conter metadados que facilitam sua rastreabilidade e controle de versão, garantindo que a IA utilizada acesse sempre o conteúdo oficial mais atualizado.

## **2.2 Estruturação técnica da solução**

Com a base documental consolidada, foi estruturado um repositório digital no Azure Blob Storage. Essa escolha se deu pela robustez, escalabilidade e segurança da plataforma, que permite controle de acesso, versionamento automático, criptografia e integração direta com modelos baseados em IA (MICROSOFT, 2024). Cada documento foi armazenado em seu formato original, com estrutura de metadados associada para permitir localização eficiente e leitura por parte do modelo de IA.

A camada de inteligência artificial foi implementada com base no serviço Azure OpenAI, utilizando técnica de geração aumentada por recuperação (RAG), em que o modelo busca trechos específicos do conteúdo oficial e os utiliza para compor respostas contextualizadas. Zeller et al. (2023) alertam que, em domínios sensíveis como o ferroviário, modelos de IA devem operar exclusivamente sobre conteúdos controlados, evitando inferências externas ou informações não verificadas.

A RuTi foi configurada para operar exclusivamente por meio de dispositivos institucionais, com autenticação gerenciada e restrição de uso quando o trem está em movimento. Isso atende às diretrizes internas de segurança da Rumo (RUMO, 2024), que proíbem a utilização de dispositivos móveis durante a condução e priorizam a atenção plena do maquinista às operações em curso.

## **2.3 Validação prática com usuários**

A última etapa consistiu em validar a solução com maquinistas em operação nas regiões Sul, Centro-Oeste e Sudeste. Foram realizados testes com grupos-piloto, em que os profissionais utilizaram a ferramenta para esclarecer dúvidas operacionais e acessar normas de forma autônoma. O processo envolveu a aplicação de formulários de avaliação, entrevistas com os condutores e análise qualitativa dos resultados.

O retorno dos usuários foi amplamente positivo. A maioria relatou que o acesso às informações se tornou mais rápido, confiável e menos sujeito a interpretações equivocadas. Também foi destacado que o fato de a ferramenta utilizar apenas os documentos oficiais da empresa gerava maior segurança nas respostas, o que reforçava a confiança do operador na tomada de decisão.

Com base nos feedbacks recebidos, foram realizados ajustes na estrutura de categorização dos documentos e na linguagem de resposta da IA, adaptando-a ao vocabulário ferroviário real utilizado pelos maquinistas. Essa prática de escuta ativa e melhoria contínua está em sintonia com os princípios da inovação centrada no usuário, defendidos por Fernandes et al. (2022).

## **2. Metodologia**

Este artigo se caracteriza como uma pesquisa aplicada, com abordagem qualitativa e descritiva, a partir de um estudo de caso sobre a implantação da RuTi Maquinista no ambiente operacional da Rumo Logística. Segundo Gil (2010), a pesquisa aplicada busca oferecer soluções práticas a problemas reais, enquanto a descritiva tem como foco principal o detalhamento das características, etapas e resultados de um fenômeno concreto. Essa abordagem permite compreender, com profundidade, o papel da inteligência artificial no apoio à padronização e segurança da operação ferroviária.

A metodologia foi estruturada em três etapas principais: (1) curadoria e organização da base normativa, (2) estruturação técnica da solução e (3) validação incremental com os usuários.

### **2.1 Curadoria e organização da base normativa**

A primeira etapa consistiu na identificação, revisão e organização dos documentos técnicos produzidos pela área normativa da Rumo. Foram considerados Procedimentos Operacionais Padrão (POPs), alertas e informativos técnicos aplicáveis à condução, manobras e segurança ferroviária. Os documentos foram classificados apenas por tipo, sem subdivisões por tema ou área técnica, com o objetivo de manter uma estrutura direta e alinhada à lógica de consulta da solução de IA.

