

Sistema de sinalização ferroviária microprocessada Microprocessor-based railway signaling system

Antônio Leal de Souza Júnior*
Luis Gustavo Schroder e Braga**

RESUMO

Este Trabalho de Conclusão de Curso analisa a evolução da sinalização ferroviária no Brasil, desde o sistema Staff e o intertravamento a relé até os modernos sistemas microprocessados, com ênfase no equipamento Electrologixs. O estudo de caso abrange o trecho ferroviário entre Pindamonhangaba e Manoel Feio, no Vale do Paraíba, que operou por décadas sem sinalização moderna. A ausência de sistemas automáticos limitava a velocidade média a 30 km/h, aumentava os riscos de acidentes e comprometia a eficiência logística. A implementação do projeto CTC Vale do Paraíba, baseado em sinalização microprocessada, trouxe avanços operacionais expressivos: houve aumento significativo na velocidade média, além de maior confiabilidade, previsibilidade e segurança operacional. O impacto da modernização é evidenciado pelo Gráfico Horário de Trens (GHT), que demonstra aumento de circulações e melhor aproveitamento da malha ferroviária. Além dos resultados técnicos, o trabalho proporcionou ao autor aprendizado significativo, consolidando competências em engenharia ferroviária, automação e gestão de projetos. Conclui-se que a modernização da sinalização é fator essencial para a eficiência, segurança e competitividade do transporte ferroviário no Brasil.

Palavras-chave: Sinalização ferroviária. Sistemas microprocessados. Electrologixs.

ABSTRACT

This undergraduate thesis examines the evolution of railway signaling in Brazil, from the Staff system and relay interlocking to modern microprocessor-based systems, with emphasis on the Electrologixs equipment. The case study focuses on the railway section between Pindamonhangaba and Manoel Feio in the Vale do Paraíba, which operated for decades without contemporary signaling. The absence of automatic systems limited average speeds to 30 km/h, increased accident risks, and reduced logistical efficiency. The implementation of the CTC Vale do Paraíba project, based on microprocessor signaling, resulted in significant operational improvements: average speed increased to 50 km/h, traffic reliability and predictability were enhanced, and overall safety was strengthened. The impact of modernization is evidenced by the Train Schedule Graph (GHT), showing higher train circulation and more efficient use of the railway network. Beyond technical outcomes, the project provided the author with substantial professional learning, reinforcing expertise in railway engineering, automation, and project management. The study concludes that signaling modernization is a crucial factor for operational efficiency, safety, and competitiveness in Brazil's railway transport sector.

Keywords: Railway signaling. Microprocessing. Electrologixs.

* Rede de Ensino Doctum – Unidade Dom Orione – aluno.antonio.souza@doctum.edu.br – graduando em Engenharia Elétrica

** Rede de Ensino Doctum – Unidade Dom Orione – luis.braga@doctum.edu.br – Orientador do trabalho

1. Introdução

O transporte ferroviário desempenha um papel fundamental na logística e na economia do Brasil, sendo essencial para o escoamento de cargas em grande volume com eficiência e segurança. De acordo com o Ministério dos Transportes, o setor ferroviário representa cerca de 15,1% da divisão modal. Dados do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) de 2021 revelam que a extensão total da malha ferroviária federal chega a 30.660 km. A modernização desse modal é um fator determinante para o aumento de sua capacidade operacional e competitividade. Nesse contexto, a sinalização ferroviária assume um papel crucial, pois impacta diretamente a velocidade, a segurança e a rastreabilidade das composições, além de permitir maior eficiência na gestão do fluxo de trens.

A problemática central deste Trabalho de Conclusão de Curso está relacionada à ausência de sinalização em um trecho de aproximadamente 140 km de ferrovia na região do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo. Sem um sistema de sinalização adequado, os trens precisam circular em ordem de avanço, o que impacta diretamente na segurança, na velocidade e na rastreabilidade das composições. A falta de um sistema microprocessado para otimizar o tráfego ferroviário nesse trecho compromete a eficiência operacional e aumenta os riscos de acidentes, tornando essencial a implementação de uma sinalização moderna que garanta maior controle e segurança nas operações.

Implementação do Communication-Based Train Control (CBTC) - [Sistema Microprocessado] por uma empresa ferroviária, foi pioneira ao implementar o sistema CBTC em ferrovias de carga. Esse sistema permite o controle e monitoramento contínuo das composições por meio de comunicação dedicada, resultando em maior eficiência operacional e segurança, segundo a Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. (2023). A evolução tecnológica aplicada à sinalização ferroviária tem proporcionado melhorias significativas para as operadoras do setor. A implementação de sistemas microprocessados permitiu ganhos expressivos em termos de confiabilidade e capacidade operacional. Entre os principais benefícios dessa inovação, destacam-se a elevação da velocidade operacional, maior segurança e rastreabilidade das composições, além da possibilidade de reduzir espaçamentos entre trens e aumentar a produtividade.

A escolha desse tema para o Trabalho de Conclusão de Curso deve-se à experiência direta do autor na implantação da sinalização microprocessada na região

do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, pela empresa que trabalha. A vivência nesse projeto possibilitou a compreensão, na prática, dos impactos positivos da modernização da sinalização ferroviária e dos desafios enfrentados para sua implementação. Com base nessa experiência, busca-se demonstrar a relevância dessa evolução tecnológica e sua contribuição para a eficiência operacional e o crescimento do setor.

Neste Trabalho de Conclusão de Curso, serão analisadas as contribuições proporcionadas pela sinalização microprocessada e seu impacto no desenvolvimento da empresa. Para isso, será apresentado um estudo de caso baseado na implantação desse sistema na região do Vale do Paraíba, no estado de São Paulo, pela empresa uma empresa ferroviária. A experiência adquirida na participação desse projeto possibilita uma abordagem detalhada dos resultados obtidos, incluindo o aumento do fluxo de trens e os ganhos operacionais alcançados.

Por meio da análise dos dados coletados e da comparação com os indicadores anteriores à implantação do sistema, serão demonstradas as contribuições proporcionadas pela sinalização ferroviária microprocessada. Com isso, espera-se evidenciar a importância da modernização tecnológica no setor ferroviário e os benefícios que essa evolução traz para a eficiência e a segurança do transporte ferroviário no Brasil.

2. Referencial Teórico

2.1 Explicação da ferrovia no Brasil

O processo de implantação das ferrovias no Brasil teve início no século XIX, em um contexto marcado pelas transformações decorrentes da Revolução Industrial e pela necessidade de modernização da infraestrutura de transportes. A economia brasileira, então fortemente dependente da agricultura de exportação, sobretudo da produção de café, exigia soluções mais eficientes para o escoamento de mercadorias. Conforme analisado por Meirelles (2001), o surgimento da ferrovia no território nacional refletiu interesses das elites agrárias e do capital estrangeiro, especialmente o britânico, que buscava expandir sua influência econômica nas regiões tropicais.

Nesse cenário, destacou-se a atuação de Irineu Evangelista de Sousa, o Barão de Mauá, empresário visionário que protagonizou a introdução da primeira estrada de ferro no Brasil. De acordo com Fausto (2006), coube a ele a realização da inauguração da Estrada de Ferro Mauá, em 30 de abril de 1854, interligando o Porto

de Mauá, na Baía de Guanabara, à localidade de Fragoso, no município de Magé, no Rio de Janeiro. Embora a linha possuísse extensão modesta, com aproximadamente 14,5 quilômetros, representou um marco para a infraestrutura nacional e simbolizou o início da modernização do transporte terrestre no país.

O empreendimento promovido por Mauá teve caráter essencialmente privado, contando com investimentos próprios e apoio técnico de engenheiros estrangeiros. Como aponta Berman (2011), sua iniciativa enfrentou oposição tanto do governo imperial quanto de setores conservadores da aristocracia rural, que demonstravam resistência à introdução de novas tecnologias capazes de alterar os modos tradicionais de transporte. Ainda assim, o êxito da obra teve um papel decisivo ao estabelecer um modelo de gestão e operação que viria a influenciar outros projetos ferroviários em diferentes regiões do Brasil.

Com a comprovação da viabilidade econômica da ferrovia, o governo imperial passou a adotar uma postura mais favorável à sua expansão. Segundo Silva (2010), foram implementadas diversas medidas legais com o objetivo de atrair capital privado, inclusive estrangeiro, através de concessões e benefícios fiscais. Isso possibilitou a construção de outras linhas relevantes, como a Estrada de Ferro Dom Pedro II, que mais tarde seria conhecida como Estrada de Ferro Central do Brasil (E.F.C.B). O período entre as décadas de 1860 e 1880 foi marcado por um crescimento expressivo da malha ferroviária, ainda que concentrado nas regiões Sudeste e Nordeste.

A ferrovia teve papel crucial no fortalecimento da economia brasileira durante a segunda metade do século XIX. Para Dean (1971), o transporte ferroviário contribuiu significativamente para a redução de custos logísticos e para a maior competitividade das exportações, sobretudo do café. Além disso, a implantação de ferrovias estimulou a formação de núcleos urbanos ao longo das linhas férreas, alterando padrões de ocupação do território e promovendo o adensamento populacional em áreas anteriormente rurais ou de difícil acesso.

Em síntese, observa-se que, mesmo sem continuidade plena em todos os seus empreendimentos, o Barão de Mauá exerceu papel determinante na introdução da tecnologia ferroviária no Brasil. Conforme argumenta Meirelles (2001), sua visão empreendedora e seu comprometimento com a modernização colocaram o país na trilha do desenvolvimento técnico e da integração territorial, sendo sua atuação lembrada como um dos marcos iniciais da infraestrutura ferroviária brasileira.

