

ANTT - Agência Nacional de Transportes Terrestres

RDT - Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**ESTUDOS DE ENGENHARIA E ELABORAÇÃO DE PROJETO CONCEITUAL
PARA REGENERAÇÃO DE ENERGIA NO TRECHO DA CREMALHEIRA**

**8 - 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**

MRS Logística S.A

09/01/2026

SUMÁRIO

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO	4
1.1. Título do Projeto	4
1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento	4
1.1.2. Temas	5
1.2. Objetivos.....	5
1.2.1. Objetivo Geral	5
1.2.2. Objetivos Específicos	5
2. JUSTIFICATIVA.....	6
2.1. Contexto e Motivação do Projeto	6
2.2. Relevância e Benefícios Esperados	7
2.3. Inovação e Aderência à Resolução ANTT nº 6.021/2023	7
2.4. Limites e Caráter Inovador da Proposta	8
2.5. Disseminação de Conhecimento	8
3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	8
3.1. Métodos e técnicas utilizadas	8
3.2. Etapas.....	9
3.2.1. Etapa 1 – Diagnóstico Técnico-Operacional.....	9
3.2.2. Etapa 2 – Modelagem e Simulação Elétrica.....	9
3.2.3. Etapa 3 – Medições e Grandezas elétricas.....	9
3.2.4. Etapa 4 – Estudo de Tecnologias de Armazenamento e Regeneração	9
3.2.5. Etapa 5 – Análise Regulatória e Ambiental.....	10
3.2.6. Etapa 6 – Projeto Conceitual e Integração.....	10
3.2.7. Etapa 7 – Consolidação dos Resultados e Relatório Final	10
4. PREVISÃO DE INÍCIO, TEMPO DE EXECUÇÃO E CUSTO TOTAL	11
4.1. Previsão de Início e Tempo de Execução	11
4.2. Custo Total.....	11
5. LOCAL DE EXECUÇÃO	13
6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA.....	13
6.1. Identificação da entidade	13
6.1.1. Experiência Técnica em Sistemas de Energia e Tração	14
Metrô de Belo Horizonte – Linha 1	14

Metrô de São Paulo – Linha 15-Prata (Trecho São Lucas – Jardim Colonial)	14
Metrô de São Paulo – Linha 4-Amarela (Fase II e Sistema de Transmissão de Dados)	15
6.1.2. Síntese Técnica e Capacidade Instalada	15
6.2. Identificação da equipe executora.....	15
6.2.1. Identificação da Equipe Executora do Projeto	15
6.2.2. Identificação da Equipe da Concessionária	17
7. PRODUTOS.....	17
7.1. Produto 1 - Relatório Técnico de Caracterização e Base de Modelagem.....	17
7.2. Produto 2 - Relatório de Modelagem e Resultados de Simulação.....	18
7.3. Produto 3 - Relatório de Medições e Análise Técnica.....	18
7.4. Produto 4 - Relatório Comparativo das Alternativas e Recomendações Técnicas	18
7.5. Produto 5 - Relatório Regulatório e Ambiental	18
7.6. Produto 6 - Projeto Conceitual e Documentação Técnica	18
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS.....	19
9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO	20

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

Estudos de Engenharia e Elaboração de Projeto Conceitual para Regeneração de Energia no Trecho da Cremalheira.

1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

O projeto propõe o desenvolvimento de estudos de engenharia, simulações elétricas e elaboração de um Projeto Conceitual voltados ao aproveitamento da energia regenerada pelas locomotivas elétricas no trecho da Serra da Cremalheira, operado sob sistema de tração 3 kVcc.

A iniciativa está integralmente enquadrada como Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico, conforme a Resolução ANTT nº 6.021/2023, tendo como foco a inovação tecnológica aplicada, a geração de conhecimento e a avaliação exploratória de alternativas técnicas para recuperação de energia em sistemas ferroviários eletrificados, em especial aos Artigos 3º e 4º, que definem o escopo dos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT).

Artigo 3º: Os RDT serão destinados a projetos que atendam às seguintes diretrizes:

Inciso I: Modernização da infraestrutura integrante do Subsistema Ferroviário Federal;

- O estudo contribuirá para a modernização da infraestrutura de tração elétrica do sistema Cremalheira ao integrar tecnologia de recuperação de energia, transformando um sistema puramente consumidor em um sistema híbrido com capacidade de geração, armazenamento e reutilização de energia.
- A elaboração de um Projeto Conceitual para essa solução representa um avanço tecnológico relevante, incorporando equipamentos modernos de eletrônica de potência (como inversores bidirecionais, conversores e sistemas de armazenamento), e elevando o patamar de inovação e sustentabilidade da infraestrutura ferroviária nacional.

Inciso II: Melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal;

- A proposta contribuirá para a eficiência energética e operacional do sistema, reduzindo o consumo de energia proveniente da rede e, consequentemente, os custos operacionais. Essa otimização pode gerar, em médio e longo prazo, impactos positivos na modicidade tarifária.
- O projeto também reforça o alinhamento da concessionária com práticas internacionais de eficiência energética, sustentabilidade e descarbonização, consolidando uma identidade atual e responsabilidade ambiental.

Artigo 4º: Os RDT deverão ser destinados a projetos que possuam como objetivo a inovação no desenvolvimento de:

Inciso II: Tecnologia básica e aplicada;

- A iniciativa caracteriza-se como um projeto de pesquisa, envolvendo o uso de tecnologias básicas e aplicadas em eletrônica de potência, com foco na investigação da integração de sistemas de conversão e armazenamento de energia ao sistema de tração elétrica em 3 kVcc. Por meio de simulações computacionais, modelagens e estudos de engenharia, o projeto buscará analisar, avaliar e dimensionar diferentes arranjos tecnológicos, como inversores regenerativos,

baterias, supercapacitores e sistemas híbridos, com o objetivo de comparar alternativas sob os aspectos técnico, econômico e regulatório, identificando as soluções mais promissoras para o aproveitamento da energia regenerada.