Essa organização foi definida para favorecer a navegação por similaridade semântica, permitindo que o modelo de inteligência artificial identifique, de forma autônoma, os trechos mais relevantes com base na relação entre o conteúdo e a pergunta feita pelo usuário. Essa abordagem, baseada em embeddings vetoriais, elimina a dependência de filtros manuais e favorece a flexibilidade operacional, como recomendado por Zeller et al. (2023) em sistemas críticos com uso de IA.

Além disso, o usuário não se limita a receber respostas geradas pela IA. Caso deseje confirmar a informação ou consultar mais detalhes, pode acessar diretamente o documento original completo, na versão vigente, armazenado na base digital. Essa funcionalidade garante rastreabilidade e reforça a confiança do maquinista na ferramenta, ao mesmo tempo que promove transparência e aderência ao conteúdo oficial.

O processo de curadoria e manutenção da base segue práticas reconhecidas de governança da informação, que incluem confiabilidade, controle de versões e validação técnica contínua (FERNANDES et al., 2022).

## **2.2 Estruturação técnica da solução baseada em IA**

Com a base normativa estruturada, foi implementada a solução técnica em ambiente seguro e escalável. O repositório de documentos foi centralizado no Azure Blob Storage, da Microsoft, que oferece suporte a controle de acesso, versionamento automático, criptografia e alta disponibilidade (MICROSOFT, 2024). Os documentos são mantidos em seus formatos originais, com estrutura de metadados associada.

Do ponto de vista técnico, a RuTi utiliza uma arquitetura baseada em vetores semânticos, gerados por meio de *embeddings* aplicados aos documentos normativos com o Azure OpenAI. Cada documento é transformado em um vetor matemático que representa seu conteúdo de forma contextualizada. Da mesma forma, quando o usuário realiza uma pergunta, a IA converte a consulta em vetor e realiza a busca por similaridade dentro da base vetorial.

Essa abordagem, conhecida como RAG (*Retrieval-Augmented Generation*), permite que a IA localize os trechos mais relevantes dos documentos oficiais e produza uma resposta baseada exclusivamente no conteúdo normativo. O uso de vetores semânticos garante maior flexibilidade na interpretação das perguntas, mesmo quando a linguagem do usuário não é idêntica à do documento. Além disso, essa configuração reforça o compromisso com a confiabilidade e evita inferências indevidas, conforme recomendado por Zeller et al. (2023).

O uso da solução é restrito ao celular institucional do maquinista, com bloqueio automático quando o trem está em movimento. Essa regra respeita os procedimentos internos de segurança operacional e garante que o foco do condutor seja mantido exclusivamente na operação durante a condução (RUMO, 2024).

## **2.3 Validação incremental com usuários em campo**

A validação da RuTi foi conduzida por meio de um processo iterativo e próximo da realidade operacional. Em vez de um piloto isolado, optamos por realizar grupos semanais de validação com líderes de diferentes regiões. Esses encontros permitiram avaliar como a ferramenta era utilizada na prática e coletar sugestões de melhoria com base em experiências reais.

Além dos encontros técnicos, foram realizadas visitas em campo para observar o uso da ferramenta no ambiente operacional. A escuta direta dos profissionais possibilitou ajustes na estrutura de categorização dos documentos, no vocabulário das respostas e nos fluxos de interação da ferramenta.

Um aspecto crítico considerado desde o início foi o risco de alucinação, comportamento típico de modelos de linguagem baseados em IA que consiste na geração de informações imprecisas, irreais ou sem respaldo na base de dados utilizada. Em sistemas aplicados a contextos operacionais, como o ferroviário, esse risco representa um desafio importante, já que qualquer inferência fora do conteúdo oficial pode comprometer a segurança e a padronização.

Para mitigar esse risco, a RuTi foi desenvolvida com base na técnica de *Retrieval-Augmented Generation (RAG)*, que restringe as respostas da IA ao conteúdo previamente indexado e estruturado no container documental. Isso garante que nenhuma informação seja inventada: quando a IA não encontra correspondência entre a pergunta e os documentos normativos, ela orienta o usuário a reformular a pergunta, sem tentar gerar uma resposta especulativa. Essa abordagem reforça a confiabilidade da ferramenta e garante alinhamento com as boas práticas de IA responsável em sistemas críticos (ZELLER et al., 2023).