Nas últimas décadas, o sistema ferroviário do Brasil passou por um processo significativo de transformação, especialmente após a implementação do modelo de concessões na década de 1990. Se no passado as ferrovias desempenharam papel crucial na integração territorial e na expansão de centros urbanos em áreas isoladas, conforme apontado por Dean (1971), atualmente sua função principal está centrada na logística de transporte em longas distâncias, com destaque para o escoamento de commodities agrícolas e minerais. A malha ferroviária nacional, atualmente com cerca de 30 mil quilômetros de extensão, vem sendo gradualmente modernizada, com investimentos direcionados à reestruturação de trechos estratégicos e ao fortalecimento dos corredores de exportação (ANTF, 2023). Atual malha ferroviária do Brasil de junho de 2025 encontra-se no anexo I. Na figura 1 podemos comparar a expansão pontual da linha férrea no Brasil.

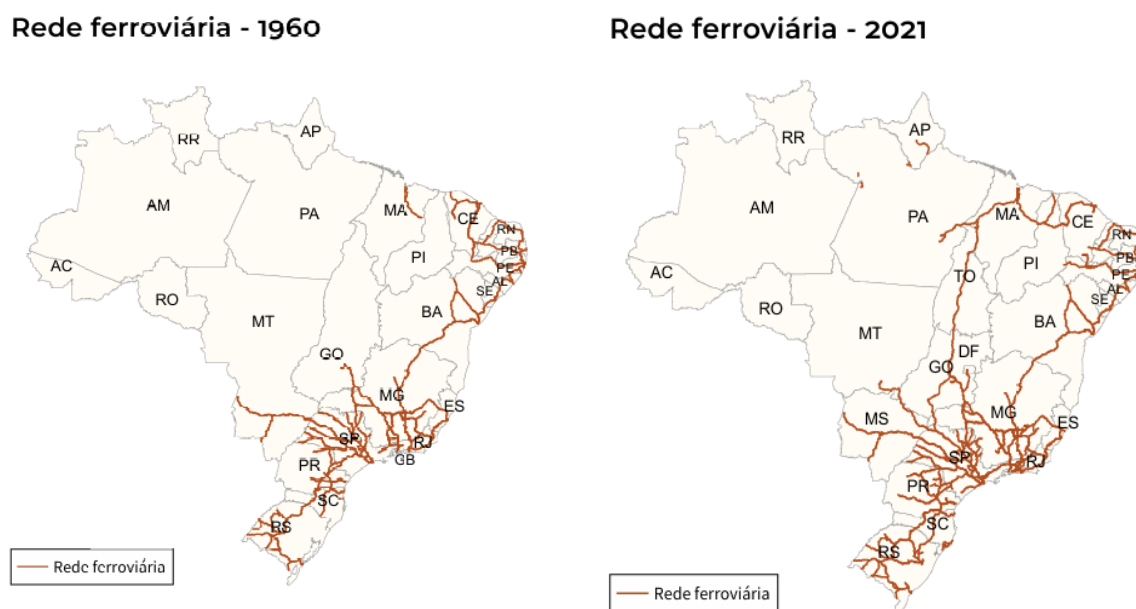


Figura 1 - evolução do mapa ferroviário do Brasil (1960 - 2021)

Fonte: MAPAS das infraestruturas de todos os modos de transportes. In: BRASIL. Ministério da Infraestrutura. Mapas e Bases dos Modos de Transportes. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/dados-de-transportes/bit/bitmodosmapas>. Acesso em: ago. 2022.

Projetos como a Ferrovia Norte-Sul, a Ferrovia de Integração Oeste-Leste (FIOL) e a Ferrovia de Integração Centro-Oeste (FICO) têm contribuído para a ampliação do alcance geográfico das ferrovias brasileiras. Essas iniciativas não se limitam à melhoria do transporte de cargas, mas também promovem impactos positivos nas economias regionais. Segundo análise do Instituto de Pesquisa

Econômica Aplicada (IPEA, 2022), a implantação de infraestrutura ferroviária moderna tem incentivado o crescimento da atividade econômica local, fomentado a ocupação urbana e aumentado o valor de áreas próximas às linhas férreas.

Além das melhorias físicas, o setor ferroviário vem sendo impulsionado por mudanças institucionais e regulatórias. A promulgação da Lei nº 14.273/2021, conhecida como o novo marco legal das ferrovias, representou um avanço importante ao permitir que empresas privadas apresentem projetos ferroviários por meio do modelo de autorização. Essa flexibilização tende a ampliar a rede ferroviária e a diminuir a dependência histórica do país em relação ao transporte rodoviário, reduzindo custos logísticos e aumentando a competitividade dos produtos brasileiros no mercado internacional.

No que diz respeito ao desenvolvimento regional, a ampliação da malha ferroviária tem assumido papel estratégico na promoção do crescimento econômico e social em áreas diretamente atendidas por esse modal. De acordo com estudo apresentado na 51ª Reunião da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), municípios localizados nas proximidades da Ferrovia Norte-Sul (EF-151) registraram indicadores de crescimento superiores aos de municípios mais afastados da ferrovia. Conforme os autores do estudo, em um cenário hipotético sem a presença da ferrovia, o crescimento do Produto Interno Bruto (PIB) médio desses municípios teria sido 39,8% menor, enquanto o PIB per capita e a população teriam crescido 42,9% e 35,9% a menos, respectivamente (Valeriano & Lima, 2023). Esses dados evidenciam a relevância das ferrovias como catalisadoras do desenvolvimento regional e da reestruturação econômica local.

2.2 STAFF: Marco inicial da modernização da sinalização ferroviária

A partir da inauguração da Estrada de Ferro Mauá em 1854, idealizada pelo Barão de Mauá, a necessidade de organizar o tráfego ferroviário passou a ser uma preocupação operacional crescente. Ainda que os primeiros sistemas utilizassem recursos rudimentares, como sinais manuais e comunicação visual direta entre funcionários, já se percebia a importância de coordenar a circulação dos trens para evitar colisões e garantir maior regularidade nas viagens. Com a expansão das ferrovias no território brasileiro, tornou-se evidente que a sinalização era um componente essencial para a segurança das operações e para a padronização dos procedimentos. Segundo a Associação Brasileira da Indústria Ferroviária (ABIFER,

2021), a evolução dos sistemas de sinalização foi determinante para que o transporte ferroviário pudesse se adaptar às exigências de uma operação contínua, segura e com maior densidade de tráfego.

Segundo o material didático "Transporte Ferroviário: História e Técnicas" (2022), o sistema de sinalização ferroviária conhecido como "staff" desempenhou um papel crucial na segurança e controle do tráfego ferroviário, especialmente em linhas singelas com baixo volume de tráfego. Este método foi amplamente utilizado no Brasil e em outros países durante o século XX, antes da implementação de tecnologias mais modernas de controle de tráfego.

Conforme descrito por Sílvio dos Santos em seu artigo "Os sinais das ferrovias (3)", publicado no portal Portogente, o "staff" consistia em um conjunto de dois equipamentos interligados eletricamente, instalados em estações adjacentes. Cada equipamento continha diversos bastões metálicos, denominados "staffs", que serviam como autorização física para a circulação de trens em determinado trecho da linha. Para que um trem pudesse transitar entre duas estações, os agentes das estações envolvidas se comunicavam eletricamente, liberando um único bastão que era entregue ao maquinista na estação de origem. Este bastão deveria ser entregue na estação de destino, onde seria inserido no equipamento correspondente, permitindo a liberação de um novo bastão para outro trem. Enquanto o bastão não fosse devolvido, nenhum outro poderia ser retirado, garantindo que apenas um trem circulasse no trecho em questão, evitando colisões. Conforme a figura 2 é possível visualizar os componentes citados do sistema STAFF.



Figura 2 - Máquina de staff ferroviária utilizada no controle de circulação em linhas simples
Fonte: MIGUEL SALLES. Máquina de staff ferroviária. Disponível em:
<https://www.miguelsalles.com.br/peca/35506/maquina-de-staff-ferroviaria>. Acesso em: jun. 2025.

De acordo com informações do Museu Ferroviário de Araguari (2025), disponíveis no site Estação de Memórias, o funcionamento do sistema baseava-se na geração de uma corrente elétrica por meio de um magneto acionado pelo agente da estação de destino. Esta corrente liberava o bastão no equipamento da estação de origem. O bastão possuía inscrições com os nomes das estações entre as quais era válido, além de saliências específicas que impediam seu uso em outros trechos, aumentando a segurança operacional. O sistema era considerado infalível, pois impedia fisicamente a liberação de mais de um bastão por vez para o mesmo trecho, eliminando a possibilidade de erro humano na autorização de circulação de trens. Na figura 3 é possível visualizar a troca de bastões com a composição em movimento.



Figura 3 - Troca de bastões na ferrovia South Australian Railways em 1960.
Fonte: <http://www.johnnyspages.com/jamestown.htm>

Segundo o blog Planeta Ferrovia, antes da adoção do "staff", a autorização para a circulação de trens era concedida por meio de ordens verbais ou escritas, o que dependia da disciplina e atenção dos operadores e maquinistas. Com a introdução do sistema "staff", a autorização passou a ser física e única, reduzindo significativamente o risco de acidentes causados por falhas de comunicação ou interpretação. Este sistema foi particularmente útil em linhas com tráfego reduzido, onde a implementação de sistemas mais complexos e automatizados não era economicamente viável.

Conforme mencionado por Sílvio dos Santos no artigo "A sinalização ferroviária", também publicado no portal Portogente, apesar de sua eficácia, o sistema "staff" apresentava limitações, especialmente em linhas com maior volume de tráfego, onde a necessidade de maior flexibilidade e capacidade de gerenciamento exigia soluções mais avançadas. Com o tempo, o "staff" foi sendo substituído por sistemas de Controle de Tráfego Centralizado (CTC) e outros métodos automatizados de sinalização e controle, que permitiam maior eficiência e segurança na operação ferroviária.

No entanto, conforme destacado no material "Transporte Ferroviário: História e Técnicas" (2022), o "staff" ainda é utilizado em algumas linhas singelas com baixo

tráfego, devido à sua simplicidade, baixo custo de implementação e manutenção, e alta confiabilidade. Sua presença em museus ferroviários e em algumas operações atuais serve como testemunho de uma era em que a engenharia mecânica e elétrica se uniu para proporcionar soluções eficazes para os desafios do transporte ferroviário.