Inciso III: Soluções técnicas para problemas específicos;

- O estudo de pesquisa tem como objetivo investigar e propor soluções técnicas para o aproveitamento da energia gerada pelas locomotivas durante a frenagem regenerativa na descida da Cremalheira. Os resultados esperados visam gerar conhecimento técnico estruturado e fornecer subsídios consistentes para a tomada de decisão e para futuras etapas de desenvolvimento e implantação da solução.

1.1.2. Temas

O projeto está aderente aos Temas Prioritários definidos pela Deliberação ANTT nº 169/2024, conforme:

Tema nº 8 – Operação e Infraestrutura Ferroviária Sustentáveis, com foco principal na descarbonização da matriz energética, nas soluções biodegradáveis e de materiais reciclados, assim como a resiliência da infraestrutura (tema principal)

Tema nº 9 – Automação, Digitalização e Sistemas Inteligentes de Monitoramento e Controle (tema secundário)

Tema nº 10 – Desenvolvimento de Estudos para Melhoria da Operação Ferroviária (tema complementar)

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Realizar estudos de engenharia, simulações elétricas, medições técnicas e análises tecnológicas, com o objetivo de identificar, avaliar e comparar alternativas inovadoras e conceituais para o aproveitamento da energia regenerada pelas locomotivas durante a operação de descida na Serra da Cremalheira.

Como resultado, será elaborado um Projeto Conceitual da alternativa mais promissora, contemplando aspectos técnicos, regulatórios e operacionais, sem caráter executivo ou de viabilidade econômico-financeira completa.

1.2.2. Objetivos Específicos

- **Quantificar e caracterizar o potencial energético do sistema:** Desenvolver simulações elétricas e modelagens do sistema de tração elétrica em 3 kVcc da Cremalheira com o objetivo de caracterizar, em nível de pesquisa, o perfil de geração de potência e o potencial de energia regenerável, bem como validar parâmetros operacionais atualmente observados. Esta atividade tem caráter analítico e investigativo, não se configurando como estudo de viabilidade operacional ou de expansão ferroviária.
- **Investigar alternativas tecnológicas para recuperação de energia:** Conduzir uma pesquisa exploratória voltada à identificação, estudo e comparação, em nível conceitual, de diferentes soluções tecnológicas para o aproveitamento da energia regenerada, mantendo o escopo aberto à análise de novas abordagens que possam surgir ao longo do desenvolvimento do estudo. Ressalta-se que esta atividade não contempla estudos de viabilidade técnica ou econômica, tendo como foco a

geração de conhecimento, a avaliação comparativa e o amadurecimento tecnológico das alternativas analisadas.

- **Avaliar o enquadramento regulatório das soluções tecnológicas:** Realizar análises de caráter técnico-regulatório aplicáveis às tecnologias investigadas, com foco na compreensão das diretrizes e condicionantes estabelecidas pelos órgãos reguladores e agentes setoriais.
- **Analisar e comparar alternativas tecnológicas:** Estabelecer critérios comparativos de natureza técnica, conceitual e ambiental para avaliar as soluções investigadas no âmbito da pesquisa, priorizando aspectos como potencial tecnológico, maturidade da inovação, confiabilidade conceitual e possibilidade de replicação.
- **Desenvolvimento do projeto conceitual da solução tecnológica:** Elaborar o projeto conceitual da alternativa tecnológica selecionada no âmbito da pesquisa, contemplando a definição preliminar da solução, requisitos funcionais, interfaces técnicas e documentação de engenharia em nível conceitual, com o objetivo de subsidiar futuras etapas de aprofundamento, sem caracterizar projeto executivo ou estudo de viabilidade de implantação ferroviária.

2. JUSTIFICATIVA

2.1. Contexto e Motivação do Projeto

O trecho da Serra da Cremalheira, operado pela MRS Logística, é um sistema ferroviário de tração elétrica em 3 kVcc que apresenta desafios únicos decorrentes de sua topografia acentuada. Durante os ciclos de descida, as locomotivas geram energia elétrica através do sistema de frenagem regenerativa, convertendo a energia cinética do movimento em energia elétrica.

Atualmente, essa energia não é aproveitada devido às limitações técnicas e de integração com a rede elétrica. Embora o procedimento operacional vigente assegure a segurança e estabilidade do sistema, ele resulta no desperdício de uma quantidade significativa de energia limpa, estimada preliminarmente em cerca de 1.550 kW de potência regenerável por um único trem nos períodos de descida (valor a confirmar por simulações e medições dedicadas).

Nesse contexto, o presente trabalho se configura como uma iniciativa de pesquisa aplicada e inovação tecnológica, voltada a investigar, de forma exploratória, novas alternativas técnicas para o aproveitamento da energia regenerada em sistemas ferroviários eletrificados. O foco do projeto não é a avaliação da viabilidade de um empreendimento ferroviário, mas sim o estudo conceitual e comparativo de soluções tecnológicas para captura, conversão, armazenamento, reutilização local ou injeção controlada da energia regenerada.

Por meio de estudos de engenharia, simulações elétricas, medições técnicas e análises comparativas, o projeto buscará ampliar o conhecimento técnico disponível, avaliar soluções existentes e emergentes e identificar oportunidades de inovação aplicáveis ao sistema da Cremalheira e potencialmente replicáveis a outros contextos ferroviários.