O resultado desse processo foi uma ferramenta que se adapta melhor ao vocabulário dos operadores e responde com precisão técnica, sem comprometer a segurança ou extrapolar interpretações, reduzindo alucinações da inteligência artificial.

### **3. Desenvolvimento e Resultados**

A RuTi Maquinista entrou em operação em definitivo no mês de julho de 2025, como uma iniciativa voltada à transformação do acesso à informação normativa nas operações ferroviárias. A seguir, detalham-se os principais resultados e impactos identificados após sua implementação.

#### **3.1 Uso em campo e volume de interações**

Logo nos primeiros 15 dias de uso, a ferramenta registrou mais de 2.000 perguntas realizadas por maquinistas, com uma taxa de adesão estimada em 40% dos colaboradores operacionais ativos. Os dados revelam um alto engajamento espontâneo, especialmente considerando que se trata de uma tecnologia nova integrada à rotina operacional.

As principais dúvidas estavam relacionadas ao regulamento operacional, procedimentos operacionais de circulação de trens e alertas normativos. A consulta era feita por meio de linguagem natural, com a IA retornando respostas exclusivamente baseadas nos documentos oficiais armazenados no container digital da área normativa.

Esse comportamento do sistema, tecnicamente estruturado por meio de vetores semânticos e buscas por similaridade (RAG), garante que a resposta seja sempre lastreada em um conteúdo real e versionado, evitando inferências não autorizadas.

### 3.2 Segurança operacional e mitigação de riscos

A RuTi foi desenvolvida com restrições específicas de uso para assegurar conformidade com as regras de segurança operacional ferroviária: a ferramenta só pode ser acessada por meio de celulares institucionais e apenas com o trem parado. Isso garante que a atenção do maquinista permaneça 100% focada na condução quando em movimento, e que a consulta ocorra em um ambiente controlado.

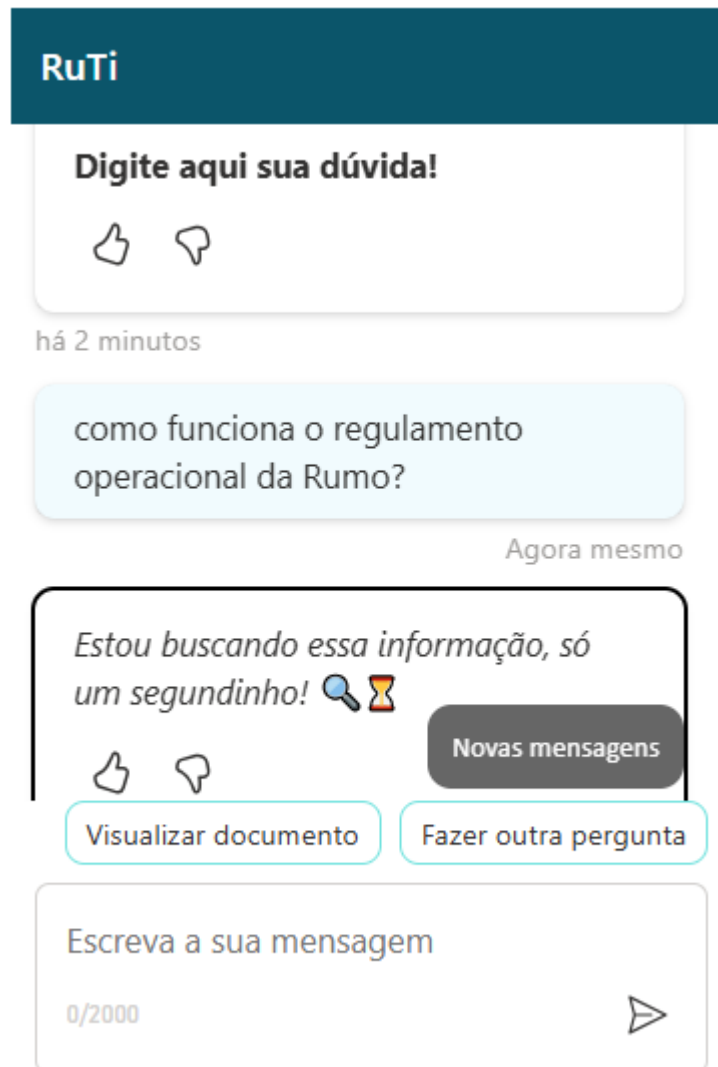
Além disso, o sistema foi configurado para evitar qualquer tipo de alucinação, comportamento comum em modelos de IA quando expostos a perguntas sem correspondência na base de dados. Na prática, se a pergunta feita pelo usuário não encontra resposta válida nos documentos oficiais, a IA instrui a reformulação da pergunta ou indica a leitura completa do documento que também pode ser acessado integralmente, garantindo transparência e autonomia ao maquinista

