

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**INOVAÇÕES EM MATERIAIS E MÉTODOS PARA PAVIMENTO FERROVIÁRIO
E ESTRADAS VICINAIS**

**OPERAÇÃO E INFRAESTRUTURA FERROVIÁRIA SUSTENTÁVEIS, COM FOCO
PRINCIPAL NA DESCARBONIZAÇÃO DA MATRIZ ENERGÉTICA, NAS
SOLUÇÕES BIODEGRADÁVEIS E DE MATERIAIS RECICLADOS, ASSIM COMO
NA RESILIÊNCIA DA INFRAESTRUTURA**

VALE S/A – ESTRADA DE FERRO VITÓRIA A MINAS

30/05/2024

SUMÁRIO

1.	DESCRIÇÃO DO PROJETO.....	2
1.1.	Título do Projeto.....	2
1.1.1.	Linha de inovação e desenvolvimento	2
1.1.2.	Temas	2
1.2.	Objetivos.....	2
1.2.1.	Objetivo Geral:	2
1.2.2.	Objetivos Específicos:	2
2.	JUSTIFICATIVA:.....	3
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO:.....	6
3.1.	Métodos e técnicas utilizadas	6
3.2.	Etapas	8
4.	PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL	17
5.	LOCAL DE EXECUÇÃO.....	18
6.	ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA	18
6.1.	Identificação de entidade:.....	18
6.2.	Identificação da equipe executora:	20
7.	PRODUTOS	21
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS	21
9.	ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO.....	22

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Inovações em Materiais e Métodos para Pavimento Ferroviário e Estradas Vicinais

1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

O projeto enquadra-se nas diretrizes previstas nos incisos I (“modernização da infraestrutura integrante do Subsistema Ferroviário Federal”) e V (“melhoria da infraestrutura laboratorial das instituições de ensino técnico e superior, com foco ferroviário, cujo laboratório esteja vinculado a projetos de pesquisa em ferrovias”) do Art. 3º da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023.

Quanto aos objetivos previstos pelo projeto, de acordo com o Art. 4º da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, busca-se o “alinhamento com tecnologia básica e aplicada” (inciso II), “soluções técnicas para problemas específicos” (inciso III) e “estruturação de centros de pesquisas tecnológicos na área ferroviária” (inciso VII).

1.1.2. Temas

Mecânica dos pavimentos ferroviários; ferramentas computacionais; materiais reciclados e escórias.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral:

Desenvolver melhorias em ferramentas computacionais, estudos de pesquisa avançada relacionados a mecânica dos pavimentos ferroviários e ao comportamento hidráulico das camadas do pavimento empregando materiais reciclados e soluções para as estradas vicinais de acesso à ferrovia. Vislumbra-se o aumento da vida útil do pavimento, a economicidade de futuros projetos ferroviários e a melhoria dos indicadores de ciclo de vida da estrutura.

1.2.2. Objetivos Específicos:

- a) Implementar módulos no aplicativo de análise de tensões e deformações de pavimentos ferroviários “SysTrain” (módulo geocélula, módulo geogrelha e módulo *under sleeper pads*), para refinar a simulação das tensões e deformações do pavimento;
- b) Realizar simulações numéricas por meio de ferramentas computacionais para aumento de carga por eixo e de espaçamento entre dormentes, visando a economicidade dos futuros projetos ferroviários; e

c) Realizar estudos para emprego de equipamento reciclador e de materiais reciclados e escórias à luz da mecânica dos pavimentos e ensaios em escala real, com o intuito de melhorar os indicadores de ciclo de vida do pavimento e de desenvolver soluções racionais para a concepção das estradas vicinais de acesso à ferrovia.

2. JUSTIFICATIVA:

A eficiência e durabilidade das infraestruturas de transporte são fundamentais para o desenvolvimento econômico e social, pois facilitam o deslocamento de pessoas e o transporte de mercadorias. No entanto, o Brasil enfrenta desafios significativos na manutenção e expansão de redes de transporte em áreas de difícil acesso e alta demanda estrutural. Nesse contexto, o estudo de inovações em materiais e métodos para pavimento ferroviário e estradas vicinais, especialmente com o uso de materiais reciclados, torna-se essencial para garantir a viabilidade e a sustentabilidade dessas infraestruturas.

O objetivo geral deste projeto, que visa desenvolver melhorias em ferramentas computacionais e avançar em estudos da mecânica dos pavimentos ferroviários e do comportamento hidráulico de suas camadas, busca responder diretamente a essas necessidades. Ao implementar módulos adicionais no aplicativo “SysTrain” para análise de tensões e deformações, o projeto visa tornar as ferramentas de análise estrutural de pavimentos ferroviários mais robustas e adaptadas às realidades do transporte *heavy haul* e ao uso de novas tecnologias, como geocélulas, geogrelhas e *under sleeper pads*.

Além disso, a realização de simulações numéricas para otimizar a carga por eixo e o espaçamento entre dormentes permitirá uma análise aprofundada da resposta estrutural dos pavimentos a diferentes condições de carga e distribuição, aprimorando a durabilidade e o desempenho das vias. Esse esforço é ampliado pelo objetivo específico de realizar estudos práticos que integrem o uso de materiais reciclados e escórias, em alinhamento com os princípios de sustentabilidade, promovendo soluções ambientalmente responsáveis para a infraestrutura ferroviária e de estradas vicinais.

Esse projeto de PD&I atende às diretrizes de modernização da infraestrutura integrante do Subsistema Ferroviário Federal e de melhoria da infraestrutura laboratorial das instituições de ensino técnico e superior, com foco ferroviário, assim como objetiva promover a inovação de alinhar tecnologia básica com a aplicada por meio de simulações computacionais, ensaios de laboratório e ensaios em escala real, dar uma solução técnica para a utilização de escórias e materiais reciclados e estruturar o Laboratório General Antônio Real Martins (LARM) de Infraestruturas de Transportes – Modal Ferroviário.

Especificamente neste projeto, houve a preocupação em fortalecer a infraestrutura laboratorial e ampliar a maturidade tecnológica do Laboratório General Antônio Real Martins (LARM). Para isso, está prevista a instalação de pórticos para a realização de ensaios em escala real dentro de um segmento ferroviário construído em laboratório, permitindo a validação experimental de soluções inovadoras para pavimentação ferroviária. Com essa modernização, as pesquisas em infraestrutura ferroviária evoluirão da maturidade básica (ensaios em pequena escala) para uma maturidade intermediária, possibilitando a realização de testes em ambiente relevante e com condições próximas à realidade operacional. Essa abordagem não apenas qualifica os estudos desenvolvidos, mas também contribui para a geração de conhecimento técnico mais aplicável às demandas do setor ferroviário. Dessa forma, as melhorias previstas no escopo do projeto atendem diretamente aos incisos II e VII do Art. 4º da Resolução nº 6.021/2023, promovendo tanto a integração entre tecnologia básica e aplicada quanto a estruturação de centros de pesquisa tecnológicos especializados na área ferroviária.