Importante destacar que o projeto não constitui obrigação contratual da MRS Logística S.A., estando enquadrado no escopo de atividades de Pesquisa e Desenvolvimento

Tecnológico (RDT), conforme previsto na Resolução nº 6.021/2023 e na Portaria ANTT nº 261/2023.

2.2. Relevância e Benefícios Esperados

- **Eficiência energética e economia operacional:** o aproveitamento da energia regenerada permitirá reduzir o consumo líquido de energia elétrica da concessionária junto à rede da CPFL, resultando em ganhos de eficiência e economia nos custos operacionais.
- **Sustentabilidade e impacto ESG:** a redução do consumo de energia representa menor emissão indireta de gases de efeito estufa, fortalecendo o compromisso da MRS e da União com as metas de descarbonização e as práticas de governança ambiental, social e corporativa (ESG).
- **Inovação e referência setorial:** trata-se de um estudo pioneiro no Brasil, com potencial de replicação em outros sistemas Cremalheira e em ferrovias eletrificadas em geral, tornando-se uma referência nacional em eficiência energética e modernização tecnológica do setor ferroviário.
- **Contribuição pública e institucional:** os resultados do projeto poderão ser transferidos à ANTT, fomentando a adoção de tecnologias mais sustentáveis e eficientes em outras concessões, com ganhos para o setor público, usuários e sociedade.

2.3. Inovação e Aderência à Resolução ANTT nº 6.021/2023

O projeto está alinhado às diretrizes e objetivos estabelecidos na Resolução ANTT nº 6.021/2023, especialmente aos Artigos 3º e 4º, que definem os princípios e finalidades dos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico.

A proposta tem como cerne a inovação tecnológica, com foco no aproveitamento da energia regenerada pelas locomotivas da Cremalheira. Essa energia, atualmente não utilizada, representa um potencial expressivo de economia e eficiência que pode ser transformado em recurso útil e sustentável, beneficiando tanto a concessionária quanto o sistema ferroviário federal e o meio ambiente.

O projeto se enquadra em três Temas Prioritários RDT, conforme descrito a seguir:

Tema nº 8 – Operação e Infraestrutura Ferroviária Sustentáveis, com foco principal na descarbonização da matriz energética, nas soluções biodegradáveis e de materiais reciclados, assim como a resiliência da infraestrutura (tema principal): por propor uma solução que reduz o consumo de energia da rede elétrica e promove o uso racional e sustentável dos recursos energéticos em sistemas ferroviários eletrificados. O reuso da energia regenerada está diretamente associado à otimização operacional e à redução de emissões de carbono, em linha com as metas de sustentabilidade e descarbonização do setor.

Tema nº 9 – Automação, Digitalização e Sistemas Inteligentes de Monitoramento e Controle (tema complementar): por envolver o desenvolvimento de sistemas inteligentes capazes de monitorar em tempo real a energia regenerada, controlar automaticamente sua destinação (injeção, armazenamento ou compensação local) e integrar as informações energéticas da locomotiva com a rede elétrica. Esses recursos de

automação e digitalização são fundamentais para garantir a segurança, confiabilidade e eficiência do reaproveitamento energético proposto.

Tema nº 10 – Modernização e Inovação Tecnológica de Sistemas de Tração Elétrica (tema complementar): porque o estudo propõe a análise e o desenvolvimento de soluções inovadoras aplicadas ao sistema de tração 3 kVcc da Cremalheira, abrangendo aspectos de engenharia elétrica, controle e integração com equipamentos de potência. A iniciativa contribui para modernizar o sistema de tração elétrica existente, permitindo sua evolução para um modelo mais eficiente, inteligente e alinhado às melhores práticas internacionais de operação ferroviária.

Dessa forma, o projeto combina eficiência energética (Tema 8), automação inteligente (Tema 9) e inovação aplicada ao sistema de tração elétrica (Tema 10), resultando em uma proposta integrada que alia sustentabilidade, tecnologia e modernização da infraestrutura ferroviária.

2.4. Limites e Caráter Inovador da Proposta

O presente projeto possui caráter inovador, exploratório e de pesquisa aplicada, não se confundindo com as obrigações regulares do contrato de concessão da MRS Logística S.A.

O escopo do trabalho está restrito ao estudo técnico-conceitual de soluções tecnológicas inovadoras para o aproveitamento da energia regenerada em sistemas de tração elétrica ferroviária, com ênfase na análise, comparação e proposição de novas alternativas de recuperação, conversão, armazenamento e uso da energia, inclusive aquelas ainda não aplicadas ao contexto nacional.

Os resultados esperados incluem modelos conceituais, diretrizes técnicas, análises comparativas e recomendações de inovação, com potencial de replicação em outros sistemas ferroviários eletrificados, assegurando a transferência integral do conhecimento à ANTT e contribuindo para o avanço tecnológico, regulatório e sustentável do setor ferroviário nacional.

2.5. Disseminação de Conhecimento

Com o objetivo de garantir a transferência e disponibilização do conhecimento técnico gerado, o projeto prevê a entrega de todos os materiais, relatórios e estudos desenvolvidos à ANTT, para que possam ser utilizados como referência e base para futuras iniciativas no setor ferroviário. Adicionalmente, poderá ser considerada, conforme a conveniência da MRS e da ANTT, a divulgação dos resultados em seminários, congressos ou fóruns técnicos, com vistas a ampliar a disseminação das boas práticas e contribuir para o aprimoramento regulatório e tecnológico do setor.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Métodos e técnicas utilizadas

O desenvolvimento do estudo adotará uma abordagem técnico-científica estruturada, combinando análises diagnósticas, modelagem computacional, medições em campo, estudos comparativos e integração conceitual. O método proposto visa garantir a

rastreabilidade dos resultados e a confiabilidade dos dados técnicos, assegurando aderência às normas e boas práticas nacionais e internacionais aplicáveis ao setor ferroviário e energético.