Em suma, o sistema de sinalização "staff" desempenhou um papel crucial na evolução da segurança ferroviária, representando uma etapa importante na transição de métodos manuais e suscetíveis a erros para sistemas mais seguros e automatizados. Seu legado permanece como exemplo de inovação e adaptação tecnológica às necessidades operacionais da época.

2.3 Relés: Um grande avanço tecnológico

O desenvolvimento dos sistemas de sinalização ferroviária reflete diretamente os avanços tecnológicos e a complexidade crescente da operação ferroviária. Durante o século XIX, em linhas de via única, foi amplamente utilizado o sistema conhecido como Staff ou Token. Esse método consistia na entrega manual de um bastão ao condutor, o que simbolizava autorização exclusiva para circular por um determinado trecho da via. De acordo com Fernandes (2010), esse sistema, apesar de simples, foi fundamental nos primeiros tempos da ferrovia, especialmente em regiões de baixa densidade operacional, pois evitava colisões em trechos não duplicados.

Contudo, com a expansão da malha ferroviária e o aumento no número de trens em circulação, tornou-se evidente a necessidade de métodos mais seguros e automatizados. Em resposta a essa demanda, foram introduzidos, a partir do final do século XIX, os primeiros sistemas de intertravamento eletromecânico, e, posteriormente, os sistemas baseados em relés. Conforme observa Glen (2007), os relés permitiram que sinais e desvios fossem controlados remotamente com precisão e segurança, marcando uma nova era na operação ferroviária. Na figura 4 é possível visualizar rack com os relés instalados, realizando o intertravamento da sinalização.

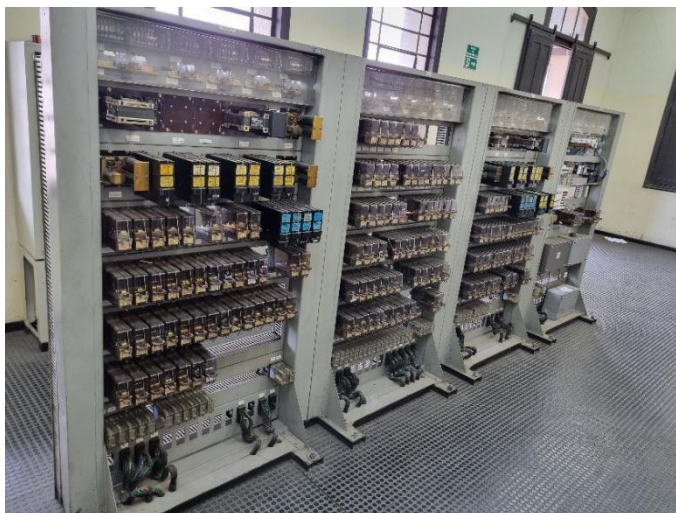


Figura 4 - Racks de intertravamento a relé - Sistema REED
 Fonte: fotografado pelo autor 2023

O relé, dispositivo central nessa inovação, opera com base em um princípio eletromecânico: uma corrente elétrica aplicada a uma bobina gera um campo magnético capaz de movimentar contatos metálicos, abrindo ou fechando circuitos. Segundo Ray (2014), essa característica faz com que relés possam executar funções lógicas e de intertravamento de forma segura, mesmo em ambientes hostis, como pátios ferroviários expostos a intempéries e vibrações. É possível visualizar um exemplo de relé tipo shelf na figura 5.



Figura 5 - Relés de bancada [relay shelf]
 Fonte: fotografado pelo autor 2024

Além de sua funcionalidade básica, os relés ferroviários possuem características construtivas específicas que os diferenciam de relés convencionais. Um exemplo notável é o uso de contatos de carvão, material que reduz significativamente o risco de “colagem” dos contatos em caso de arco elétrico. Conforme destacam Silva e Vasconcelos (2018), esse tipo de contato garante maior confiabilidade, especialmente em circuitos de segurança, pois evita que o relé permaneça fechado de forma indesejada, situação que poderia comprometer a integridade da operação.

Outro aspecto relevante desses dispositivos é seu comportamento fail-safe, ou seja, seu projeto é orientado para que qualquer falha conduza o sistema a um estado seguro. Essa lógica, segundo Costa e Moura (2021), reforça a confiança na sinalização a relé e tornou possível sua adoção em larga escala, inclusive em sistemas complexos e com elevado fluxo de trens, como foi o caso da British Railways no século XX. A estação de York, por exemplo, operou por décadas com um sofisticado sistema de intertravamento a relé, sendo referência em confiabilidade operacional.

O Japão também foi pioneiro na implementação de sistemas a relé, especialmente durante a expansão de sua malha ferroviária no período pós-guerra. Conforme aponta Nakamura (2003), as linhas da antiga Japan National Railways (JNR), inclusive o Shinkansen em seus primeiros anos, incorporaram intertravamentos baseados em relé, o que foi essencial para alcançar os altos padrões de pontualidade e segurança que caracterizam o transporte ferroviário japonês até hoje.

Embora os sistemas computadorizados tenham se tornado padrão em novas instalações, os sistemas a relé ainda são amplamente utilizados em diversas ferrovias ao redor do mundo. Isso se deve não apenas à sua durabilidade e robustez, mas também à facilidade de manutenção e à confiabilidade comprovada ao longo de décadas de operação. De acordo com Glen (2007), muitos sistemas a relé permanecem em funcionamento pleno mesmo após mais de 40 anos de uso, reforçando seu valor histórico e técnico.

A manutenção desses sistemas, entretanto, exige conhecimento técnico específico. Técnicos e engenheiros devem dominar a lógica de intertravamento representada em diagramas elétricos e realizar testes periódicos para garantir a integridade funcional de cada componente. Como destacam Silva e Vasconcelos

(2018), a rotina de inspeção inclui medições de resistência dos contatos, análise de tempo de comutação e verificação do estado físico dos relés.

Em termos operacionais, a transição do sistema Staff para o sistema de sinalização a relé representou um avanço significativo na capacidade de controle e na segurança das operações ferroviárias. Esse progresso possibilitou o surgimento de centros de controle que supervisionam grandes trechos da malha em tempo real, com base em circuitos que interligam centenas de relés e dispositivos de campo, garantindo que nenhuma manobra ou sinalização ocorra sem a devida autorização lógica e física.

Assim, os sistemas a relé permanecem não apenas como uma solução técnica eficaz, mas também como um legado da engenharia ferroviária que continua relevante. Conforme Costa e Moura (2021), mesmo diante das novas tecnologias digitais, os sistemas a relé continuam sendo uma alternativa viável, especialmente em linhas de médio porte ou em projetos que priorizam robustez e simplicidade de manutenção. O equilíbrio entre tradição e inovação torna esses sistemas um elemento vital na história e na evolução da sinalização ferroviária mundial.

2.4 Evolução do intertravamento microprocessado

A modernização da malha ferroviária brasileira tem passado por significativas transformações, especialmente no que diz respeito à automação e controle dos sistemas de sinalização. Após décadas de predominância dos métodos analógicos e eletromecânicos, como o sistema STAFF e o intertravamento a relé, a implantação de sistemas microprocessados representa um salto qualitativo em eficiência, segurança e capacidade de gestão operacional. Entre as soluções modernas, destaca-se o Electrologixs, desenvolvido originalmente pela GE Transportation, hoje incorporada à Wabtec Corporation. Na figura 6 abaixo é representado dois modelos de rack do sistema do Electrologixs, sendo o da esquerda contendo 9 slots e o da direita com um tamanho menor contendo 4 slots.



Figura 6 - electrologixs

Fonte: manual VLC and EC5 System Operation and Maintenance

A sinalização microprocessada é baseada em controladores digitais que utilizam lógica programada para controlar o tráfego ferroviário. Esses sistemas substituem os circuitos lógicos a relé, anteriormente utilizados em intertravamentos, por controladores programáveis que operam com base em algoritmos desenvolvidos especificamente para a operação ferroviária.

Diferentemente da sinalização eletromecânica, os sistemas microprocessados são capazes de realizar autodiagnóstico, redundância lógica e comunicação em rede, promovendo maior confiabilidade e menor necessidade de intervenção humana.

Segundo Silva e Vasconcelos (2018), “os sistemas de sinalização microprocessados aumentam substancialmente a confiabilidade e a flexibilidade operacional, permitindo também a integração com sistemas de gestão centralizados e remotos”.

Entre os principais benefícios da adoção de sistemas microprocessados em ferrovias, destacam-se:

- **Diagnóstico em tempo real:** permite monitorar o estado dos componentes do sistema e identificar falhas de forma automatizada.
- **Redução de espaço físico:** elimina a necessidade de grandes painéis de relés e armários volumosos.

- **Programabilidade:** as lógicas de intertravamento podem ser alteradas via software, sem necessidade de intervenções físicas em relés.
- **Segurança operacional:** implementa verificações automáticas de consistência e protocolos de fail-safe.
- **Integração com centros de controle:** comunicação por fibra óptica, rádio ou TCP/IP com sistemas de CCOs (Centros de Controle Operacional).
- **Manutenção simplificada:** manutenção preditiva baseada em dados, com menor tempo de indisponibilidade.

O sistema Electrologixs é uma plataforma de sinalização digital desenvolvida originalmente pela GE Transportation Systems, atualmente incorporada à Wabtec Corporation, voltada ao controle e automação de intertravamentos, passagens de nível, estações e trechos de linha.

De acordo com o fabricante, “o Electrologixs foi concebido para garantir segurança, modularidade e flexibilidade, sendo compatível com aplicações em linhas de baixa a alta densidade de tráfego” (WABTEC, 2023).