---

### 3.3 Interface adaptada e experiência do usuário

A interface da RuTi foi construída com foco no uso em campo: layout simples, responsivo, com contraste otimizado para ambientes externos, busca por voz e botão direto para visualização do documento completo. Todos esses elementos foram ajustados com base em observações reais e nas interações dos próprios maquinistas.

A **Figura 1** apresenta o protótipo funcional da ferramenta, tal como foi disponibilizada nos celulares institucionais da operação.



**Figura 1 – Protótipo da interface da RuTi Maquinista para celular institucional**

*Fonte: elaboração própria com base no design funcional validado com usuários.*

### 3.4 Sustentabilidade e eliminação do uso de papel

A implantação da RuTi Maquinista impulsionou um processo relevante de transição cultural e operacional voltado à eliminação do uso de papel na operação ferroviária. Embora a substituição total ainda não tenha sido alcançada, a ferramenta viabilizou um novo modelo de acesso à informação normativa: digital, rastreável, versionado e disponibilizado diretamente nos celulares institucionais.

Com essa mudança, a distribuição impressa de procedimentos, alertas e informativos, anteriormente necessária a cada atualização normativa, passou a ser gradualmente substituída por

consultas digitais no ambiente da RuTi. Essa transição está alinhada às diretrizes de sustentabilidade e à busca por maior eficiência na gestão de recursos e atualização de documentos.

Além dos ganhos operacionais, a ferramenta contribui para a consolidação de uma cultura mais sustentável no setor ferroviário. A prática de consultar normas e orientações técnicas diretamente no sistema digital estimula a conscientização sobre o uso responsável de recursos e favorece o cumprimento de metas ambientais corporativas.

De acordo com Vasconcelos et al. (2023), a digitalização de documentos é uma das estratégias mais eficazes para a redução do impacto ambiental em cadeias logísticas com grande demanda documental, como o setor ferroviário. A RuTi Maquinista promove essa transição sem comprometer a segurança, a padronização ou a rastreabilidade dos processos, ao mesmo tempo em que fortalece comportamentos operacionais alinhados às práticas ESG.

Como próximos passos, destacam-se:

- Expansão da base documental disponível;
- Consolidação de relatórios sobre os temas mais buscados;
- Reforço na formação dos usuários para uso ético e seguro da IA;
- Exploração de novos casos de uso em outras áreas com alta dependência de normas.

**A assistente virtual, portanto, se consolida como uma ferramenta estratégica, que alia inovação, eficiência operacional, segurança e sustentabilidade, pilares cada vez mais indispensáveis no setor ferroviário moderno.**

#### **4. Conclusões**

A assistente virtual, portanto, se consolida como uma ferramenta estratégica, que alia inovação, eficiência operacional, segurança e sustentabilidade, pilares cada vez mais indispensáveis no setor ferroviário moderno.