Ademais, o projeto atende ao tema prioritário “Operação e Infraestrutura ferroviária sustentáveis, com foco principal na descarbonização da matriz energética, nas soluções biodegradáveis e de materiais reciclados, assim como na resiliência da infraestrutura”, definido no Anexo I da Deliberação ANTT nº 169, de 27 de junho de 2024, respeita o prazo máximo de vigência, eis que será executado em 48 meses, por meio das atividades descritas no cronograma físico-financeiro anexo, e, ao final, espera-se ter alcançado soluções para a utilização de materiais reciclados e escórias no pavimento, gerados módulos complementares para simulação em ambiente computacional e adquiridos equipamentos de laboratório que permitam ampliar a escala de maturidade tecnológica das pesquisas em pavimentos ferroviários.

Este projeto, portanto, se justifica pela necessidade urgente de modernizar as metodologias de pavimentação ferroviária, integrar práticas sustentáveis e ampliar o uso de materiais reciclados. As soluções propostas não apenas visam aumentar a eficiência estrutural e a vida útil dos pavimentos, mas também reduzir custos operacionais e o impacto ambiental associado à construção e manutenção dessas vias. Dessa forma, o projeto contribui significativamente para o desenvolvimento de uma infraestrutura de transporte mais resiliente e sustentável.

Este projeto foi elaborado em conformidade com o inciso I do artigo 8º da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, e não se destina ao cumprimento das obrigações contratuais regulares da concessionária. Seu principal propósito é promover o desenvolvimento e a implementação de projetos e programas voltados à capacitação, com o objetivo de atender às demandas do setor ferroviário e oferecer suporte técnico, científico e intelectual que fortaleça a posição estratégica e competitiva do setor ferroviário.

Além disso, busca agregar valor à comunidade e à gestão pública associada ao setor, por meio de iniciativas de capacitação e desenvolvimento educacional, priorizando a atualização e a sustentabilidade das ferrovias com o apoio de recursos humanos especializados. Assim, o projeto se propõe a contribuir de forma efetiva para o progresso e a evolução contínua do sistema ferroviário, alinhando-se aos interesses do setor e da sociedade como um todo.

Para a publicidade dessas inovações esperadas e para a troca de conhecimentos específicos no contexto desse projeto, é mister a participação dos membros da equipe em eventos especializados na área, como congresso, simpósios, feiras e outros, além de realizar visitas técnicas a centros de referência. Espera-se também contribuir para a ciência no tema da infraestrutura de transportes, por meio de artigos científicos publicados em revistas indexadas e reconhecidas pelo alto impacto científico.

Estão previstas participações em eventos/visitas neste projeto, com despesas para passagem aérea, inscrição e diárias para cada participação. Sendo:

- *Transportation Research Board (TRB) Annual Meeting (2026, 2027, 2028 e 2029)*

O TRB Annual Meeting é um dos principais eventos globais dedicados ao setor de transportes, reunindo especialistas, pesquisadores, gestores públicos e representantes da indústria para discutir as mais recentes inovações e desafios do setor. O evento ocorre anualmente em Washington, D.C., Estados Unidos, e abrange uma ampla variedade de temas, incluindo infraestrutura ferroviária, materiais sustentáveis e novas tecnologias para pavimentação e mobilidade. A participação neste evento permitirá à equipe do projeto divulgar os avanços obtidos, interagir com a comunidade científica internacional e absorver as melhores práticas adotadas globalmente. Além disso, possibilitará a apresentação de artigos científicos que reforcem a contribuição do projeto para a modernização da infraestrutura ferroviária e a sustentabilidade no setor de transportes.

- *Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)*

A Reunião Anual de Pavimentação (RAPv) é um evento técnico-científico de grande relevância para o setor de infraestrutura viária e ferroviária no Brasil. O encontro reúne pesquisadores, profissionais da indústria e gestores públicos para discutir inovações em materiais, técnicas de construção, manutenção e sustentabilidade de pavimentos. O evento também promove a troca de experiências entre especialistas, contribuindo para a modernização das práticas e normativas do setor. A edição de 2025 será realizada em Belo Horizonte, MG, enquanto as sedes das edições de 2026, 2027 e 2028 ainda serão definidas. Para a composição dos custos de participação (passagens e diárias), foi adotada como referência a cidade de Aracaju, SE, sede da edição de 2024, garantindo previsibilidade orçamentária. A participação no evento proporcionará à equipe do projeto um espaço para divulgar resultados de pesquisas e interagir com a comunidade acadêmica e profissional do setor de pavimentação. Além disso,

permitirá o acompanhamento de novas tecnologias e metodologias que possam ser aplicadas ao projeto, reforçando sua aderência às melhores práticas da engenharia de transportes.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO:

3.1. Métodos e técnicas utilizadas

O desenvolvimento do projeto envolverá um conjunto de técnicas computacionais, ensaios laboratoriais e testes em escala real para aprimorar a infraestrutura ferroviária e promover soluções inovadoras e sustentáveis para pavimentação. A abordagem adotada será baseada em três eixos principais:

- **Aprimoramento de ferramentas computacionais de simulação numérica**

O projeto irá desenvolver e aprimorar módulos no software SysTrain, aplicando o Método dos Elementos Finitos (MEF) para simular o comportamento estrutural de pavimentos ferroviários. Os seguintes módulos serão incorporados ao sistema:

- Módulo Geocélula: simulação do confinamento dos materiais em células para aumentar a rigidez da camada granular.
- Módulo Geogrelha: modelagem das interações solo-geossintético e da rigidez adicional promovida pela geogrelha.
- Módulo Under Sleeper Pads (USP): representação da dissipação de tensões promovida pelo uso de almofadas sob dormentes.

Essas ferramentas permitirão a realização de simulações numéricas de carregamento ferroviário, visando avaliar a distribuição de tensões, deformações e comportamento dinâmico dos pavimentos. O SysTrain será atualizado para incorporar modelos constitutivos aprimorados, considerando as características mecânicas dos novos materiais testados no projeto.

Como parâmetros técnicos, pode-se descrever: Modelagem de cargas dinâmicas baseadas em veículos ferroviários pesados; Representação numérica de diferentes camadas do pavimento ferroviário (lastro, sublastro e subleito); Consideração de efeitos de confinamento e reforço proporcionados por geocélulas e geogrelhas.

Está prevista a utilização de alguns recursos, como: Software SysTrain – desenvolvimento e aprimoramento de módulos computacionais; Servidores e estações de trabalho de alto desempenho para rodar simulações complexas; Bancos de dados geotécnicos e ferroviários para calibração dos modelos numéricos.

- **Elevação da maturidade tecnológica para ensaios em escala real**

O projeto inclui a execução de ensaios em ambiente relevante, permitindo que os resultados extrapolados das simulações computacionais sejam validados experimentalmente. A pesquisa será integrada às atividades do Laboratório General Antônio Real Martins (LARM), criado pelo IME em parceria com a FINEP, onde será construída uma infraestrutura de pavimento

ferroviário experimental. Neste ambiente, será instalado um sistema de atuadores de carga, capazes de aplicar tensões equivalentes às cargas reais dos veículos ferroviários utilizados pela concessionária. As camadas do pavimento serão instrumentadas com sensores e dispositivos de monitoramento, garantindo a aquisição contínua de dados estruturais e de desempenho.