O sistema de sinalização ferroviária ElectroLogIXS representa uma solução moderna baseada em tecnologia microprocessada, projetada para controlar e monitorar operações vitais e não-vitais de forma segura e eficiente. Compatível com sistemas como o Electro Code 4, esse equipamento é capaz de detectar trens, identificar falhas nos trilhos, controlar a sinalização lateral e de cabine, além de possibilitar a integração com sistemas de controle positivo de trens (PTC). O funcionamento baseia-se na transmissão de pulsos codificados através dos trilhos, que são analisados no retorno para verificar a ocupação da via. Quando um trem está presente, ocorre o chamado efeito shunt, impedindo o retorno do sinal e indicando ocupação (Manual do ELX, 2021, pág. 1-10).

Seu núcleo é baseado em controladores de segurança certificados (SIL-4, Safety Integrity Level 4), e conta com módulos de entrada/saída digitais, fontes redundantes, comunicação com redes ópticas e interfaces com sistemas externos como SCADA e CCOs.

O Electrologixs é estruturado em módulos distribuídos com funções específicas, suas principais são:

- **CPU (Unidade de Processamento Central):** executa a lógica de controle e comunicação com os demais elementos.

- **Módulos I/O:** módulos de entrada e saída para interface, máquina de chave elétrica.
- **Módulos VTI:** servem para troca de códigos do circuito de via.
- **Módulos VLD:** servem para o acionamento das bolachas de led.
- **Interface Homem-Máquina (IHM):** permite a visualização local do status do sistema.
- **Comunicação:** suporte a protocolos industriais como Modbus, TCP/IP e CANbus.
- **Redundância:** possui arquitetura redundante em todos os níveis, o que garante operação contínua mesmo em caso de falha parcial.

Segundo Nakamura (2003), “a redundância lógica e física nos sistemas de intertravamento modernos é o que assegura que o princípio do fail-safe continue sendo respeitado mesmo com a adoção de tecnologia digital”.

O circuito de via é um dos componentes mais fundamentais da sinalização ferroviária, sendo empregado para detectar a presença ou ausência de trens nos trilhos. Sua função principal é monitorar continuamente a integridade do trecho de via entre dois pontos, permitindo determinar se ele está ocupado ou livre, informação essencial para o controle seguro da movimentação de trens.

O princípio de funcionamento baseia-se no uso dos próprios trilhos como condutores de um circuito elétrico. Cada trecho de via é eletricamente isolado dos adjacentes por meio de juntas isolantes, permitindo o funcionamento independente dos blocos de controle. Um transmissor é conectado a uma extremidade do trecho e injeta uma corrente elétrica codificada nos trilhos. Na outra extremidade, um receptor monitora a presença dessa corrente. Quando o trecho está desocupado, a corrente circula normalmente entre os trilhos e o receptor a identifica, indicando via livre. Caso um trem entre no trecho, suas rodas e eixos metálicos criam um curto-circuito entre os trilhos (efeito shunt), impedindo a circulação da corrente elétrica, o que é interpretado pelo sistema como via ocupada. Na figura 7 visualizamos o princípio de um circuito de via livre, não ocorrendo nenhuma ocupação no circuito, e em sequência na figura 8 ao lado esquerdo é representado a ocupação do circuito de via por rodeiro, simulando a passagem do trem e ao lado direito é simulado a ocupação por um trilho quebrado, rompendo a alimentação do relé e por assim identificando a ocupação.

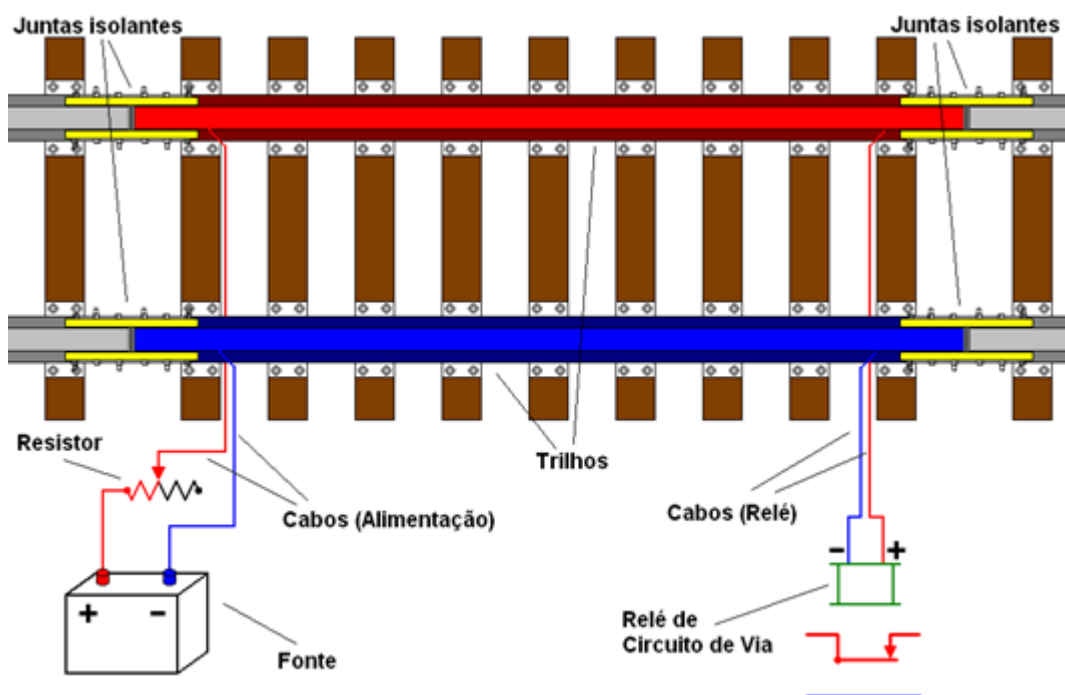


Figura 7 - Circuito de via livre
Fonte: BRANDI, 2013

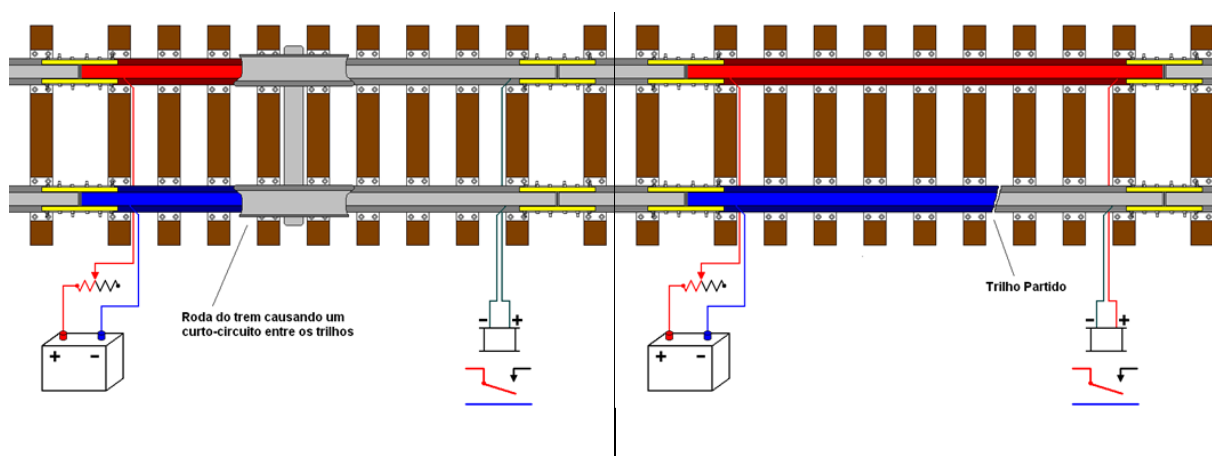


Figura 8 – À esquerda circuito de via ocupado pelo rodeiro, a direita trilho quebrado

Fonte: BRANDI, 2015.

Segundo o Manual do ELX,

“o sinal transmitido por um módulo VTI é codificado em corrente contínua, sendo injetado nos trilhos através de um conversor DC/DC isolado. A presença ou ausência desse sinal no retorno é utilizada para determinar a ocupação da via” (Manual do ELX, 2021, pág. 1-75).

Nos sistemas modernos, como os baseados em microprocessadores, o circuito de via passou a incorporar codificações mais complexas no sinal, permitindo não apenas a detecção de ocupação, mas também a transmissão de informações

adicionais ao trem. Os chamados códigos vitais, como o Code 1, Code 5 ou Code M, são definidos com base em padrões temporais de pulsos elétricos, interpretados pelo trem como comandos de velocidade, autorização de movimento ou paradas programadas.

Além disso, os circuitos modernos contam com ajustes automáticos de parâmetros como tensão de transmissão e corrente de referência para recepção. Esses ajustes são realizados com base no comprimento do trecho, nas condições do lastro e no estado físico dos trilhos. Conforme orientações técnicas do manual:

“O valor de corrente de recepção ideal varia conforme as condições da via. Em balastro normal ou congelado, correntes abaixo de 1,20 A devem ser compensadas com o aumento da tensão de transmissão em 0,50 VDC. Já em condições de via molhada, recomenda-se não exceder 1,50 A, mesmo com ajustes” (Manual do ELX, 2021, pág. 1-81).

Esse tipo de calibração dinâmica melhora significativamente a confiabilidade do sistema em diferentes condições climáticas e geográficas.

Outro avanço considerável é a implementação de blocos virtuais, tecnologia que permite a subdivisão lógica de um único trecho físico em múltiplas zonas de controle. Essa funcionalidade é possível graças à análise em tempo real da corrente de recepção e da variação de impedância ao longo do trilho. Dessa forma, é possível estimar com maior precisão a posição do trem dentro de um mesmo bloco físico. De acordo com o manual da Alstom:

“O recurso de Virtual Block permite identificar o Head of Train (HOT) e o End of Train (EOT) com base na análise da corrente de retorno recebida pelo módulo VTI. Isso aumenta a eficiência do sistema, permitindo maior densidade de tráfego sem comprometer a segurança” (Manual do ELX, 2021, pág. 1-82).

Essa tecnologia é essencial para sistemas modernos como o PTC (Positive Train Control), que requerem informações detalhadas e em tempo real sobre a localização dos trens. O uso de blocos virtuais permite reduzir os intervalos de segurança entre trens, otimizando a capacidade da malha ferroviária e elevando a produtividade do sistema como um todo.