3.2. Etapas

3.2.1. Etapa 1 – Diagnóstico Técnico-Operacional

Objetivo: caracterizar o sistema elétrico e operacional da Serra da Cremalheira, identificando os pontos de regeneração e dissipação de energia.

Atividades:

- Levantamentos em campo para obtenção dos dados relacionados à Via permanente, Sistemas de Energia e Pátios Ferroviários de Raiz da Serra e Paranapiacaba.
- Levantamento topográfico e altimétrico da via;
- Coleta de dados operacionais (consumo, frenagem, horários de pico);

Produto: Relatório técnico de caracterização e base de modelagem.

3.2.2. Etapa 2 – Modelagem e Simulação Elétrica

Objetivo: desenvolver modelos elétricos e energéticos detalhados para simulação dos fluxos de potência e energia regenerada.

Atividades:

- Criação de modelos em software especializado;
- Simulação de ciclos diários de operação;
- Análise de perdas, eficiência e potência regenerada.

Produto: Relatório de modelagem e resultados de simulação.

3.2.3. Etapa 3 – Medições e Grandezas elétricas

Objetivo: validar os modelos por meio de medições reais em campo.

Atividades:

- Instalação de sensores e Medidores de grandezas elétrica nas subestações;
- Medição de tensões, correntes e potências em regime real;
- Correlação entre medições e simulações.

Produto: Relatório de medições e análise técnica.

3.2.4. Etapa 4 – Estudo de Tecnologias de Armazenamento e Regeneração

Objetivo: comparar alternativas tecnológicas de conversão e armazenamento da energia regenerada.

Atividades:

- Análise comparativa entre alternativas tecnológicas (baterias, supercapacitores, sistemas híbridos);
- Avaliação de manutenção, vida útil e desempenho sob regime severo de tração;
- Análise de desempenho, custos e integração;

- Definição de critérios técnicos de seleção;
- Associação dos modos de operação da Serra da Cremalheira com as possíveis alternativas tecnológicas;
- Associação dos modos de operação e alternativas tecnológicas com as cargas instaladas (consumidores da energia regenerada).

Produto: Relatório comparativo das alternativas e recomendações técnicas.

3.2.5. Etapa 5 – Análise Regulatória e Ambiental

Objetivo: Análise dos resultados regulatórios e ambientais do projeto.

Atividades:

- Estudo de enquadramento junto à ANEEL e CPFL;
- Definição das ações junto à Concessionária para viabilização da implantação das alternativas tecnológicas de regeneração;
- Avaliação de impactos ambientais e ciclo de vida;

Produto: Relatório regulatório e ambiental.

3.2.6. Etapa 6 – Projeto Conceitual e Integração

Objetivo: elaborar o projeto conceitual do sistema regenerativo e suas interfaces elétricas.

Atividades:

- Desenvolvimento de diagramas unifilares e fluxogramas funcionais;
- Definição de infraestrutura e adequações necessárias;
- Coordenação de proteção e integração com subestações.
- Definição dos locais para a instalação das possíveis alternativas tecnológicas de regeneração;
- Definição das adequações e infraestrutura necessárias para as alternativas tecnológicas de regeneração em ambas as subestações.

Produto: Projeto conceitual, diagramas e documentação técnica pertinente.

3.2.7. Etapa 7 – Consolidação dos Resultados, Diretrizes Regulatórias e Relatório Final

Objetivo: Consolidar os resultados técnicos, analíticos e conceituais obtidos ao longo do projeto, estruturando-os em um relatório final de caráter técnico-científico, com foco na geração de conhecimento aplicado, na avaliação de soluções inovadoras de aproveitamento energético ferroviário e na proposição de diretrizes regulatórias.

- Integração e consolidação dos resultados técnicos, energéticos, tecnológicos e regulatórios, com conclusões fundamentadas nos estudos realizados;
- Elaboração de roadmap tecnológico orientativo, indicando caminhos potenciais para evolução, pesquisa adicional e eventual futura implantação de soluções de recuperação de energia;
- Realização de visita técnica final para validação e apresentação dos resultados.

Produto: Relatório Final Técnico-Conceitual e Proposta Normativa para Aproveitamento Energético em Ferrovias

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

4.1. Previsão de Início e Tempo de Execução

O projeto tem previsão de início em 02/03/2026, com prazo total estimado de 11 (onze) meses para execução integral das atividades previstas nas sete etapas técnicas e fases complementares descritas neste Plano de Trabalho.

O projeto abará os anos 4 e 5 da Concessão.

4.2. Custo Total

O custo global do projeto é de R\$ R\$ 2.696.880,00 (dois milhões, seiscentos e noventa e seis mil, oitocentos e oitenta reais), abrangendo serviços técnicos especializados, medições em campo, simulações elétricas, análises regulatórias e ambientais, elaboração de estudos, Projeto Conceitual e relatórios técnicos conclusivos.

4.3. Cronograma Físico-Financeiro

O cronograma físico-financeiro será apresentado no Anexo II e o orçamento analítico previsto no Anexo VI.

Os valores dos produtos estão cotados por item de serviço, estão descritos nas atividades do plano de trabalho e detalhados na seção “3.2. Etapas” deste documento.