Como parâmetros técnicos, pode-se descrever: Aplicação de cargas cíclicas simulando a passagem de composições ferroviárias pesadas; Medição de deformações, tensões internas e deslocamentos ao longo do tempo; Avaliação do desempenho mecânico de camadas reforçadas com geossintéticos.

Está prevista a utilização de alguns recursos, como: Atuadores de carga – sistema hidráulico para aplicação de tensões controladas; Sensores geotécnicos e acelerômetros – monitoramento de deformações e tensões internas; Instrumentação para aquisição de dados – aquisição contínua de sinais durante os ensaios.

- **Estudos de viabilidade e aplicação de materiais reciclados e escórias**

Para promover a sustentabilidade na infraestrutura ferroviária, o projeto desenvolverá metodologias para a utilização de materiais reciclados e escórias na pavimentação ferroviária e em estradas vicinais. A pesquisa será dividida em duas fases:

- Caracterização e análise laboratorial: Avaliação físico-química e mecânica dos materiais reciclados e escórias; Ensaio de módulo resiliente e deformação permanente para verificar a adequação estrutural dos materiais.
- Testes em ambiente relevante: Aplicação de materiais em trechos experimentais, submetidos a ciclos de carregamento ferroviário; Monitoramento do desempenho mecânico ao longo do tempo, considerando efeitos de compactação, fadiga e resistência.

Como parâmetros técnicos, pode-se descrever: Determinação da capacidade de suporte dos materiais reciclados; Avaliação do comportamento hidráulico e permeabilidade das camadas recicladas; Comparação com materiais convencionais, verificando a viabilidade técnica e econômica.

Está prevista a utilização de alguns recursos, como: Prensa triaxial de cargas repetidas – avaliação de módulos resilientes; Compactador mecânico – preparação de corpos de prova para ensaios laboratoriais; Equipamento Hyprop – determinação de curvas características de retenção de água; Estrutura de testes em escala real – validação experimental das soluções desenvolvidas; utilização de balanças e impressora 3D, para reprodução das características físicas dos elementos reciclados em laboratório.

Todos os métodos e técnicas empregados no projeto estarão contextualizados dentro de teses de doutorado, dissertações de mestrado e publicações científicas, garantindo a rigorosidade metodológica e o alinhamento com os padrões internacionais de pesquisa. Os resultados experimentais serão analisados em conjunto com os modelos numéricos, permitindo um ciclo contínuo de validação e aprimoramento das soluções desenvolvidas.

Dessa forma, o projeto adota uma abordagem multidisciplinar e inovadora, combinando simulações computacionais, ensaios laboratoriais e testes em ambiente relevante, de forma a garantir confiabilidade, aplicabilidade e impacto real no setor ferroviário e de transportes.

3.2. Etapas

Etapa 1: Implementação de módulos no aplicativo de análise de tensões e deformações de pavimentos ferroviários “SysTrain”

Esta etapa tem como objetivo aprimorar o software SysTrain, uma ferramenta computacional voltada para a simulação de tensões e deformações em pavimentos ferroviários. Para isso, serão desenvolvidos três novos módulos numéricos que permitirão uma análise mais precisa dos efeitos estruturais de materiais de reforço, aumentando a confiabilidade do projeto e a vida útil das infraestruturas ferroviárias.

Cada atividade desta etapa resultará na implementação de um módulo específico no aplicativo SysTrain, acompanhado da elaboração de documentação técnica completa, incluindo guias de utilização, relatórios técnicos e manuais do software para garantir a correta aplicação dos novos recursos.

Atividade 1 - Desenvolvimento do Módulo Geocélula

Trata-se da implementação do Módulo Geocélula no SysTrain, permitindo a simulação numérica do efeito de confinamento lateral proporcionado pelas geocélulas.

Produto final: Código-fonte atualizado do SysTrain com o módulo Geocélula + documentação técnica detalhada (manual de uso e guia de modelagem).

As seguintes atividades serão executadas nessa atividade:

- Desenvolvimento do modelo numérico, aplicando o Método dos Elementos Finitos (MEF) para representar a interação entre as geocélulas e o solo.
- Programação e integração do novo módulo ao software SysTrain.
- Elaboração de documentação técnica e guia do usuário, contendo diretrizes de entrada de dados no software, parâmetros recomendados para simulação e exemplos de aplicação e interpretação dos resultados.

Como resultado, espera-se o Módulo Geocélula totalmente funcional no SysTrain, validado e pronto para aplicação prática, bem como um manual técnico para usuários, garantindo que a ferramenta possa ser amplamente utilizada por engenheiros e pesquisadores.

Atividade 2 - Desenvolvimento do Módulo Geogrelha

Trata-se da implementação do Módulo Geogrelha no SysTrain, permitindo a simulação da influência das geogrelhas no reforço estrutural do pavimento ferroviário.

Produto final: Código-fonte atualizado do SysTrain com o módulo Geogrelha + documentação técnica detalhada (manual do usuário e guia de modelagem).

As seguintes atividades serão executadas nessa atividade:

- Desenvolvimento do modelo numérico para representar a rigidez longitudinal e transversal das geogrelhas no pavimento ferroviário.
- Integração do módulo ao software SysTrain, garantindo compatibilidade com as demais ferramentas do programa.
- Testes e calibração do modelo com base em ensaios de laboratório e estudos de caso.
- Elaboração de manual técnico e diretrizes de aplicação, incluindo métodos de entrada de dados no software, parâmetros de referência para modelagem numérica e comparação de resultados com e sem o uso de geogrelhas.

Como resultado, espera-se o Módulo Geogrelha totalmente implementado e validado no SysTrain, bem como a documentação completa para orientar a utilização do novo módulo em projetos ferroviários.

Atividade 3 - Desenvolvimento do Módulo Under Sleeper Pads (USP)

Trata-se da implementação do Módulo USP no SysTrain, permitindo a análise do impacto da inserção de almofadas sob os dormentes na dissipação de tensões.

Produto final: Código-fonte atualizado do SysTrain com o módulo USP + documentação técnica detalhada (manual do usuário e guia de modelagem).

As seguintes atividades serão executadas nessa atividade:

- Implementação do modelo numérico para simular a interação entre o lastro e os *under sleeper pads*, considerando efeitos de dissipação de tensões e deformação plástica.
- Programação e validação do módulo no SysTrain, garantindo que os cálculos sejam coerentes com dados experimentais.
- Elaboração do guia técnico e manual do usuário, incluindo procedimentos para inserção de dados no SysTrain, impactos da utilização dos under sleeper pads na infraestrutura ferroviária e exemplos práticos de simulação e análise de resultados.

Como resultado, espera-se o Módulo USP totalmente implementado e validado no SysTrain, com documentação técnica detalhada, garantindo que os usuários possam utilizar a ferramenta com precisão e eficiência.