Os circuitos de via também podem atuar como dispositivos auxiliares na identificação de falhas na infraestrutura ferroviária. Por exemplo, interrupções inesperadas no sinal podem indicar uma possível quebra de trilho, falhas nos

conectores ou problemas na alimentação elétrica. Além disso, o sistema pode ser integrado a outros elementos da sinalização, como chaves, relés e sensores, aumentando sua abrangência e eficácia na detecção de anomalias.

O módulo VTI, como utilizado no sistema Electrologixs, exemplifica uma solução de alta tecnologia nesse campo. Ele é composto por canais independentes de transmissão e recepção (para os trilhos 1 e 2), possui entrada para sinal vital, saídas de cabina com realimentação e canais de entrada/saída não-vitais. Além disso, dispõe de LEDs de diagnóstico e comunicação Ethernet para monitoramento remoto e atualizações de firmware, facilitando a manutenção preditiva e corretiva do sistema.

Ao unir confiabilidade, precisão e flexibilidade, o circuito de via moderno transforma-se em mais que um simples detector de presença: torna-se um elemento-chave para a gestão eficiente e segura do transporte ferroviário. Ele sustenta o funcionamento de sistemas inteligentes de controle, é compatível com múltiplos protocolos de comunicação e adapta-se aos diferentes perfis de operação exigidos pelas ferrovias atuais.

No Brasil, diversas concessionárias já utilizam sistemas como o Electrologixs para modernização da sinalização. Destacam-se aplicações em corredores de carga como os da VLI, Rumo Logística, MRS Logística, especialmente em pontos críticos como cruzamentos, entroncamentos e pátios de manobra.

Segundo Valeriano e Lima (2023), “a modernização da sinalização ferroviária tem impacto direto na eficiência logística, na redução do tempo de percurso e na minimização de falhas humanas, elementos essenciais para o aumento da competitividade do transporte sobre trilhos”.

Em algumas aplicações, o Electrologixs está integrado a sistemas CCO com interface SCADA, permitindo a supervisão centralizada e o comando remoto de diversos equipamentos ao longo de centenas de quilômetros de ferrovia.

O Electrologixs atende às normas internacionais de segurança ferroviária, como a CENELEC EN 50126, EN 50128 e EN 50129. Seu projeto é certificado até o nível SIL-4, o mais alto para sistemas ferroviários críticos.

Conforme Ray (2014), “a segurança dos sistemas modernos de sinalização depende de certificações formais, além de testes rigorosos em ambiente controlado e em campo”. Essa conformidade assegura que o sistema pode operar com segurança em ferrovias de tráfego intenso, inclusive em corredores com operação mista (passageiros e cargas).

Embora os intertravamentos a relé tenham sido dominantes por décadas, sua principal limitação é a complexidade e inflexibilidade. Um simples ajuste na lógica operacional exigia alterações físicas em conexões e relés, enquanto nos sistemas microprocessados, como o Electrologixs, isso é feito por reprogramação, com testes em ambiente simulado antes da implantação real.

Além disso, o consumo de energia e o espaço físico dos sistemas a relé são significativamente maiores do que nos sistemas digitais.

A implementação de sistemas microprocessados enfrenta alguns obstáculos, como:

- Necessidade de qualificação técnica das equipes de manutenção.
- Custo inicial elevado.
- Compatibilidade com sistemas legados.
- Requisitos rigorosos de certificação.

Apesar desses desafios, a transição vem ocorrendo de forma gradual, com substituição de sistemas antigos por novos equipamentos em fases. A sinalização ferroviária microprocessada representa o estado da arte em termos de segurança e eficiência operacional nas ferrovias. Soluções como o Electrologixs da GE/Wabtec estão redefinindo o padrão de controle de tráfego, com impacto direto na produtividade, na segurança e na interoperabilidade dos sistemas.

Conforme destacado por Costa e Moura (2021), “a manutenção de sistemas microprocessados tende a se tornar cada vez mais baseada em dados, o que permitirá antecipar falhas e reduzir drasticamente o tempo de indisponibilidade das vias”. Assim, é possível afirmar que o avanço representado pela sinalização microprocessada não apenas substitui tecnologias antigas, mas inaugura uma nova era na operação ferroviária nacional e mundial.

3. Metodologia Aplicada

Primeiramente foi abordado uma revisão de literatura quanto a origem do sistema de ferrovia bem como os possíveis componentes utilizados no projeto. Em seguida foi realizado a aplicação do projeto na região do Ramal de São Paulo, compreendida entre os municípios de Pindamonhangaba e Manoel Feio desenvolveu-se o projeto de modernização da sinalização ferroviária. Esse trecho, desde sua construção, não dispunha de sistemas de sinalização modernos que garantissem segurança e eficiência operacional.

Os estudos de viabilidade foram iniciados em 2018 e, com a renovação da concessão protocolada entre a concessionária responsável pela via e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), tornou-se possível a implementação de um projeto robusto e inovador. Na figura 9 é apresentado o trecho de implementação do projeto.

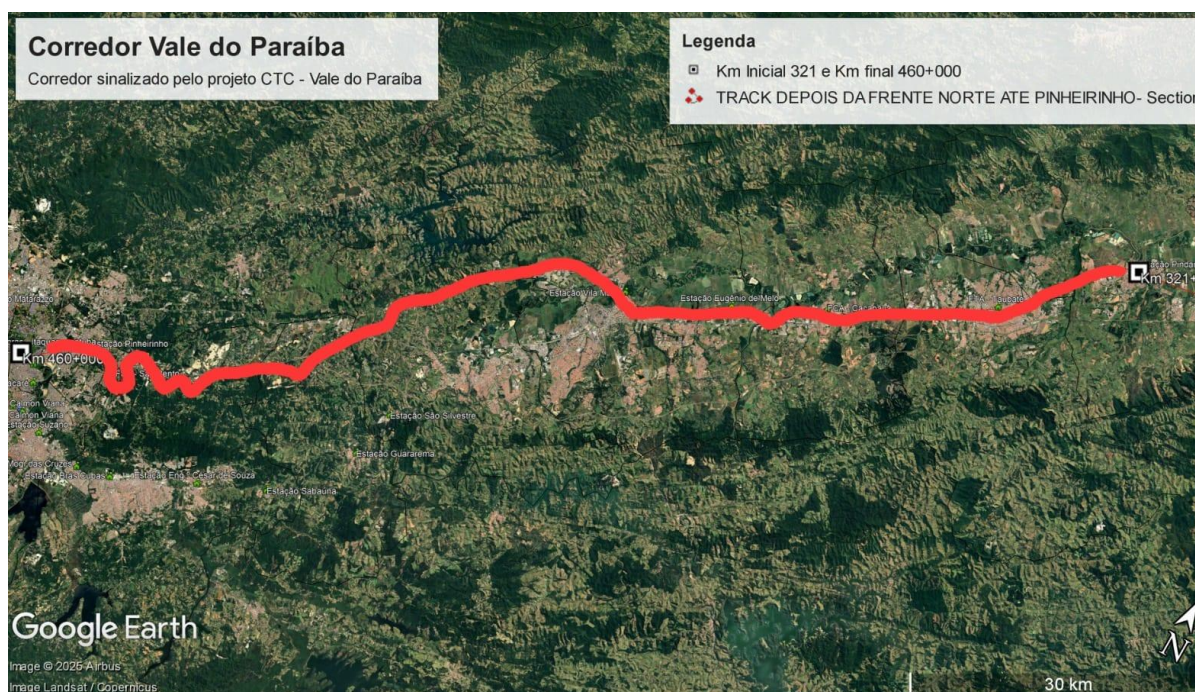


Figura 9 - Corredor Vale do Paraíba
Fonte: Google Earth (2025)

O Projeto de Sinalização do Vale do Paraíba teve início em 2020, estruturado metodologicamente em fases sucessivas, Projeto Conceitual, Projeto Básico e Projeto Executivo, sendo concluído em meados de 2024. Durante esse período, foram contabilizadas mais de 20.000 horas de Engenharia e a elaboração de aproximadamente 1.800 documentos técnicos, o que demonstra a complexidade e o rigor aplicado.

Posteriormente, deu-se início à fase de implantação, que contemplou cerca de 138 km de linha tronco sinalizada, além da implementação de redes de energia de alta tensão e da integração de infraestrutura de telecomunicações por fibra óptica, assegurando robustez tecnológica e confiabilidade operacional.

O desenvolvimento do projeto foi conduzido sob metodologia preditiva, garantindo que cada etapa fosse devidamente validada antes do avanço para a seguinte. Essa estrutura metodológica visou minimizar riscos e incertezas,

assegurando a qualidade técnica dos entregáveis e a confiabilidade necessária para um empreendimento de grande porte.

O projeto desenvolvido teve início em razão do compromisso firmado entre a concessionária da empresa ferroviária e a Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), visando a implantação do sistema de sinalização ferroviária em um trecho de 138 quilômetros de linha que até então não contava com este recurso. O escopo definido consistia na implementação do sistema CTC – Central Train Control, baseado na tecnologia microprocessada Electrologixs, proporcionando maior confiabilidade, segurança e eficiência operacional no controle da circulação dos trens.

O desenvolvimento do projeto foi estruturado em fases distintas, a fim de garantir a execução ordenada das atividades e a entrega dos produtos técnicos necessários à implantação. As etapas compreenderam: Projeto Conceitual, Projeto Básico e Projeto Executivo, todas com entregáveis bem definidos e devidamente validados.

3.1 Projeto Conceitual

O Projeto Conceitual constituiu-se como a primeira etapa da metodologia aplicada, sendo responsável por fornecer a visão inicial e abrangente do empreendimento. De forma geral, um projeto conceitual é aquele que define os critérios fundamentais de implantação, estabelecendo diretrizes técnicas e administrativas que nortearão as fases subsequentes. Nesta etapa, são identificados os objetivos, requisitos funcionais, premissas e restrições, além de se propor soluções técnicas preliminares.