A RuTi Maquinista representa um avanço significativo na modernização da operação ferroviária da Rumo Logística, ao viabilizar o acesso digital, ágil e confiável à documentação normativa diretamente pelos maquinistas. Estruturada sobre uma arquitetura robusta de inteligência artificial e baseada em documentos versionados, a solução resolve um desafio histórico da operação: a consulta a normas e procedimentos de forma segura, atualizada e rastreável.

Os resultados observados nas primeiras semanas de uso confirmam a aderência da ferramenta em campo, com mais de 2.000 perguntas registradas e aproximadamente 40% dos maquinistas ativos

utilizando o sistema em seus dispositivos institucionais. A interface simples, a confiabilidade técnica e a garantia de uso exclusivamente quando o trem está parado foram fundamentais para essa aceitação.

A RuTi também fortalece a segurança operacional ao eliminar ambiguidades sobre procedimentos, garantindo que as respostas fornecidas sejam sempre baseadas nos documentos oficiais da companhia. Quando não há resposta compatível, a IA orienta o usuário a reformular a pergunta ou consultar o documento completo, evitando interpretações equivocadas.

Além dos benefícios operacionais, a solução contribui diretamente para as metas de sustentabilidade da empresa ao reduzir gradualmente a necessidade de impressão e distribuição de materiais físicos. A digitalização promovida pela RuTi incentiva uma mudança cultural importante, consolidando práticas mais responsáveis e alinhadas aos princípios ESG no setor ferroviário.

Como próximos passos, destaca-se o potencial de ampliação da base documental, o uso de dados de interação para melhorar continuamente a experiência do usuário e a expansão do modelo para outras áreas da operação com demandas semelhantes. A RuTi consolida-se, assim, como um exemplo concreto de aplicação de IA voltada à eficiência, à segurança e à sustentabilidade em ambientes logísticos complexos.

## Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: Informação e documentação – Referências – Elaboração. Rio de Janeiro, 2018.

FERNANDES, M. R. et al. Governança da informação: fundamentos, práticas e perspectivas. *Revista Perspectivas em Gestão & Conhecimento*, João Pessoa, v. 12, n. 1, p. 108-129, 2022. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/pgc/article/view/61225>. Acesso em: 3 ago. 2025.

GIL, A. C. *Métodos e técnicas de pesquisa social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

MICROSOFT. Azure Blob Storage – High-performance, durable block storage. 2024. Disponível em: <https://azure.microsoft.com/en-us/products/storage/blobs/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

RODRÍGUEZ-HERNÁNDEZ, M.; CRESPO-MÁRQUEZ, A.; SÁNCHEZ-HERGUEDAS, A.; GONZÁLEZ-PRIDA, V. Digitalization as an enabler in railway maintenance: a review from “The International Union of Railways Asset Management Framework” perspective. *Infrastructures*, Basel, v. 10, n. 4, art. 96, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/infrastructures10040096>. Acesso em: 3 ago. 2025.

RUMO. Procedimentos Operacionais Padrão – POPs. Documentos internos, 2023–2025.

RUMO. A inteligência artificial chegou na Rumo. Rumo Logística, 2024. Disponível em: <https://rumolog.com/sala-de-imprensa/a-inteligencia-artificial-chegou-na-rumo/>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ZELLER, M. et al. Toward a safe MLOps process for ML-based systems in the railway domain. *arXiv preprint*, arXiv:2307.02867, 2023. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/2307.02867>. Acesso em: 3 ago. 2025.

ANDROOD, S. H. et al. *Sustainability-Related Impacts of Digitalization on Supply Chain Management*. *Engineering Proceedings*, v. 76, n. 1, art. 25, 2024. Estudo que evidencia como a digitalização de processos em cadeia logística reduz o consumo de papel, melhora a eficiência e contribui para metas de sustentabilidade. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/engproc2024076025>. Acesso em: 3 ago. 2025.