Ao término desta etapa, o projeto entregará os seguintes produtos:

- Três novos módulos implementados no SysTrain (Módulo Geocélula, Módulo Geogrelha e Módulo Under Sleeper Pads (USP).
- Documentação Técnica Completa: Guias de modelagem e utilização dos módulos, contendo diretrizes para entrada de dados, calibração e interpretação de resultados.

Esta etapa representa um avanço significativo na simulação computacional aplicada à infraestrutura ferroviária, permitindo análises mais precisas e otimizadas. A implementação dos três novos módulos no SysTrain, juntamente com a documentação técnica detalhada, garantirá que os usuários possam aplicar as novas funcionalidades de maneira eficiente e embasada.

Etapa 2: Aquisição de equipamentos de laboratório e segurança

Esta etapa visa a modernização da infraestrutura laboratorial, garantindo que os ensaios experimentais possam ser conduzidos com alta precisão e reprodutibilidade. Além disso, contempla a contratação de um técnico em segurança do trabalho e cursos de segurança para a equipe, garantindo conformidade com as normas de segurança aplicáveis ao ambiente laboratorial. Os equipamentos a serem adquiridos são:

- Equipamento triaxial de cargas repetidas (4 tf)
- Impressora 3D para material cerâmico
- Compactador mecânico para solos (soquete elétrico automático para ensaios CBR e Proctor)
- Estufa de laboratório (630 litros)
- Balanças
- Equipamento tipo Hyprop para estudos de retenção de água

Também está prevista a contratação de técnico em segurança do trabalho para garantir conformidade com normas regulatórias e promover a segurança no laboratório. Em complemento, também foram previstas as realizações de cursos de segurança, treinamentos e exames médicos periódicos para a equipe, beneficiando 6 pessoas por ano.

A aquisição desses equipamentos e serviços garantirá maior capacidade de análise e validação experimental das soluções propostas pelo projeto, além de assegurar um ambiente de trabalho seguro para a equipe.

Etapa 3: Estudo do aumento da carga por eixo e espaçamento entre dormentes

A presente etapa busca avaliar a viabilidade técnica da ampliação da carga por eixo de 32,5 tf para 40 tf, além de investigar os impactos do aumento do espaçamento entre dormentes na infraestrutura ferroviária. Para isso, serão conduzidas simulações numéricas avançadas utilizando o aplicativo SysTrain, permitindo uma análise detalhada dos efeitos estruturais dessa sobrecarga na via permanente.

O estudo abordará a distribuição de esforços ao longo dos trilhos, dormentes e elementos de fixação, bem como as tensões transmitidas às camadas inferiores do pavimento ferroviário, incluindo lastro, sublastro e subleito. Além disso, será analisada a viabilidade do aumento do espaçamento entre dormentes como estratégia de redução de custos de implantação, garantindo que a integridade estrutural e a segurança operacional da via sejam mantidas.

Para alcançar esses objetivos, a metodologia adotada compreenderá duas frentes principais. A primeira consiste na avaliação da influência do aumento da carga por eixo, considerando a distribuição de tensões e deformações ao longo da via ferroviária. Serão conduzidas simulações para avaliar os impactos sobre trilhos, dormentes e fixações, verificando a compatibilidade da infraestrutura com a nova configuração operacional. Essa análise será comparada com normativas internacionais para validação técnica.

A segunda frente do estudo investigará os efeitos da ampliação do espaçamento entre dormentes. Serão simuladas diferentes configurações estruturais para analisar a distribuição de tensões ao longo da via, considerando aspectos como materiais empregados, tipos de fixação e comportamento dinâmico da estrutura. O objetivo é determinar um limite técnico seguro para esse aumento, assegurando um equilíbrio entre viabilidade econômica e desempenho estrutural.

Ao final do estudo, será elaborado um relatório técnico consolidado, contendo os resultados das simulações, análises comparativas entre diferentes cenários e recomendações técnicas para implementação das melhorias estudadas. Esse documento servirá como referência para embasar futuras decisões estratégicas relacionadas à modernização da infraestrutura ferroviária, promovendo maior eficiência operacional e otimização de custos sem comprometer a segurança das operações.

Etapa 4: Elaboração de material didático

A produção de dois livros técnicos faz parte desta etapa, com o objetivo de consolidar e disseminar o conhecimento científico e técnico gerado ao longo do projeto. O foco será a pavimentação ferroviária e o uso de lateritas na infraestrutura de transporte. Cada livro terá entre 300 e 400 páginas, com uma tiragem inicial de 1.500 cópias impressas, além da disponibilização de versões digitais em PDF.

O conteúdo será fundamentado nas pesquisas realizadas, apresentando informações relevantes para profissionais, acadêmicos e técnicos da área. Com base em normas técnicas, ensaios laboratoriais e simulações computacionais, os livros servirão como referência para aprimorar as práticas e modernizar o setor ferroviário.

Atividade 1: Livro 1 - Pavimentação com lateritas

Este livro abordará o uso de lateritas na pavimentação ferroviária, material amplamente aplicado em sublastro, reforço de subleito e subleito em ferrovias já em operação e em novos

projetos. O estudo detalhará as propriedades desse material e sua adequação para diferentes camadas da infraestrutura ferroviária.

A abordagem incluirá a análise do comportamento das lateritas sob cargas repetidas, explorando aspectos como módulo resiliente e deformação permanente, além de critérios técnicos para especificação de sublastros contendo esse material. Também serão apresentados comparativos entre lateritas e materiais convencionais, destacando sua viabilidade técnica e econômica. Além de caracterizar as propriedades mecânicas das lateritas, o livro trará diretrizes para sua aplicação em projetos ferroviários, fornecendo um suporte técnico essencial para engenheiros e projetistas.

Atividade 2: Livro 2 - Pavimento ferroviário

O segundo livro abordará os principais conceitos e metodologias relacionadas ao dimensionamento e análise estrutural de pavimentos ferroviários. A estrutura do conteúdo incluirá uma visão abrangente sobre os materiais empregados, as normas vigentes e os métodos de modelagem adotados no setor.

O livro apresentará uma análise crítica das normas técnicas existentes, identificando pontos de melhoria e propondo recomendações baseadas nos avanços tecnológicos recentes. Além disso, discutirá o pavimento ferroviário como um sistema multicamadas submetido a cargas repetidas, incorporando conceitos da mecânica dos pavimentos para modelagem e dimensionamento.

Outro aspecto fundamental será a interação da infraestrutura ferroviária com solos não saturados, destacando a influência da infiltração de água na plataforma ferroviária. Para isso, serão exploradas simulações computacionais e técnicas de otimização aplicadas à previsão do comportamento estrutural da via. Além dos conceitos teóricos, o livro incluirá estudos práticos sobre ensaios laboratoriais para avaliação de lastros, como o *box test* e ensaios triaxiais de cargas repetidas, essenciais para caracterizar a resistência e a durabilidade dos materiais utilizados.