Nesse contexto, foi elaborado o Plano de Vias Sinalizado (PVS) preliminar, documento de caráter orientador que apresentou a configuração ideal do sistema, bem como a alocação dos principais ativos de campo. O PVS foi desenvolvido a partir do projeto geométrico georreferenciado da ferrovia, assegurando a correta representação espacial dos elementos.

Complementarmente, foram preparados o Termo de Abertura do Projeto e um Memorial Descritivo Preliminar, abrangendo as disciplinas de sinalização, telecomunicações e energia. Tais documentos possibilitaram a padronização das premissas técnicas e funcionais, assegurando que todos os envolvidos no processo compartilhassem da mesma visão quanto ao escopo e aos objetivos estabelecidos.

3.2 Projeto Básico

A fase de Projeto Básico concentrou-se na coleta de informações de campo, fundamentais para a materialização das soluções propostas no PVS. Para tanto, foram realizados levantamentos site survey em todo o trecho compreendido entre os pátios ferroviários, com início em Pindamonhangaba.

O levantamento teve por finalidade identificar interferências potenciais, determinar os locais adequados de instalação dos ativos (máquinas de chave, sinais, Juntas Isoladas Coladas – JICs, abrigos de sinalização), além de observar necessidades de adequações no ambiente, como podas de vegetação que pudessem comprometer a implantação. Também foram definidos, de acordo com o sentido crescente da quilometragem, os lados adequados (direito ou esquerdo) para instalação dos equipamentos, com destaque para as máquinas de chave e os abrigos metálicos. Estes abrigos, em formato de contêineres, foram projetados para abrigar os equipamentos microprocessados responsáveis pelo funcionamento do sistema.

A metodologia de levantamento utilizou instrumentos simples e de alta confiabilidade, como a trena com roda analógica, sendo todo o processo fundamentado no PVS previamente elaborado. O trecho englobou 15 pátios ferroviários, cujo mapeamento detalhado foi consolidado em relatórios técnicos e atualizações do próprio PVS.

Foi igualmente identificada a necessidade de remoção de ativos existentes, que deveriam ser desinstalados para viabilizar a implantação do novo sistema. Como entregáveis principais desta etapa, destacam-se:

- Critérios definitivos de projeto;
- Versão consolidada do PVS;
- Documento de Aspecto da Sinalização, documento que define os códigos que serão tratados nas lógicas microprocessadas que definem o licenciamento da circulação ferroviária (verde: prosseguir em velocidade máxima autorizada; amarelo: prosseguir com velocidade restrita, preparado para parar no próximo sinal; vermelho: parada obrigatória);
- Especificações técnicas de materiais e serviços, contemplando requisitos de qualidade e capacidade da empresa executora.

O Documento de Aspecto mereceu especial atenção, uma vez que sua correta definição foi determinante para garantir fluidez à circulação ferroviária, otimizando o tempo de percurso sem comprometer a segurança.

3.3 Projeto Executivo

Na última fase, correspondente ao Projeto Executivo, foram detalhados todos os elementos necessários à execução da obra. Esta etapa forneceu informações precisas e completas para a implantação, de modo a minimizar incertezas durante a execução.

Os principais entregáveis desta fase foram:

- Memorial Descritivo Definitivo;
- Listas de Materiais, descrevendo tanto os equipamentos a serem retirados quanto os novos a serem implantados;
- Lista de Serviços por disciplina, contemplando sinalização, energia e telecomunicações;
- Coleção de Plantas Técnicas referentes a cada abrigo (ao todo, 69 abrigos, cada um com cerca de 30 pranchas técnicas), cerca de aproximadamente 2070 plantas elaboradas;
- Orçamento Final;
- Cronograma Definitivo de Obra.

Após a validação de toda a documentação, o Projeto Executivo foi dado como concluído, possibilitando o início da fase de implantação, a qual demandou aproximadamente um ano e dois meses de execução.

Resultados da Implantação

A obra resultou na implantação de 138 km de linha tronco sinalizada, além de obras complementares e estruturais que viabilizaram o funcionamento do sistema. Foram executados:

A metodologia aplicada mostrou-se eficaz ao estruturar o projeto em fases progressivas e complementares, assegurando que cada etapa fosse embasada em informações consistentes e em produtos técnicos robustos. O detalhamento minucioso dos levantamentos, documentos e entregáveis garantiu a confiabilidade necessária para um empreendimento desta magnitude, viabilizando a implantação de um sistema de sinalização ferroviária microprocessada moderno e seguro.

4. Resultados Obtidos

4.1 Situação do corredor Vale do Paraíba sem a sinalização

A análise do trecho em estudo evidencia que, apesar de sua relevância histórica e econômica para o desenvolvimento do Vale do Paraíba, a infraestrutura ferroviária permaneceu por décadas sem um sistema de sinalização moderno. Essa ausência representava riscos operacionais significativos, tanto para o transporte de cargas quanto para o de passageiros, além de limitar a eficiência da circulação dos trens. Nesse contexto, a implantação do projeto de sinalização representou um marco de modernização e segurança.

HISTORICO DA LINHA: Em 1869, foi constituída por fazendeiros do Vale do Paraíba a E. F. do Norte (ou E. F. São Paulo-Rio), que abriu o primeiro trecho, saindo da linha da SPR no Brás, em São Paulo, e chegando até a Penha. Em 12/05/1877, chegou a Cachoeira (Paulista), onde, com bitola métrica, encontrou-se com a E. F. Dom Pedro II, que vinha do Rio de Janeiro e pertencia ao Governo Imperial, constituída em 1855 e com o ramal, que saía do tronco em Barra do Pirai, Província do Rio, atingindo Cachoeira no terminal navegável dois anos antes e com bitola larga (1,60m). A inauguração oficial do encontro entre as duas ferrovias se deu em 8/7/1877, com festas. As cidades da linha se desenvolveram, e as que eram prósperas e ficaram fora dela viraram as "Cidades Mortas"... O custo da baldeação em Cachoeira era alto, onerando os fretes e foi uma das causas da decadência da produção de café no Vale do Paraíba. Em 1889, com a queda do Império, a E. F. D. Pedro II passou a se chamar E. F. Central do Brasil, que, em 1896, incorporou a já falida E. F. do Norte, com o propósito de alargar a bitola e unificar as 2 linhas. O primeiro trecho ficou pronto em 1901 (Cachoeira-Taubaté) e o trecho todo em 1908. Em 1957 a Central foi incorporada pela RFFSA. O trecho entre Mogi e São José dos Campos foi abandonado no fim dos anos 1980, pois a construção da variante do Parateí, mais ao norte, foi aos poucos provando ser mais eficiente. Em 31 de outubro de 1998, o transporte de passageiros entre o Rio e São Paulo foi desativado, com o fim do Trem de Prata, mesmo ano em que a MRS Logística passou a ser a concessionária da linha. Ralph M. Giesbrecht, pesquisa local, O Estado de S. Paulo, 1939

Somente com a construção da linha não era garantido a segurança ferroviária, nem para passageiros quanto menos para cargas, como vemos abaixo em um trecho do jornal O estado de S. Paulo sobre um descarrilamento ocorrido no ramal de são

Paulo próximo a quilometragem 160 da ferrovia. Na figura 10 é possível ver através de um recorte de uma matéria do jornal O Estado de São Paulo um acidente de descarrilamento, com o principal motivo a falta de sinalização deste trecho.

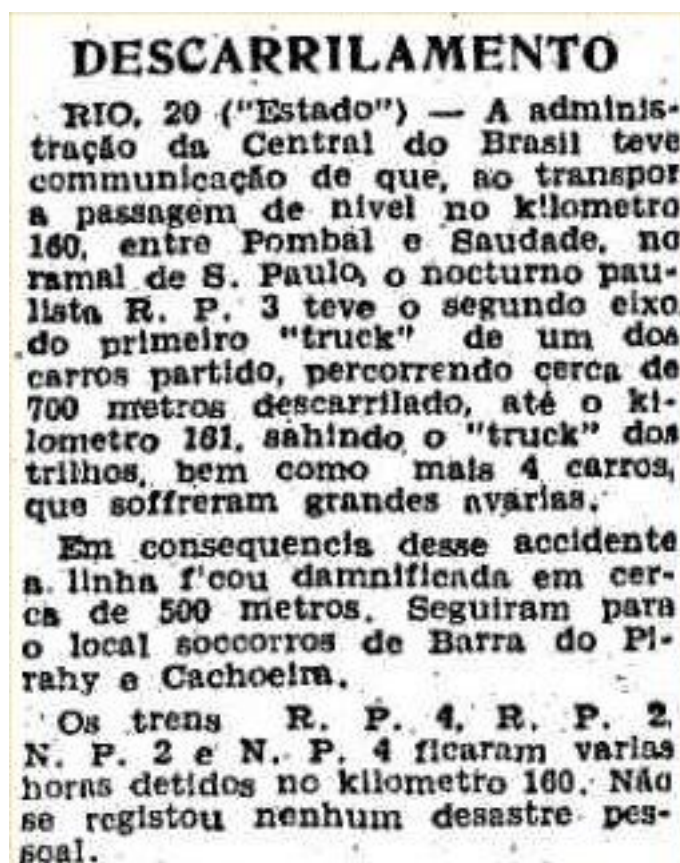


Figura 10 - Acidente em passagem de nível próxima a Pombal (O Estado de S. Paulo, 21/02/1939).

A implementação de um sistema de sinalização férrea eficiente e confiável era imprescindível. A modernização do transporte ferroviário no Brasil demanda, como elemento essencial, a implementação de sistemas de sinalização férrea eficientes. A sinalização é responsável por garantir segurança operacional, regular intervalos de circulação e reduzir a possibilidade de colisões e descarrilamentos. Segundo Ferreira (s.d.), "a sinalização ferroviária é fundamental por conferir segurança, confiabilidade e rapidez ao transporte", reforçando seu papel central para a operação adequada da malha ferroviária nacional.

