

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres
RDT – Recurso de Desenvolvimento Tecnológico

PLANO DE TRABALHO

**RAILGUARD – PROJETO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NAS
PASSAGENS DE NÍVEL**

**TEMA PRIORITÁRIO: PESQUISAS E DESENVOLVIMENTO DE SOLUÇÕES
PARA AUMENTO DA SEGURANÇA FERROVIÁRIA, COM FOCO
PRINCIPAL EM PASSAGENS DE NÍVEL E LOCAIS CRÍTICOS.**

VALE S/A – Estrada de Ferro Vitória a Minas
15/10/2025

SUMÁRIO

1.	DESCRIÇÃO DO PROJETO	3
1.1.	Título do Projeto.....	3
1.1.1.	Linha de inovação e desenvolvimento	3
1.1.2.	Temas	3
1.2.	Objetivos	3
1.2.1.	Objetivo Geral	3
1.2.2.	Objetivos Específicos.....	4
2.	JUSTIFICATIVA.....	5
3.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....	7
3.1.	Métodos e técnicas utilizadas	7
3.2.	Etapas.....	9
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	19
7.	PRODUTOS	20
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS	20
9.	ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO.....	22

1. DESCRIÇÃO DO PROJETO

1.1. Título do Projeto

RailGuard – Projeto de Inteligência Artificial nas Passagens de Nível

1.1.1. Linha de inovação e desenvolvimento

Em consonância com a Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, este projeto se enquadra prioritariamente na diretriz descrita nos incisos II e VIII do artigo 3º, II - melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, inclusive relacionada aos atributos de regularidade, continuidade, eficiência, segurança, atualidade, generalidade, cortesia na sua prestação e modicidade das tarifas e VIII - desenvolvimento e estabelecimento de centros de controle operacionais, de monitoramento e acompanhamento de atividades ferroviárias em tempo real pela ANTT e demais vinculadas ao Ministério dos Transportes.

Também em consonância com a Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, artigo 4º, este projeto possui como objetivo a inovação no desenvolvimento de II - tecnologia básica e aplicada, I - métodos e técnicas construtivas; IV - soluções de acompanhamento e monitoramento de atividades ferroviárias em tempo real, bem como de aprimoramento da fiscalização pública.

1.1.2. Temas

- Monitoramento Inteligente com Câmeras e IA para Detecção de Comportamentos de Risco;
- IA para Prevenção de Atropelamento de Animais em Trilhos;
- IA para Prevenção de Atropelamento de Pessoas em Trilhos e
- IA para Classificação de Risco em Passagens de Nível.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

O projeto tem como principal objetivo realizar a identificação e o mapeamento de pessoas, animais e veículos que estejam em áreas próximas à via férrea, incluindo regiões conhecidas como "ilhas" nas passagens em nível, bem como em outras situações que representem risco potencial à operação ferroviária. Essa detecção será feita por meio da

análise inteligente de imagens captadas por câmeras estrategicamente instaladas ao longo da linha férrea.

A iniciativa visa aprimorar significativamente a segurança operacional, permitindo uma resposta mais rápida e eficaz a possíveis ameaças ou interferências na via. Além disso, busca aumentar a percepção situacional dos operadores e equipes de monitoramento, contribuindo para a prevenção de acidentes e para a proteção da integridade física de pessoas e animais, bem como da infraestrutura ferroviária.

Ao integrar tecnologias de visão computacional e análise de vídeo em tempo real, o projeto também promove avanços na automação dos processos de vigilância, reduzindo a dependência de inspeções locais e ampliando a cobertura de monitoramento em pontos críticos da malha ferroviária.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desenvolver modelo de IA para evitar acidentes;
- Detecção de animais;
- Detecção de câmeras com problemas de imagens (sujeira, obstáculos e danificadas);
- Detecção de vegetação obstruindo a imagem da câmera;
- Detecção de trem parado obstruindo a PN por um tempo determinado;
- Detecção de pessoas próximas as linhas;
- Detecção de automóveis próximos as linhas;
- Detecção de construções no perímetro;
- Submeter e publicar os resultados dos trabalhos de pesquisa em congressos da área e em revistas de divulgação, na forma de artigos científicos e tecnológicos;
- Geração de alertas para o Centro de Controle nas seguintes situações:
 - Catraca levantada da passagem de nível, tendo um objeto parado sob a via por um tempo determinado.
 - Objeto parado na PN com a catraca levantada e trem a distância / tempo determinados.
 - Objeto parado na PN por determinado tempo e trem a distância / tempo determinados.

2. JUSTIFICATIVA

As passagens de nível (PNs) ferroviárias atualmente registram um fluxo intenso de pessoas e veículos — incluindo carros, motos e pedestres — que atravessam diariamente as linhas férreas. Em alguns pontos, esse número chega a milhares de transições por dia. Diante desse cenário, as PNs são consideradas pontos críticos de segurança e há a necessidade de aprimorar o monitoramento e controle nesses locais.