Ao final da etapa, os dois livros serão publicados e distribuídos para profissionais, instituições acadêmicas e órgãos reguladores (especialmente nas ferrovias operadas pela Vale e pelas associadas ANTF, bem como as superintendências regionais da ANTT PA, MA, ES, MG e RJ) promovendo a disseminação do conhecimento gerado no projeto. A disponibilização gratuita da versão digital (PDF) ampliará o acesso ao conteúdo, garantindo maior impacto e aplicação prática das informações abordadas.

Essa iniciativa contribuirá para a modernização das práticas de pavimentação ferroviária, fortalecendo a base técnica e normativa do setor e capacitando profissionais com conhecimento atualizado e embasado em pesquisas científicas.

Etapa 5: Estudos de validação da recicladora

Esta etapa tem como foco a validação do processo de reciclagem de sublastro com base em um equipamento já existente na concessionária. Serão conduzidos estudos de campo e de laboratório para avaliar a viabilidade técnica e estrutural do reaproveitamento de materiais reciclados na infraestrutura ferroviária.

Os ensaios de campo incluirão testes com DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) e LWD (*Light Weight Deflectometer*), aplicados diretamente sobre segmentos reciclados. Em paralelo, serão realizados ensaios laboratoriais para determinação do módulo resiliente e da deformação permanente dos materiais coletados em campo. Também será feita uma avaliação estrutural detalhada dos trechos existentes onde esse processo de reciclagem já foi aplicado, com o objetivo de embasar um parecer técnico conclusivo sobre a eficácia do equipamento e do método de execução da camada reciclada.

Os estudos serão realizados nas proximidades de Marabá-PA, que será a sede das atividades de campo, com possibilidade de extensão para áreas no entorno, como Carajás e Parauapebas. A realização de viagens técnicas nacionais será necessária para viabilizar as coletas de dados, acompanhamento dos trechos de interesse e interação com equipes locais da concessionária.

A equipe de campo será composta por dois engenheiros especialistas, que realizarão os deslocamentos por via aérea, e por dois técnicos de campo, que se deslocarão em caminhonete, o que permitirá a coleta e transporte das amostras para os ensaios laboratoriais no Instituto Militar de Engenharia (IME). Essa logística garantirá a qualidade e a integridade das amostras, além de eficiência no processo de coleta e registro dos dados em campo.

Além da ferrovia, o escopo da etapa será ampliado para abranger soluções de pavimentação em estradas vicinais de acesso à ferrovia, levando em consideração as características de tráfego, clima e comportamento mecânico dos materiais locais. Pretende-se investigar o uso combinado de materiais disponíveis em jazidas regionais com solos estabilizados, tanto granulométrica quanto quimicamente. Também serão avaliadas soluções de revestimento de baixo custo, visando o controle e mitigação do material particulado (pó), promovendo benefícios ambientais e operacionais.

Ao final da etapa, será elaborado um relatório técnico abrangente, consolidando os resultados dos ensaios de campo e laboratório, as análises estruturais e as recomendações sobre a adoção da tecnologia de reciclagem e sua aplicabilidade em ferrovias e vias de acesso.

Etapa 6: Instalação dos pórticos para execução de ensaios de pavimentos ferroviários em escala real

Esta etapa está associada ao projeto de criação do Laboratório de Infraestruturas de Transportes do Instituto Militar de Engenharia (LARM), com foco no modal ferroviário. Trata-se de uma iniciativa financiada pela FINEP, em execução desde 2023, que visa dotar o IME de

infraestrutura adequada para testes em escala real. A etapa prevista neste projeto está alinhada com as diretrizes do LARM e contribuirá diretamente para sua consolidação.

O objetivo central é a elaboração do projeto executivo e a construção de um dos pórticos do sistema hidráulico de auto reação, além da execução de um segmento ferroviário de 10 metros de extensão. Esse conjunto permitirá a realização de ensaios estáticos e dinâmicos com estrutura, carga e frequência compatíveis com as condições reais de operação ferroviária, funcionando como ambiente relevante para validação de soluções propostas nas demais etapas do projeto.

Além da construção do pórtico e do trecho ferroviário experimental, a etapa contempla intervenções complementares e melhorias estruturais no laboratório do IME, necessárias para garantir suporte aos ensaios laboratoriais com as amostras coletadas em campo. Entre essas melhorias estão:

- Instalação de bancada de granito com estrutura metálica de apoio, esquadrias e portas em alumínio e vidro;
- Construção de divisórias em *drywall* com janelas, criando áreas de trabalho técnico especializadas;
- Ajustes elétricos (transformação de pontos de 110 V para 220 V) e instalação de nova porta de acesso com mola de piso;
- Desmontagem e substituição de parte do telhado de policarbonato, com limpeza e reforço estrutural;
- Serviços gerais de acabamento, como pintura, limpeza e desmobilização ao final da obra.

Também será realizada a aquisição de chillers, responsáveis pelo resfriamento do óleo hidráulico do atuador de carga dinâmica. Esse sistema é essencial para a operação contínua e segura do conjunto de aplicação de cargas no pórtico.

A etapa inclui ainda o reparo da placa controladora do atuador de carga, equipamento que será utilizado nos ensaios do tipo box test, fundamentais para avaliar o desempenho dos materiais sob condições controladas e intensivas de carregamento. Esse atuador é um dos principais elementos do sistema de simulação de cargas repetidas em pavimentos ferroviários.

Por fim, está prevista a manutenção do equipamento *Falling Weight Deflectometer* (FWD), que será empregado para os ensaios defletoométricos ao longo do segmento ferroviário de 10 metros construído no LARM. Esses ensaios são essenciais para avaliar a resposta estrutural das camadas do pavimento, contribuindo para a calibração dos modelos numéricos utilizados no projeto.

Com a execução desta etapa, o projeto garantirá não apenas a infraestrutura necessária para os testes de validação em ambiente relevante, mas também a condição operacional completa do

laboratório, consolidando o LARM como um centro de excelência em infraestrutura ferroviária experimental no Brasil.

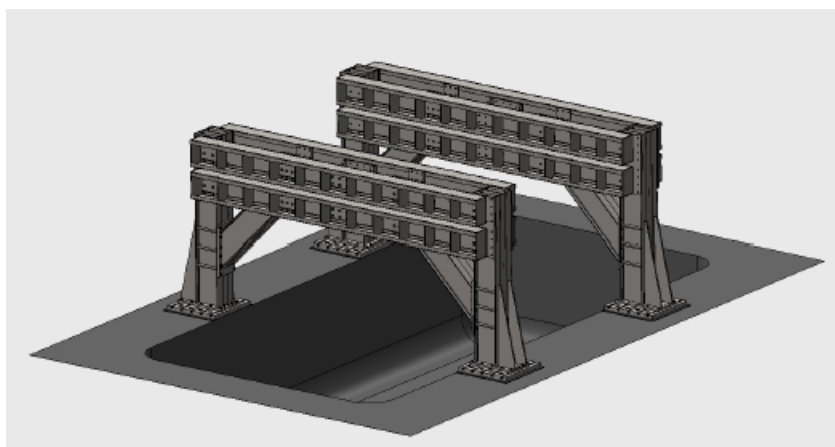


Figura 1: Pórticos de reação

Etapa 7: Divulgação, Eventos e Conferências

Esta etapa tem como objetivo promover a divulgação científica dos resultados do projeto junto à comunidade técnica e acadêmica, tanto nacional quanto internacional, consolidando o setor ferroviário brasileiro como referência em pesquisa e inovação. A divulgação também contribuirá para a aquisição de novas práticas e o fortalecimento da rede de colaboração científica com centros de excelência em infraestrutura ferroviária.