No contexto brasileiro, um dos pontos mais críticos encontra-se nas passagens em nível, onde a interação entre trens e veículos rodoviários gera elevado risco de acidentes. Lopes et al. (2015) avaliaram passagens em nível na região de Joinville/SC e verificaram que muitas ainda possuem apenas sinalização rodoviária, sem dispositivos de proteção ferroviária, o que é insuficiente para garantir segurança. Essa

constatação confirma a necessidade de investimentos consistentes em sistemas de alerta, barreiras e sinalização avançada.

As normas técnicas brasileiras, como a ABNT NBR 7613 e a ABNT NBR 15942, estabelecem parâmetros para a sinalização e proteção de passagens em nível. Conforme Carvalho Viegas (2023), essas normas são essenciais para a padronização das intervenções, promovendo maior segurança e uniformidade em todo o território nacional. A Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT, 2022) reforça esse aspecto em seu Manual de Fiscalização do Transporte Ferroviário, apontando que o cumprimento das normas é indispensável para a redução de riscos e para a eficiência operacional.

Do ponto de vista da gestão de riscos, Peron et al. (2023) demonstraram que a aplicação de metodologias de análise em passagens em nível resultou em redução de aproximadamente 72% nas ocorrências entre 2014 e 2019, comprovando a eficácia da sinalização quando associada a políticas de manutenção e monitoramento contínuo. Esse dado evidencia a relação direta entre investimento em sinalização e queda significativa nos índices de acidentes.

Além da segurança, a sinalização férrea impacta na eficiência da rede. Segundo Wosniacki (2014), metodologias de priorização de investimentos em passagens em nível permitem definir pontos críticos onde a instalação de sinalização pode trazer maior retorno em termos de redução de riscos e aumento da capacidade operacional. Isso demonstra que, além de salvar vidas, a sinalização é também um vetor de produtividade logística.

Outro ponto relevante é a integração multimodal. De acordo com a ANTT (2022), a sinalização e o controle ferroviário são fundamentais para permitir a convivência harmônica entre diferentes modais de transporte, facilitando a circulação de mercadorias e passageiros. Isso está alinhado às estratégias de logística integrada e à necessidade de reduzir custos de transporte no Brasil.

4.2 Ganhos e Benefícios da sinalização no trecho não sinalizado

A implantação da sinalização microprocessada no trecho entre Pindamonhangaba e Manoel Feio, no estado de São Paulo, representou um marco significativo para a operação ferroviária da região. Este segmento, até então não sinalizado, operava sob condições limitadas de segurança e eficiência, características que restringiam a plena utilização da capacidade da malha. A ausência de sistemas

de controle automático implicava na circulação de trens em velocidade reduzida, com média aproximada de 30 km/h além de expor a ferrovia a riscos elevados de acidentes, como abalroamentos e descarrilamentos, em função da baixa previsibilidade e da dependência de procedimentos operacionais manuais.

Com a implementação do sistema de sinalização microprocessada Electrologixs, no âmbito do projeto CTC Vale do Paraíba, foi possível estabelecer um controle centralizado, garantindo a supervisão em tempo real do posicionamento dos trens, a gestão automática das rotas e o acionamento dos dispositivos de campo. Essa modernização trouxe como consequência direta a elevação da velocidade média de circulação para aproximadamente 50 km/h, representando um ganho operacional expressivo e contribuindo para a redução dos tempos de percurso.

O impacto positivo da sinalização pode ser visualizado por meio do Gráfico Horário de Trens (GHT) conforme a figura 11 e 12, ferramenta utilizada para a análise da circulação ferroviária. O GHT consiste em um gráfico cartesiano, no qual o eixo vertical (Y) representa os pátios de cruzamento da ferrovia e o eixo horizontal (X) indica o horário de circulação ao longo do dia. Cada linha traçada corresponde ao deslocamento de um trem, permitindo identificar não apenas a quantidade de circulações, mas também a fluidez e a regularidade das operações.

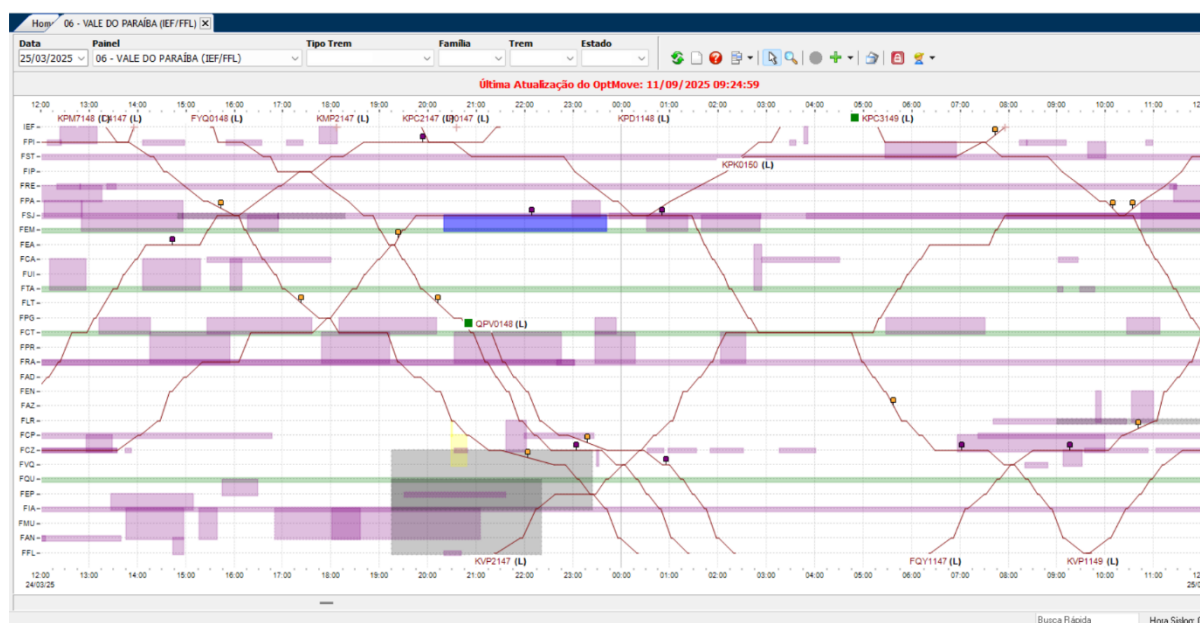


Figura 11 - Gráfico GHT de FPG até IEF, com 50% do projeto implementado - 25/03/2025

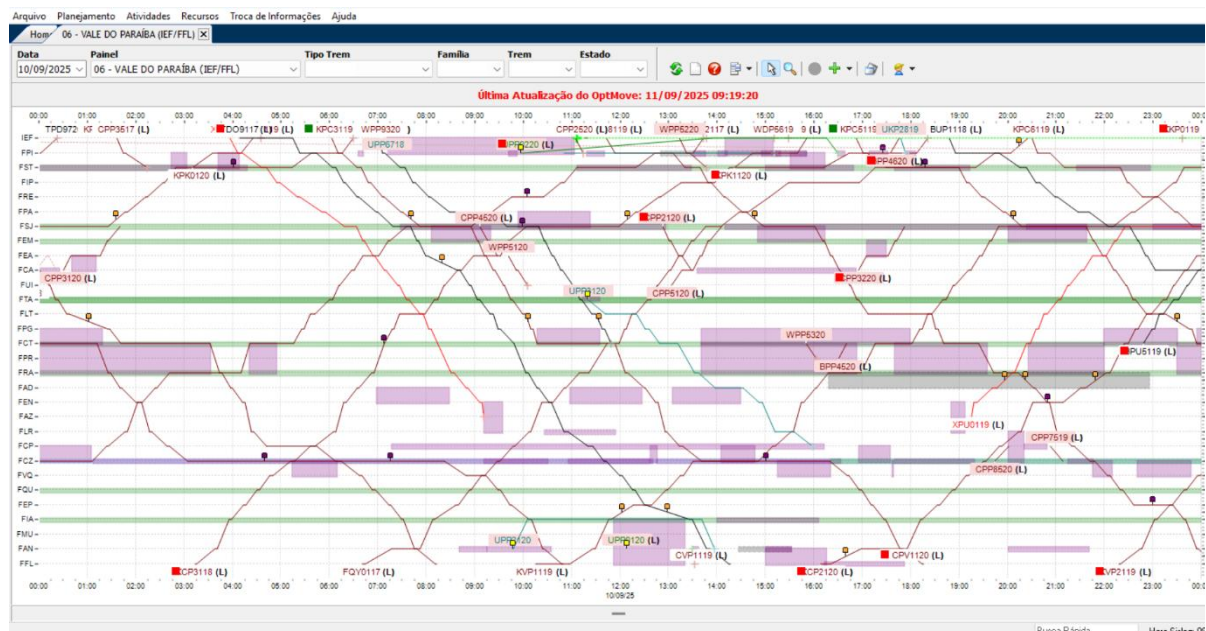


Figura 12 - Gráfico GHT de FPG até IEF, com 100% do projeto implementado - 10/09/2025

Na comparação entre os dois registros apresentados, o primeiro datado de 23/03/2025, quando cerca de 50% da sinalização já havia sido implantada, e o segundo de 10/09/2025, com 100% do projeto concluído, observa-se um aumento significativo no número de trens circulantes. Enquanto o primeiro gráfico apresenta uma malha ainda limitada, com menor densidade de linhas, o segundo revela maior complexidade operacional, reflexo da capacidade ampliada após a plena implementação da sinalização. Ressalta-se, entretanto, que não foi possível obter registros do período em que o trecho ainda não contava com qualquer sinalização, uma vez que o sistema de coleta do GHT disponibilizava apenas os últimos 180 dias de operação.

Dessa forma, a primeira data disponível já correspondia a um estágio intermediário, com aproximadamente metade do projeto implementado. Ainda assim, a comparação evidencia de forma clara a evolução da ferrovia, permitindo o tráfego simultâneo e seguro de mais composições, algo impraticável em um cenário não sinalizado.