A tabela abaixo apresenta as etapas do projeto com os valores estimados para cada um dos objetivos:

ITEM	DESCRIÇÃO	CUSTO TOTAL (R\$)
1	Etapa 1 - Diagnóstico Técnico-Operacional	
1.1	Levantamentos de campo, inspeções, topografia, coleta de dados operacionais	
1.1.1	Serviços	384.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 1	384.000,00
2	Etapa 2 - Modelagem e Simulação Elétrica	
2.1	Desenvolvimento de modelos elétricos e energéticos e simulações operacionais	
2.1.1	Serviços	480.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 2	480.000,00
3	Etapa 3 - Medições e Grandezas elétricas	
3.1	Instalação de sensores, medições em campo, validação dos modelos	
3.1.1	Serviços	312.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 3	312.000,00
4	Etapa 4 - Estudo de Tecnologias de Armazenamento e Regeneração	
4.1	Comparativo técnico-econômico de alternativas (BESS, supercapacitores etc.)	
4.1.1	Serviços	384.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 4	384.000,00
5	Etapa 5 - Análise Regulatória e Ambiental	
6.1	Enquadramento junto à ANEEL e CPFL, impactos ambientais e licenças	
6.1.1	Serviços	240.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 5	240.000,00
6	Etapa 6 - Projeto Conceitual e Integração	
5.1	Elaboração de unifilares, fluxogramas, definição de interfaces e infraestrutura	
5.1.1	Serviços	336.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 6	336.000,00
7	Etapa 7 - Consolidação dos Resultados, Diretrizes Regulatórias e Relatório Final	
7.1	Integração e consolidação dos resultados técnicos, energéticos, tecnológicos e regulatórios, roadmap e apresentação final	
7.1.1	Serviços	264.000,00
	SUBTOTAL: Etapa 7	264.000,00
8	Reserva Técnica	
8.1	Reserva Técnica	120.000,00
	SUBTOTAL: Reserva Técnica	120.000,00
9	Custos Administrativos	
9.1	Custos Administrativos	176.880,00
	SUBTOTAL: Custos Administrativos	176.880,00
	TOTAL DO PROJETO	2.696.880,00

Esse valor será alocado da forma descrita abaixo, considerando os valores dos anos 1, 2 e 3 da Concessão, não utilizados anteriormente:

Cronograma físico financeiro	Ano Concessão	Valor	Ano Recurso	Ano dispêndio
Mar 26 a Jul 26	4	1.303.845,60	1	4
Mar 26 a Jul 26	5	1.393.034,40	5	5
Ago 26 a Jul 27	6	0,00		
Ago 27 a Jul 28	7	0,00		

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

O projeto será conduzido de forma predominantemente remota, com a coordenação de engenharia e integração técnica sob responsabilidade da SNEF, sediada em São Paulo/SP. As atividades de simulação e modelagem elétrica serão desenvolvidas com o apoio da Radani Engenharia, também localizada em São Paulo/SP, e com consultoria técnica remota da Secherón, empresa sediada na Suíça, reconhecida por sua expertise em sistemas de regeneração ferroviária. A MRS Logística S.A., com sede em Juiz de Fora/MG, atuará como responsável geral pelo projeto, assegurando a supervisão e o alinhamento técnico entre as partes envolvidas.

As reuniões de acompanhamento e integração serão realizadas por videoconferência, de modo a garantir a coordenação contínua e eficiente entre as equipes técnicas participantes. As atividades de campo ocorrerão no trecho da Serra do Mar, compreendido entre os pátios ferroviários de Raiz da Serra (Cubatão/SP) e Paranapiacaba (Santo André/SP), correspondente ao sistema Cremalheira. Essas atividades terão como foco a coleta de dados técnicos, medições elétricas e validação de parâmetros operacionais, necessários ao desenvolvimento dos estudos de engenharia.

A realização de apresentações de resultados, reuniões presenciais e demais eventos técnicos ocorrerá conforme a agenda e conveniência da MRS, podendo ser promovida em locais previamente definidos de comum acordo entre as equipes envolvidas, assegurando a adequada disseminação dos resultados e a integração técnica entre os participantes do projeto.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação da entidade

A SNEF Energia e Telecomunicações Ltda., integrante do Grupo SNEF, é uma empresa de engenharia com mais de um século de experiência global e presença consolidada no Brasil há mais de 15 anos.

A SNEF Brasil faz parte do “Groupe SNEF” de origem Francesa com sede na Cidade de Marseille. O “Groupe SNEF” possui 120 anos e possui atividades em países na África, Estados Unidos, Europa e Ásia. O Faturamento anual do Grupo atingiu em 2024 mais de 2 Bilhões de Euros entre todas as suas marcas.

O grupo atua nos setores de energia, transporte, automação, telecomunicações e infraestrutura industrial, com competência reconhecida na integração de sistemas complexos em regime EPC (Engineering, Procurement and Construction).

No país, a SNEF é responsável por projetos de grande porte envolvendo subestações primárias e retificadoras, sistemas de tração elétrica, automação SCADA, sistemas auxiliares CA/CC, e infraestruturas de telecomunicações e controle operacional para metrô, ferrovias, portos e indústrias.

A empresa adota metodologias baseadas em BIM (Building Information Modeling) e práticas de gestão de projetos alinhadas ao PMBOK/PMI, garantindo rastreabilidade técnica, padronização documental e interoperabilidade entre disciplinas elétricas, mecânicas e de automação.

Todos os projetos são desenvolvidos em conformidade com as normas ABNT, IEC, IEEE e NFPA, com foco em confiabilidade, continuidade de serviço e segurança operacional.

6.1.1. Experiência Técnica em Sistemas de Energia e Tração

Metrô de Belo Horizonte – Linha 1

A SNEF é responsável pela revitalização e repotenciamento do Sistema de Energia da Linha 1 do Metrô de Belo Horizonte, abrangendo as etapas de projeto, fornecimento, instalação, comissionamento e start-up de quatro Subestações Primárias (A, B, C e F).