A participação em eventos e a publicação de artigos científicos são os principais produtos desta etapa. Estão previstas pelo menos 4 publicações em periódicos de alto impacto e a apresentação de 20 trabalhos em congressos técnicos e científicos, conforme estabelecido no Plano de Trabalho. Para isso, serão considerados os custos com passagens, diárias, taxas de inscrição, tradução, revisão e taxas de publicação (APC).

Dentre os eventos previstos estão:

- **TRB Annual Meeting** (2026, 2027, 2028 e 2029) – Washington, EUA: um dos principais encontros internacionais sobre transportes, com ampla participação de especialistas em infraestrutura ferroviária. A participação permitirá o contato direto com centros de pesquisa de referência, acesso a metodologias atualizadas e divulgação dos resultados do projeto para a comunidade internacional. Estão previstos 4 eventos com 4 participantes cada, totalizando 16 passagens, 112 diárias e 16 inscrições.
- **Reunião Anual de Pavimentação (RAPv)** (2025, 2026, 2027 e 2028): a edição de 2025 será realizada em Belo Horizonte-MG, enquanto as edições subsequentes ainda não tiveram suas sedes definidas. Para fins orçamentários, foi utilizada como referência a cidade de Aracaju-SE, sede da edição de 2024. O evento é um dos mais importantes do país nas áreas de geotecnia e pavimentação, reunindo pesquisadores e profissionais de diversas regiões. Serão apresentadas contribuições relacionadas

aos ensaios, modelagem numérica e uso de materiais reciclados. Estão previstas 4 participações com 4 integrantes por evento, totalizando 16 passagens (4 para Belo Horizonte e 12 considerando Aracaju como base), 88 diárias e 16 inscrições.

Além da participação em eventos, serão contratados serviços de tradução e revisão científica para apoiar a produção dos artigos, bem como o pagamento de taxas de processamento de artigos (APC) para publicação em periódicos internacionais de alto impacto.

Esta etapa será essencial para dar visibilidade ao projeto, fortalecer a inserção internacional da pesquisa ferroviária nacional, e estimular a produção científica qualificada com potencial de impacto técnico e acadêmico duradouro.

Etapa 8: Estudos de reciclagem de escórias

Esta etapa tem como objetivo avaliar a viabilidade técnica da aplicação de escórias industriais em diferentes tipos de obras de infraestrutura de transportes, com foco nos segmentos ferroviário, rodoviário e em obras de aterro. Os estudos serão conduzidos com base em normas e diretrizes técnicas nacionais (DNIT, ABNT) e internas da Vale, visando garantir segurança, desempenho e sustentabilidade no uso desses materiais.

As escórias utilizadas neste projeto são provenientes de minas de metais básicos localizadas no estado do Pará, com foco nos resíduos gerados nos processos de extração de níquel, manganês ou cobre, desde que estejam em conformidade com os limites exigidos pelos órgãos ambientais. A coleta do material será realizada em conjunto com as atividades de campo da Etapa 5, otimizando o uso dos recursos e a logística do projeto. Dessa forma, os custos com aquisição, frete e transporte das amostras já estão considerados no planejamento orçamentário.

A etapa está organizada em três frentes de estudo, com elaboração de relatório técnico final para cada uma delas, consolidando os métodos aplicados, os resultados obtidos e as recomendações de uso:

- Atividade 1: Aplicação em aterros

Será investigada a aplicação de escórias em obras de terraplanagem, por meio da mistura controlada com solos locais utilizados em aterros. Os ensaios terão como foco a análise do comportamento mecânico da mistura, com base nas exigências normativas para resistência, compactação e estabilidade. O estudo buscará estabelecer critérios de dosagem e controle tecnológico da mistura solo-escória.

- Atividade 2: Aplicação em pavimento ferroviário

Nesta frente, serão realizados estudos sobre a utilização da escória como camada de lastro ou sublastro, em substituição total ou parcial de britas e materiais convencionais. A avaliação será feita com base em ensaios de caracterização física, mecânica (triaxiais de carga repetida) e também por meio de testes em escala real no sistema hidráulico de auto reação instalado no

LARM. O objetivo é verificar a capacidade de suporte e o comportamento estrutural da escória sob carregamentos ferroviários típicos.

- Atividade 3: Aplicação em pavimento rodoviário e revestimento primário

A terceira atividade tratará da aplicação da escória em camadas de base, sub-base ou revestimento primário de pavimentos rodoviários. Serão realizados ensaios de caracterização e desempenho conforme normas técnicas nacionais, com foco na adequação do material às condições de tráfego e clima predominantes. Também serão avaliadas alternativas de estabilização e o uso da escória em revestimentos de baixo custo para controle e mitigação de emissão de material particulado (pó).

Com a conclusão da etapa, os três relatórios técnicos subsidiarão a possível inserção da escória como material alternativo nos projetos de infraestrutura ferroviária e rodoviária, promovendo ganhos ambientais e econômicos por meio do reaproveitamento de resíduos industriais.

Etapa 9: Despesas Operacionais e Administrativas (DOA)

O regulamento do Instituto Militar de Engenharia (IME) não estabelece percentual específico para a cobrança de Despesas Operacionais e Administrativas (DOA) por parte da fundação de apoio. No entanto, nos termos da Lei nº 10.973/2004 (Lei da Inovação), em seu art. 9º, §1º, é permitido que as fundações de apoio utilizem até 15% dos recursos destinados à execução dos projetos para cobrir suas despesas operacionais e administrativas.

De forma geral, a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Computação Científica (FACC), fundação de apoio credenciada ao IME, definiu o percentual de 10% a título de DOA, conforme prática institucional consolidada e em consonância com a legislação vigente. Esse percentual incide sobre as despesas do projeto e destina-se à cobertura de custos indiretos necessários à adequada gestão administrativa, financeira, contábil e jurídica das atividades vinculadas à execução do plano de trabalho.

4. PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL

O projeto será desenvolvido em 48 meses, com previsão de início em 01/10/2025.

O custo total deste projeto será de R\$ 6.969.054,16 (seis milhões, novecentos e sessenta e nove mil, cinquenta e quatro reais e dezesseis centavos). Este valor contempla o pagamento das despesas operacionais administrativas devidas à Fundação de Apoio FACC, fundação de apoio ao Instituto Militar de Engenharia (página 34 da Seção 1 do DOU nº 215, de 6 de novembro de 2024).