Entre os principais benefícios alcançados destacam-se:

- Aumento da capacidade de tráfego: a sinalização possibilitou maior número de trens circulando no mesmo intervalo de tempo, otimizando a utilização da malha ferroviária.

- Elevação da velocidade operacional: o salto de uma média de 30 km/h para 50 km/h reduziu significativamente o tempo de transporte, ampliando a produtividade e a competitividade do modal ferroviário, aumento de 67%.
- Previsibilidade e confiabilidade: com a supervisão contínua e o controle centralizado, tornou-se possível prever com maior precisão os horários de chegada e saída das composições, garantindo maior confiabilidade no cumprimento dos contratos de transporte de carga.
- Segurança operacional: a eliminação de procedimentos exclusivamente manuais reduziu drasticamente a possibilidade de falhas humanas, prevenindo ocorrências como abalroamentos, descarrilamentos e outros tipos de acidentes antes frequentes em trechos não sinalizados.
- Redução de custos indiretos: ao mitigar riscos e aumentar a eficiência operacional, a ferrovia diminuiu custos relacionados a atrasos, acidentes e manutenções emergenciais.

Assim, a implementação da sinalização microprocessada no trecho do Vale do Paraíba não apenas modernizou a infraestrutura ferroviária, como também proporcionou ganhos expressivos em termos de segurança, eficiência, confiabilidade e capacidade de produção. Esse avanço representa um marco para o setor ferroviário nacional, consolidando a importância da tecnologia microprocessada como instrumento essencial para o desenvolvimento logístico e a competitividade do transporte ferroviário no Brasil.

5. Considerações Finais

O presente Trabalho de Conclusão de Curso teve como objetivo analisar a evolução da sinalização ferroviária no Brasil, destacando o avanço dos sistemas desde o método Staff, passando pelo intertravamento a relé, até chegar à sinalização microprocessada representada pelo Electrologixs. Por meio do estudo de caso aplicado ao trecho do Vale do Paraíba, compreendido entre Pindamonhangaba e Manoel Feio, foi possível demonstrar, na prática, os benefícios da modernização tecnológica para a operação ferroviária.

Os resultados obtidos com a implantação da sinalização microprocessada mostraram-se expressivos, evidenciando ganhos em capacidade de tráfego, velocidade operacional e segurança, além de maior confiabilidade e previsibilidade.

Além disso, a utilização do Gráfico Horário de Trens (GHT) comprovou a ampliação do número de circulações possíveis após a conclusão do projeto, confirmando que a modernização proporcionou maior produtividade e competitividade ao modal ferroviário.

Para além dos aspectos técnicos, este trabalho representou também um importante processo de aprendizado pessoal e profissional para o autor. O envolvimento direto no projeto permitiu vivenciar desde a fase conceitual até a implantação prática do sistema, consolidando conhecimentos em engenharia ferroviária, gestão de projetos e aplicação de tecnologias de automação. Tal experiência contribuiu de forma significativa para o amadurecimento acadêmico e profissional, fortalecendo a compreensão sobre a relevância da sinalização para a segurança e eficiência da malha ferroviária nacional.

Assim, conclui-se que a evolução da sinalização ferroviária é fundamental não apenas para atender às crescentes demandas logísticas, mas também para promover maior confiabilidade e sustentabilidade ao transporte sobre trilhos no Brasil. A experiência relatada demonstra que os investimentos em sistemas modernos de sinalização são determinantes para o futuro do setor, consolidando o papel da ferrovia como um eixo estratégico de desenvolvimento econômico e tecnológico.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES – ANTT. Manual de fiscalização do transporte ferroviário. 4. ed. Brasília, DF: ANTT, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/antt/pt-br/assuntos/ferrovias/manuais-das-ferrovias/arquivos/manual-de-fiscalizacao-do-transporte-ferroviario-4a-edicao.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS – ANTF. Portal institucional. Disponível em: <http://www.antf.org.br>. Acesso em: 5 maio 2025.

BERMAN, Ricardo. Barão de Mauá: o empresário do Império. São Paulo: Objetiva, 2011.

BRANDI, Rubens. Elementos de sinalização ferroviária: apostila de curso. Juiz de Fora: MRS Logística, 2015.

BRASIL. Lei nº 14.273, de 23 de dezembro de 2021. Dispõe sobre a autorização para a construção e exploração de ferrovias. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 5 maio 2025.

CARVALHO VIEGAS, R. R. Como a sinalização ferroviária contribui para evitar intercorrências nas passagens de nível. Laboro, 5 jan. 2023. Disponível em: <https://laboro.edu.br/blog/como-a-sinalizacao-ferroviaria-contribui-para-evitar-intercorrencia-nas-passagens-de-nivel/>. Acesso em: 1 set. 2025.

COSTA, R. H.; MOURA, L. B. Manutenção de sistemas de sinalização a relé: práticas e perspectivas. Revista Engenharia Ferroviária, v. 9, n. 1, 2021.

DEAN, Warren. A industrialização de São Paulo (1880-1945). São Paulo: Difel, 1971.

ESTAÇÃO DE MEMÓRIAS. Meios de comunicação da ferrovia. Disponível em: <https://estacaodememorias.org.br/araguari/meios-de-comunicacao-da-ferrovia/>. Acesso em: 12 jun. 2025.

FAUSTO, Boris. História do Brasil. São Paulo: EdUSP, 2006.

FERNANDES, C. S. Sistemas de sinalização ferroviária: fundamentos e aplicações. São Paulo: Instituto de Engenharia, 2010.

FERREIRA, G. L. Sinalização e controle: importância da sinalização ferroviária para segurança e confiabilidade no transporte. [Monografia] – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, s.d. Disponível em: <https://bib.pucminas.br/pergamumweb/vinculos/00002d/00002dac.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

GLEN, A. Relay interlocking systems in British railways. London: RailTech Publishing, 2007.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA – IPEA. Impactos econômicos da infraestrutura ferroviária no Brasil. Brasília, DF: IPEA, 2022. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br>. Acesso em: 5 maio 2025.

LOPES, R. B.; PINHEIRO, C. C.; HAWEROTH, F.; ZAGHENI, E. S. S. Avaliação da sinalização de passagens em nível da região de Joinville/SC. In: PLURIS – Mobilidade e Transportes, 2015. Disponível em: <https://fau.ufal.br/evento/pluris2016/files/Tema%203%20-%20Mobilidade%20e%20Transportes/Paper1431.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

MEIRELLES, Domingos João. História das ferrovias brasileiras. Rio de Janeiro: Record, 2001.

MIGUEL SALLES. Máquina de staff ferroviária. Disponível em: <https://www.miguelsalles.com.br/peca/35506/maquina-de-staff-ferroviaria>. Acesso em: jun. 2025.

NAKAMURA, H. Development of railway interlocking systems in Japan. Tokyo: Japan Railway Technical Research Institute, 2003.

PERON, P. P. F. et al. Métodos de análise dos riscos de acidentes em passagens em nível aplicados à malha ferroviária. Transporte y Territorio, n. 28, p. 122-141,

jan./jun. 2023. Disponível em:
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9507566.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

PLANETA FERROVIA. Quem sabe o que é STAFF? Disponível em:
<https://planetaferrovia.blogspot.com/2013/10/quem-sabe-o-que-e-staff.html>. Acesso em: 12 jun. 2025.

RAY, K. Railway signalling and control systems. New Delhi: Khanna Publishers, 2014.

REVISTA IBERO-AMERICANA DE HUMANIDADES, CIÊNCIAS E EDUCAÇÃO. São Paulo, v. 9, n. 8, ago. 2023.

SANTOS, Sílvio dos. A sinalização ferroviária. Portogente. Disponível em:
<https://portogente.com.br/colunistas/silvio-dos-santos/16187-a-sinalizacao-ferroviaria>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SANTOS, Sílvio dos. Os sinais das ferrovias (3). Portogente. Disponível em:
<https://portogente.com.br/colunistas/silvio-dos-santos/16033-os-sinais-das-ferrovias-3>. Acesso em: 10 jun. 2025.

SILVA, Hélio. As ferrovias e o desenvolvimento nacional. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2010.

SILVA, D. A.; VASCONCELOS, M. T. Tecnologias de sinalização ferroviária: confiabilidade e desafios. Revista InfraTrans, v. 6, n. 2, 2018.

TRANSPORTE FERROVIÁRIO: história e técnicas. Gestão de Projetos, 2022. Disponível em: <https://www.passeidireto.com/arquivo/148054322/transporte-ferroviario-historia-e-tecnicas-2022>. Acesso em: 14 jun. 2025.

VALERIANO, F. A.; LIMA, L. R. R. A Ferrovia Norte-Sul como fator de desenvolvimento regional: uma avaliação de impactos econômicos locais. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPEC, 51., 2023, Belo Horizonte. Anais [...]. Belo Horizonte: ANPEC, 2023. Disponível em:
https://www.anpec.org.br/encontro/2023/submissao/files_l/i12-4d9c2722316c2f909f2a85c44cf21ecb.pdf. Acesso em: 5 maio 2025.

WABTEC CORPORATION. Electrologixs – modular interlocking platform. Disponível em: <https://www.wabteccorp.com>. Acesso em: 18 jun. 2025.

WOSNIACKI, G. G. Metodologia para priorização de atuação em passagens em nível na malha ferroviária. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em:
https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17719/2/CT_CEEEST_XXVI_2014_15.pdf. Acesso em: 1 set. 2025.

ADAPTA BRASIL. Ferrovia. Disponível em:
<https://adaptabrasil.mcti.gov.br/detalhesferrovias>. Acesso em: 5 maio 2025.

SANTOS, Sílvio dos. Transporte ferroviário: história e técnicas. 2. ed. Florianópolis: edição do Autor, 2022. Acesso em: 10 jun. 2025.

MUSEU FERROVIÁRIO DE ARAGUARI. Estação de Memórias.
Disponível em: <http://estacaodememorias.com.br/>.
Acesso em: 29 set. 2025.