Cada subestação é composta por bays de 138 kV, grupos retificadores de 3 MVA / 3 kVcc, sistemas auxiliares de 6,6 kV e 300 kVA, além de painéis de baixa tensão, controle e UPS.

O contrato inclui ainda:

- Revitalização das Cabines de Seccionamento 1, 2 e 3;
- Substituição dos painéis de distribuição 220 Vca em 19 estações;
- Instalação de geradores de emergência;
- Migração de alimentação para média tensão (13,8 kV) em diversas estações, com integração total ao sistema elétrico da CEMIG.

As atividades englobam validação do projeto básico, elaboração dos projetos executivo e “as built”, fornecimentos, montagem, ensaios, comissionamento e operação assistida. O escopo reforça a capacidade da SNEF em entregar sistemas de tração e energia com elevado desempenho, alta disponibilidade e confiabilidade operacional.

Metrô de São Paulo – Linha 15-Prata (Trecho São Lucas – Jardim Colonial)

A SNEF executou o projeto e implantação integral do Sistema de Energia de Tração e Alimentação Auxiliar do trecho São Lucas – Jardim Colonial da Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo.

O escopo incluiu a implantação das Subestações Primárias Iguatemi e São Lucas, sendo uma delas em tecnologia GIS (Gas Insulated Switchgear) de 138 kV, garantindo maior compacidade, confiabilidade e segurança operacional.

O sistema de tração é composto por barras de 138 kV, transformadores de potência e grupos retificadores de 3 MVA – 3 kVcc, além de cubículos de média tensão (6,6 kV e 13,8 kV) para o suprimento dos circuitos auxiliares de ventilação, bombeamento, climatização e iluminação técnica.

Foram implantadas cabines de seccionamento em corrente contínua (CS1, CS2 e CS3), equipadas com disjuntores 3 kVcc de alta capacidade, centros de equipotencialização (CEP) e sistemas de telecomando e supervisão via rede óptica, integrados ao Centro de Controle Operacional (CCO).

O projeto contemplou ainda sistemas auxiliares, painéis CA/CC, UPS e geradores, todos integrados por uma arquitetura SCADA redundante, assegurando telecomando, supervisão e proteção centralizada, com plena interoperabilidade entre os sistemas de tração, auxiliares e controle.

Essa realização evidencia a expertise da SNEF na implantação de sistemas de energia de tração 3 kVcc e na integração eletromecânica de alta complexidade, sob rígidos padrões de desempenho e confiabilidade exigidos pelo Metrô de São Paulo.

Metrô de São Paulo – Linha 4-Amarela (Fase II e Sistema de Transmissão de Dados)

A SNEF participou do projeto, fornecimento e instalação dos sistemas de telecomunicações e automação das estações Higienópolis-Mackenzie, Oscar Freire, São Paulo-Morumbi e Pátio Vila Sônia, abrangendo os seguintes subsistemas.

- SCF – Comunicação Fixa;
- SMM – Multimídia;
- SME – Monitoração Eletrônica;
- SCL – Controle Local;
- DI – Detecção e Alarme de Incêndio;
- STD – Transmissão de Dados.

O projeto foi desenvolvido com arquitetura em fibra óptica redundante e automação distribuída, garantindo comunicação e controle integrados entre energia, tração e telecomunicações.

Essa experiência reforça a competência da SNEF em sistemas metroviários inteligentes e interoperáveis, capazes de assegurar alta disponibilidade operacional e segurança funcional em ambientes de transporte de massa.

6.1.2. Síntese Técnica e Capacidade Instalada

A SNEF, através do Grupo SNEF (Holding), possui no Brasil escritórios em São Paulo Capital, Rio Claro, Paulínia, Canoas e Rio de Janeiro, tendo sua Sede na cidade de Belo Horizonte.

São mais de 500 colaboradores com maior operação atualmente na Cidade de São Paulo. A empresa possui uma cultura de primarização, ou seja, possui corpo de engenharia próprio e realiza mobilizações para atividades de campo. Em São Paulo, assim como nos principais canteiros de obras de longo prazo, possui centros logísticos para armazenagem de equipamentos, materiais, EPIs, ferramentas/instrumentos especiais e veículos. Atualmente a empresa conta com veículo rodo-ferroviário além de 4 caminhões Munck, 01 VUC e diversos veículos de apoio.

Mantemos em nossa engenharia licenças de Softwares específicos para Estudos Elétricos, instrumentos diversos para análise de circuitos em campo, Modelagem BIM, programação, gestão de documentação em um processo contínuo de digitalização e tecnologia da informação.

6.2. Identificação da equipe executora

6.2.1. Identificação da Equipe Executora do Projeto

Cristiano Alves de Oliveira – CPF = 142.966.778-88

Diretor de Infraestrutura – SNEF Energia e Telecomunicações Ltda.
Formação: Eletrotécnico e Engenheiro Eletricista; MBA em Gestão de Empresas.

Mais de 30 anos de experiência em energia, automação e transporte, com passagem por Siemens, Alstom, Indra, Telefônica e SNEF. Diretor Executivo responsável pelos negócios da marca SNEF no Brasil com foco nos segmentos de Energia e Infraestrutura, sendo responsável por projetos de subestações 138 kV, retificadoras 3 kVcc, SCADA e Sistemas de Telecomunicações em empreendimentos como Metrô SP (Linhas 1,2,3,4, 5 e 15), Motiva, VLT Carioca e MRS Logística.

Vitor de Proença – CPF = 324.098.958-16

Gerente de Engenharia / Gerente de Projetos – SNEF Energia e Telecomunicações Ltda.
Formação: Engenheiro Eletricista; Técnico em Telecomunicações.