O valor também contempla o provisionamento da concessionária para despesas administrativas (3%) e reserva técnica (5%), conforme § 5º do art. 10. da Resolução nº 6.021, de 2023 e § 4º do art. 6 da Portaria nº 17, de 06 de dezembro de 2023 respectivamente. A concessionária fundamenta-se no exercício legítimo da prerrogativa de alocação de recursos à Reserva Técnica, em razão da complexidade e da amplitude do projeto, bem como das incertezas inerentes a fatores externos que podem impactar sua execução. Tal previsão encontra respaldo no § 4º do

art. 6º da Portaria nº 17, de 6 de dezembro de 2023, com redação conferida pela Portaria nº 9, de 9 de agosto de 2024, nos seguintes termos: “A concessionária poderá prever um valor de até 5% do projeto para Reserva Técnica, com a finalidade de atender a despesas imprevistas e diretamente relacionadas à execução do projeto.”.

- Valor de investimento 2025 (ano contratual 5): R\$ 1.586.142,92
- Valor de investimento 2026 (ano contratual 6): R\$ 1.705.373,05
- Valor de investimento 2026 (2ª parcela do ano contratual 4): R\$ 1.293.213,73
- Valor de investimento 2027 (ano contratual 7): R\$ 974.446,81
- Valor de investimento 2028 (ano contratual 8): R\$ 1.057.333,57
- Valor de investimento 2029 (ano contratual 9): R\$ 352.544,07

O documento completo com o Cronograma Físico-Financeiro é apresentado no Anexo II, de acordo com a Portaria n. 17/2023.

Conforme o disposto no Art. 2º da Deliberação ANTT nº 169/2024, publicada em 27 de junho de 2024, foram alterados os prazos para a destinação dos recursos provenientes do RDT (Recursos para Desenvolvimento Tecnológico) e do RPF (Recursos para Preservação da Memória Ferroviária). A norma passou a permitir que os valores referentes a exercícios anteriores — ainda não incorporados à outorga — bem como os do exercício corrente, possam ser destinados até o quarto ano subsequente ao ano vigente do contrato, desde que observada a distribuição proporcional entre os anos.

Dessa forma, esta concessionária utilizará a segunda parcela correspondente ao quarto ano contratual — a ser efetivamente aplicada em 2026, no sexto ano de vigência do contrato — para a execução do referido projeto, com o objetivo de complementar os recursos necessários à sua adequação orçamentária.

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

Os trabalhos serão executados nos seguintes locais:

- a) Instituto Militar de Engenharia (IME), utilizando o Laboratório de Solos;
- b) Laboratório General Antônio Real Martins (LARM) de Infraestruturas de Transporte do IME, localizado no Centro Tecnológico do Exército (CTEx).

O projeto realizará a integração entre a pesquisa básica na academia (IME) e a pesquisa intermediária no centro de pesquisa (CTEx).

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação de entidade:

A entidade executora do projeto será o Instituto Militar de Engenharia (IME).

A história do IME remonta ao ano de 1792, quando, por ordem de Dona Maria I, Rainha de Portugal, foi instalada, na cidade do Rio de Janeiro, a Real Academia de Artilharia, Fortificação e Desenho, primeira escola de engenharia das Américas e terceira do mundo. Tinha por objetivo formar oficiais das Armas e Engenheiros para o Brasil-Colônia. A Real Academia tornou-se a base para a implantação da Academia Real Militar, criada em 23 de abril de 1811, por ordem de D. João VI. A Academia Real Militar mudou de nome quatro vezes: Imperial Academia Militar (1822); Academia Militar da Corte (1832), Escola Militar (1840) e Escola Central (1958). Ali se formavam não apenas Oficiais do Exército, mas, principalmente engenheiros, militares ou civis, sendo a Escola Central a única escola de Engenharia existente no Brasil. O Decreto nº 5.632, de 31 de dezembro de 1928, estabeleceu a formação de engenheiros, artilheiros, eletrotécnicos, químicos e de fortificação e construção na Escola de Engenharia Militar (1930). Em 1933, mudou sua denominação para Escola Técnica do Exército e em 1942 foi instalada no atual prédio da Praia Vermelha. Em 1949, foi criado o Instituto Militar de Tecnologia (1949). Iniciavam-se, então, programas de estudo, pesquisa e controle de materiais para a indústria.

Atualmente, o Instituto Militar de Engenharia (IME), órgão de ensino e pesquisa do Sistema de Ciência, Tecnologia e Inovação do Exército (SCTIEx), subordinado à Chefia de Ensino, Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (EPDI), orgânica do Departamento de Ciência e Tecnologia (DCT), tem como missão precípua formar recursos humanos para atender às necessidades do Exército Brasileiro pelo ensino superior de Engenharia, nos níveis de graduação e pós-graduação, bem como promover pesquisa básica e aplicada, nas áreas de interesse do Exército de modo integrado ao SCTIEx visando à produção de conhecimentos voltados para o desenvolvimento de Produtos e Sistemas de Defesa e de interesse nacional que atendam às necessidades operacionais do Exército Brasileiro. Cumpre ainda ressaltar que o IME tem como competência, sob a direção da EPDI, cooperar, pelo ensino e pela pesquisa, para o desenvolvimento científico-tecnológico do País.

O IME é reconhecido nacional e internacionalmente como um centro de excelência em educação de nível superior em Engenharia, reconhecido pelo Ministério da Educação (MEC) no último Exame Nacional de Desempenho dos Estudantes (ENAD) como a melhor e mais bem pontuada faculdade de engenharia no País. Seus estudos e pesquisas focam no desenvolvimento do conhecimento para fomento de produtos de Defesa para a Força Terrestre e contribuem para que o SCTIEx domine tecnologias de interesse da Defesa Nacional, de forma a ampliar o poder dissuasório do País.

Em apoio às atividades do IME, a Fundação de Apoio ao Desenvolvimento da Computação Científica (FACC) também fará parte desse projeto. Criada em 2004, é uma entidade de direito privado, sem fins lucrativos, estabelecida nos termos da Lei nº 8.958/1994 e credenciada junto ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI) e ao Ministério da Educação (MEC) como fundação de apoio a Instituições Científicas e Tecnológicas (ICTs). A FACC atua prestando suporte administrativo e financeiro à execução de projetos de pesquisa científica e tecnológica, inovação, ensino, extensão e desenvolvimento institucional, bem como em atividades de prestação de serviços técnicos especializados.

A fundação pauta sua atuação pela excelência na gestão dos recursos sob sua responsabilidade, em estrita observância aos princípios da legalidade, impessoalidade, moralidade, publicidade, economicidade e eficiência, com elevado zelo pelos interesses das instituições apoiadas. Está sujeita, ainda, à supervisão do Ministério Público do Estado do Rio de Janeiro, por se tratar de fundação regida pelo Código Civil Brasileiro.

No âmbito deste projeto, a FACC será responsável pela administração dos recursos financeiros, contratação de bens e serviços, realização de pagamentos, recolhimento de tributos, prestação de contas, bem como por todo o suporte técnico-operacional necessário à execução do plano de trabalho, conforme previsto no acordo de parceria celebrado com o Instituto Militar de Engenharia.