Profissional com mais de 20 anos de experiência em engenharia e gestão de projetos EPC. Coordenou a implantação dos sistemas de energia da Linha 15-Prata do Metrô de São Paulo, incluindo duas Subestações Primárias (uma GIS e uma convencional), nove retificadoras 750 Vcc, subestações 22 kV, e sistemas auxiliares CA/CC. Atuou também em projetos da Linha 4-Amarela, Linha 5-Lilás, MRS Logística e CCR ViaMobilidade, destacando-se pela integração entre engenharia, suprimentos e comissionamento.

Luiz André de Moraes – CPF = 325.723.998-06

Engenheiro Eletricista – SNEF Energia e Telecomunicações Ltda.
Formação: Engenheiro Eletricista; Mestrando em Sistemas de Potência – USP.

Especialista em estudos elétricos de potência, atuando em análises de harmônicas, curto-circuito, seletividade, fluxo de potência e qualidade de energia. Desenvolve pesquisa de mestrado em parceria com o Metrô-SP e a USP, sobre efeitos capacitivos de cabos de média tensão na Linha 15-Prata, aplicando conhecimento avançado em modelagem e controle de sistemas elétricos.

Felipe de Omeqlian Moreira – CPF = 384.533.028-71

Coordenador de Engenharia Elétrica – SNEF Energia e Telecomunicações Ltda.
Formação: Engenheiro Eletricista; Técnico em Automação Industrial (SENAI) e MBA em Gestão com ênfase em Gerenciamento de Projetos (FGV).

Engenheiro com experiência em projetos de tração e energia metroferroviária, atuando na Linha 4-Amarela, Linha 15-Prata, Metro de BH L1. Responsável técnico por sistemas de 138kV, 22 kV, 3Kvcc, 1,5kVcc e 750Vcc, 460 Vca e 125 Vcc, catenária rígida, painéis BT e CCMs, bem como pela integração SCADA e automação de sistemas de energia e proteção.

Paulo Roberto Fernandes Barreira – CPF = 083.962.188-46

Consultor Técnico – Radani Eletrônica e Automação Ltda. (Parceiro Técnico SNEF)
Formação: Engenheiro Eletricista – FEI.

Profissional com mais de 35 anos em automação, proteção e telecontrole de subestações. Especialista em retificadores industriais, controle de máquinas CA/CC e sistemas de

tração 3 kVcc, atuando como consultor técnico em projetos de proteção e supervisão de subestações 138 kV e 3 kVcc.

Marcelo Reginaldo Nogueira – CPF = 146.124.818-36

Engenheiro de Projetos – Radani Eletrônica e Automação Ltda. (Parceira Técnica SNEF)
Formação: Engenheiro Eletricista – Politécnica de Jundiaí.

Mais de 25 anos de experiência em projetos e dimensionamento de subestações até 245 kV e cubículos de média tensão. Atua em planejamento, retrofit e estudos de proteção elétrica, contribuindo para projetos de subestações 138/3 kVcc e tração da SNEF.

6.3. Identificação da Equipe da Concessionária

Luís Felipe Masini Sampaio – CPF: 013.372.456-58

Gerente Geral de Engenharia de Expansão e Implantação de Eletroeletrônica

Conrado Nunes – CPF: 061.394.979-06

Gerente de Engenharia e Projetos de Eletroeletrônica.

Flávia Silva Soares – CPF: 737.404.626-04

Coordenadora Engenharia e Projetos de Eletroeletrônica

Vinícius Rodrigues da Silva – CPF: 097.751.056-50

Engenheiro Eletricista - Especialista de Manutenção Ferroviária III

A MRS Logística S.A., concessionária responsável pela infraestrutura ferroviária onde o estudo será aplicado, atuará como entidade demandante e supervisora técnica do projeto, acompanhando as etapas de desenvolvimento, validação de resultados e avaliação de viabilidade.

7. PRODUTOS

Os produtos a serem gerados ao longo da execução do estudo correspondem aos resultados diretos das etapas técnicas e têm como objetivo consolidar o conhecimento obtido, subsidiar a tomada de decisão e permitir a replicabilidade dos resultados em outros sistemas ferroviários.

7.1. Produto 1 - Relatório Técnico de Caracterização e Base de Modelagem

Origem: Etapa 1 - Diagnóstico Técnico-Operacional

Descrição: Documento técnico contendo o levantamento detalhado do sistema elétrico e operacional da Serra da Cremalheira, incluindo perfil altimétrico, topografia, dados de consumo, operação, e análise das subestações de Raiz da Serra e Paranapiacaba.

Benefícios: Fornece a base de dados e os parâmetros fundamentais para a modelagem e simulação, assegurando representatividade técnica e precisão dos estudos subsequentes.

7.2. Produto 2 - Relatório de Modelagem e Resultados de Simulação

Origem: Etapa 2 - Modelagem e Simulação Elétrica

Descrição: Relatório contendo os modelos elétricos e energéticos desenvolvidos em software especializado, bem como os resultados das simulações de fluxo de potência, regeneração e eficiência energética.

Benefícios: Permite a análise quantitativa do potencial regenerativo e subsidia a seleção de alternativas tecnológicas e regulatórias.

7.3. Produto 3 - Relatório de Medições e Análise Técnica

Origem: Etapa 3 - Medições de Grandezas Elétricas

Descrição: Documento técnico contendo os registros de medições reais realizadas nas subestações de tração, incluindo tensões, correntes e potências, com correlação entre resultados simulados e dados observados.

Benefícios: Valida os modelos computacionais e garante a confiabilidade dos resultados de simulação, consolidando a base empírica do estudo.

7.4. Produto 4 - Relatório Comparativo das Alternativas e Recomendações Técnicas

Origem: Etapa 4 - Estudo de Tecnologias de Armazenamento e Regeneração

Descrição: Relatório de análise comparativa entre diferentes soluções tecnológicas de regeneração e armazenamento de energia, considerando desempenho, custo, manutenção e integração.

Benefícios: Subsidia a escolha da alternativa tecnicamente mais adequada e economicamente viável, de acordo com os critérios técnicos e operacionais aplicáveis ao sistema Cremalheira.

7.5. Produto 5 - Relatório Regulatório e Ambiental

Origem: Etapa 5 - Análise Regulatória e Ambiental

Descrição: Documento de avaliação regulatória e ambiental, abordando o enquadramento técnico e jurídico junto à ANEEL e CPFL, bem como a análise de impactos ambientais e de ciclo de vida das alternativas estudadas.

Benefícios: Garante a conformidade regulatória e ambiental das soluções propostas, facilitando a futura implantação do sistema regenerativo.

7.6. Produto 6 - Projeto Conceitual e Documentação Técnica

Origem: Etapa 6 - Projeto Conceitual e Integração

Descrição: Conjunto de documentos técnicos contendo diagramas unifilares, fluxogramas funcionais, definição de interfaces elétricas, especificações técnicas e requisitos de infraestrutura para as alternativas tecnológicas estudadas.

Benefícios: Representa o principal produto de engenharia do estudo, consolidando o conhecimento técnico necessário à implantação e replicação do sistema regenerativo em outros trechos ferroviários.

Produto 7 - Relatório Final Técnico-Conceitual e Proposta Normativa para Aproveitamento Energético em Ferrovias

Origem: Etapa 7 – Consolidação dos Resultados, Diretrizes Regulatórias e Relatório Final

Descrição: Documento final que consolida os resultados do projeto, com foco em pesquisa aplicada e inovação tecnológica voltadas ao aproveitamento da energia regenerada em ferrovias. O produto contempla a minuta de proposta normativa de caráter técnico, destinada à eventual criação de novo normativo ou à revisão técnica de normativo existente, bem como diretrizes técnicas para integração com sistemas de tração elétrica e um roadmap tecnológico orientativo.

Benefícios: Consolida e organiza o conhecimento técnico pelo projeto, fornecendo à ANTT subsídios técnicos qualificados para análise e eventual aprimoramento do tratamento regulatório do aproveitamento energético em ferrovias. O produto contribui para a disseminação de boas práticas técnicas, e o desenvolvimento de futuras iniciativas de inovação, eficiência energética e sustentabilidade no setor ferroviário Nacional.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Resolução nº 6.021, de 13 de novembro de 2023. Dispõe sobre a aplicação dos Recursos de Desenvolvimento Tecnológico (RDT) pelas concessionárias de ferrovias federais;

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Portaria nº 17, de 3 de abril de 2023. Estabelece os procedimentos para apresentação, execução e acompanhamento de projetos RDT;

AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES (ANTT). Deliberação nº 169, de 10 de abril de 2024. Define os Temas Prioritários de Pesquisa e Desenvolvimento (RDT) aplicáveis ao setor ferroviário;

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 482, de 17 de abril de 2012, e atualizações. Estabelece as condições gerais para o acesso de micro e minigeração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica;

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Resolução Normativa nº 1.000, de 7 de dezembro de 2021. Consolida as regras do serviço público de distribuição de energia elétrica;

BRASIL. Lei nº 9.991, de 24 de julho de 2000. Dispõe sobre investimentos em pesquisa e desenvolvimento no setor de energia elétrica;

[1] PIRES, C. L.; “Simulação do sistema de tração elétrica metro-ferroviária”, Tese de Doutorado

– Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

[2] PIRES, C. L.; “Engenharia Elétrica Ferroviária e Metroviária – Do Trólebus ao Trem de Alta Velocidade”, LTC, 2013.

[3] DAVIS JR., W. J.; “The tractive resistance of electric locomotive and cars”, General Electric

Review, v.29, n.10, p. 685-707, 1926.

[4] JONG J. C., CHANG E. F.; “Models for Estimating Energy Consumption of Electric Trains”,

Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 278 - 291, 2005.

[5] KALLER, R., ALLENBACH, J. M.; “Traction Électrique”, Presses Universitaires Romandes, 1995.

Normas Técnicas Brasileiras (ABNT)

- **ABNT NBR 14039:2021** – Instalações elétricas de média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
- **ABNT NBR 5410:2004** – Instalações elétricas de baixa tensão;
- **ABNT NBR 5419:2015** – Proteção contra descargas atmosféricas;
- **ABNT NBR 15751:2022** – Sistemas de tração elétrica – Especificação de desempenho e requisitos gerais;
- **ABNT NBR IEC 61850:2019** – Sistemas e comunicação para subestações elétricas e automação;
- **ABNT NBR ISO 50001:2018** – Sistemas de gestão de energia – Requisitos com orientações para uso;
- **ABNT NBR ISO 14001:2015** – Sistemas de gestão ambiental – Requisitos e orientações para uso;

Normas e Referências Internacionais

- **IEC 60349-2:2010** – Electric traction – Rotating electrical machines for rail and road vehicles – Part 2: Electronic converter-fed alternating current motors;
- **IEC 62864-1:2021** – Railway applications – Energy recuperation systems for rolling stock – Part 1: General requirements;
- **IEEE 1531:2020** – Guide for Application and Specification of Capacitor Energy Storage Systems for Power Systems;
- **IEEE 519:2014** – Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems.

9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

Deverão ser apensados os anexos listados a seguir, e outros que se fizerem necessários:

I - Resumo do Plano de Trabalho;

II - Cronograma físico-financeiro do projeto;

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

IV - Cotações comerciais;

V - Qualificação Técnica da Equipe e Empresa Executora

VI - Orçamento analítico previsto;

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

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