Considerando o exposto no texto supracitado, o Instituto Militar de Engenharia é a entidade que executará o projeto em sua totalidade, sendo escolhida com base na análise técnica e financeira da proposta do projeto, bem como na capacidade de execução da entidade. Adicionalmente, este projeto não prevê a concessionária como executora do projeto, limitando-se ao escopo de gerir a execução do projeto pela entidade executora, de forma alinhada e aderente às obrigações regulatórias e contratuais atribuídas à concessionária pelo poder concedente.

6.2. Identificação da equipe executora:

A equipe do projeto contará com a colaboração de pesquisadores do Instituto Militar de Engenharia. A equipe executora é formada por bolsistas, alunos e professores, conforme segue:

a) Coordenador Geral:

- Antônio Carlos Rodrigues Guimarães; Doutor; militar da ativa, professor e pesquisador do IME (CPF 028144307-69)

b) Pesquisadores:

- Giuseppe Miceli Junior; Doutor; militar da ativa, professor e pesquisador do IME (CPF 082347537-97)
- Michel da Cunha Tassi; Doutor; militar da ativa, professor e pesquisador do IME (CPF 214491748-50)
- Fábio Grisólia de Ávila; Doutor; militar da ativa, professor e pesquisador do IME (CPF 086503917-88)
- Filipe Almeida Corrêa do Nascimento; Doutor; militar da ativa, professor e pesquisador do IME (CPF 094388087-44)
- Luiz Antônio Silveira Lopes; Doutor; servidor civil, professor e pesquisador do IME (CPF 415404847-34)
- Maria Esther Soares Marques; Doutora; servidora civil, professora e pesquisadora do IME (CPF 810797967-20)
- Orivalde Soares da Silva Júnior; Doutor; servidor civil, professor e pesquisador do IME (CPF 327931598-08)

c) Bolsistas (referência Portaria CNPq 2262/2025, de 19 de maio de 2025):

- Pós-doutorando, um a selecionar.
- Doutorando, dois a selecionar.
- Laboratorista, um a selecionar.

- Iniciação tecnológica, um a selecionar.
- d) Funcionários (referência SINAPI):
- Técnico em segurança do trabalho, um a contratar.
 - Laboratorista, um a contratar.
 - Auxiliar de laboratório, um a contratar.

7. PRODUTOS

Serão entregues pelo projeto os seguintes produtos:

- a) Módulos para o software “SysTrain”: serão desenvolvidos três módulos complementares (Geocélula, Geogrelha e *Under Sleeper Pads*), com foco na simulação numérica avançada aplicada a pavimentos ferroviários. Cada módulo será acompanhado de documentação técnica, incluindo manual do usuário, guia de modelagem e exemplos práticos.
- b) Equipamentos laboratoriais: aquisição e instalação de equipamentos avançados para ampliação da capacidade do LARM, permitindo ensaios de alta complexidade e maior nível de maturidade tecnológica.
- c) Relatórios técnicos e artigos científicos: serão elaborados relatórios específicos para as seguintes temáticas: (i) aumento da carga por eixo e espaçamento entre dormentes; (ii) validação da recicladora; (iii) aplicação de escórias. Além disso, serão produzidos artigos científicos relacionados aos temas abordados, com submissão a periódicos e congressos técnicos.
- d) Material didático: elaboração de dois livros técnicos com base nos resultados do projeto. O primeiro livro abordará a pavimentação com lateritas, enquanto o segundo tratará dos conceitos, métodos e tecnologias aplicadas a pavimentos ferroviários.
- e) Pórtico e segmento ferroviário experimental: construção de um pórtico com sistema hidráulico de auto reação e montagem de um segmento ferroviário de 10 metros de extensão em ambiente controlado para ensaios estáticos e dinâmicos em escala real.

Além disso, são esperadas duas dissertações de mestrado/teses de doutorado, uma iniciação científica e o desenvolvimento completo de um pós-doutoramento, com vinculação direta às atividades do projeto. Estão também previstas pelo menos quatro publicações científicas em periódicos de alto impacto e a apresentação de vinte trabalhos em congressos nacionais e internacionais, consolidando a disseminação e o impacto dos resultados do projeto na comunidade técnico-científica.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

- AASHTO. M 145-91: Standard Specification for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. [S.l.], 1991.
- AASHTO. M147-65: Materials for Aggregate and Soil-Aggregate Subbase, Base, and Surface Courses. [S.l.]: AASHTO, 2004.
- ABNT. NBR 7641: Via permanente ferroviária. [S.l.], 1980.
- AREMA. Manual for Railway Engineering. third. [S.l.]: American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association, 2010. v. 1.

ASTM. D3282-15: Standard Practice for Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes. [S.l.], 2015.

ASTM. D2487-17: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). [S.l.], 2017.

DNER-CLA. DNER 259: Classificação de solos tropicais para finalidades rodoviárias utilizando corpos-de-prova compactados em equipamento miniatura. [S.l.], 1996.

DNER-ME. DNER 256: Solos compactados com equipamento miniatura-Determinação da perda de massa por imersão. [S.l.], 1994.

DNER-ME. DNER 258: Solos compactados com equipamento miniatura- Mini -MCV. [S.l.], 1994.

DNIT. IPR 719: Manual de Pavimentação. [S.l.: s.n.], 2006.

DNIT. Projeto de superestrutura da via permanente - Lastro e sublastro. [S.l.: s.n.], 2015.

DNIT. DNIT 172: Solos – Determinação do Índice de Suporte Califórnia utilizando amostras não trabalhadas – Método de ensaio. [S.l.], 2016.

DNIT. DNIT 134: Pavimentação – Solos – Determinação do módulo de resiliência – Método de ensaio. [S.l.], 2018.

DNIT. DNIT 179: Pavimentação – Solos – Determinação da deformação permanente – Instrução de ensaio. [S.l.], 2018.

EN, B. BS EN 13286-7: Unbound and hydraulically bound mixtures — Part 7: Cyclic load triaxial test for unbound mixtures. [S.l.], 2004.

NBR. NBR 6457: Amostras de solo — Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. [S.l.], 2016.

NBR. NBR 6459: Solo — Determinação do limite de liquidez. [S.l.], 2016.

NBR. NBR 7180: Solo — Determinação do limite de plasticidade. [S.l.], 2016.

NBR. NBR 7181: Solo — Análise granulométrica. [S.l.], 2016.

NBR. NBR 7182: Solo — Ensaio de compactação. [S.l.], 2016.

NCHRP. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Appendix RR: Finite Element Procedures for Flexible Pavement Analysis. [S.l.]: TRB, 2004.

9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

I - Resumo do Plano de Trabalho;

II - Cronograma físico-financeiro do projeto e Orçamento analítico previsto;

III - Propostas técnicas e comerciais dos terceirizados que irão participar do projeto;

IV - Cotações comerciais;

V - Currículo dos coordenadores em formato .pdf;

VI - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência; e

VII - Declaração de observância ao disposto na Resolução nº 6.021, de 2023, e na Portaria nº 17, de 2023.