O projeto RailGuard possui como potencial benefício a redução do risco de acidentes, por meio da geração de alertas automáticos para o Centro de Controle Operacional (CCO) que possibilitarão agir preventivamente, evitando colisões e protegendo vidas.

O enquadramento deste projeto nas diretrizes da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, justifica-se pela natureza tecnológica e operacional da iniciativa, voltada à elevação dos padrões de segurança, eficiência e inovação no setor ferroviário.

A diretriz prevista no inciso II do artigo 3º — que trata da melhoria da qualidade dos serviços objeto de concessão ferroviária federal, com foco em atributos como regularidade, continuidade, eficiência e segurança — é atendida de forma direta, uma vez que o projeto propõe o uso de inteligência artificial e visão computacional para identificar, em tempo real, a presença de pessoas, animais e veículos em áreas de risco próximas à via férrea. Essa capacidade tecnológica reduz significativamente o tempo de resposta a ocorrências e aumenta a segurança operacional, resultando em serviços ferroviários mais seguros, regulares e eficientes.

A detecção automática de situações de risco e geração de alertas em tempo real, proporciona redução de incidentes, aprimoramento da continuidade do serviço e maior eficiência operacional, traduzindo-se em melhoria tangível da qualidade dos serviços prestados.

De forma complementar, o projeto também se alinha à diretriz do inciso VIII do artigo 3º, que incentiva o desenvolvimento e o estabelecimento de centros de controle operacionais e sistemas de monitoramento em tempo real. O sistema proposto integra dados de múltiplas fontes, como câmeras, algoritmos de análise de vídeo e uma arquitetura de comunicação inteligente, criando uma infraestrutura digital capaz de apoiar os centros de controle ferroviários e os órgãos de fiscalização, como a ANTT, no acompanhamento contínuo da operação. O projeto amplia a capacidade de vigilância,

coordenação e resposta, fortalecendo os mecanismos de controle e fiscalização das operações.

Em relação ao artigo 4º da Resolução, o projeto se enquadra nas diretrizes dos incisos I, II e IV, por abordar o desenvolvimento de métodos e técnicas construtivas inovadoras, o avanço de tecnologias básicas e aplicadas de visão computacional e inteligência artificial e a implementação de soluções de acompanhamento e monitoramento de atividades ferroviárias em tempo real. A combinação entre algoritmos de aprendizado de máquina, câmeras e infraestrutura de dados demonstra um esforço de pesquisa, desenvolvimento e inovação (PD&I) voltado à criação de uma tecnologia aplicável em diferentes contextos da malha ferroviária.

O presente projeto foi elaborado em conformidade com o disposto no inciso I do artigo 8º da Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023, não se destinando ao cumprimento de obrigações contratuais regulares atribuídas à concessionária. Trata-se de uma iniciativa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PD&I) conduzida internamente pela Vale, sem a aquisição ou negociação de softwares de terceiros, voltada ao desenvolvimento interno de tecnologias aplicáveis ao monitoramento e à segurança operacional ferroviária.

O projeto tem como propósito o estudo, a concepção e a implementação de soluções inovadoras baseadas em inteligência artificial e visão computacional, destinadas à detecção automatizada de situações de risco nas vias férreas e ao aprimoramento da resposta operacional em tempo real. Tais soluções não correspondem a obrigações de manutenção, operação ou investimentos contratuais, mas sim a ações de caráter tecnológico e experimental, voltadas à geração de conhecimento e à evolução das práticas de segurança e eficiência no setor ferroviário, com benefícios para as concessionárias e sociedade em geral.

Com isso, o projeto busca fortalecer a base tecnológica e científica da operação ferroviária, gerando avanços que poderão subsidiar futuras melhorias de gestão, operação e fiscalização. Além de contribuir para o posicionamento estratégico e competitivo do setor logístico ferroviário, os resultados esperados promovem benefícios de interesse público, alinhados à modernização, sustentabilidade e segurança das ferrovias brasileiras.

O projeto promove o avanço tecnológico do setor ferroviário, com ganhos mensuráveis em automação, eficiência e segurança, em conformidade com os objetivos de pesquisa,

desenvolvimento e inovação estabelecidos pela Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023.

Dessa forma, fica evidenciado que o presente projeto não se confunde com obrigações contratuais previstas na concessão ferroviária, mas configura-se como uma ação voluntária de PD&I, em conformidade com as diretrizes da Resolução nº 6.021/2023 e com os objetivos de fomento à inovação tecnológica no setor ferroviário nacional.

Participação em Eventos e Congressos

Por se tratar de um projeto inovador, está prevista a participação em eventos e congressos para a divulgação do trabalho realizado no projeto, com a proposição de artigos científicos e tecnológicos. Como as chamadas para os eventos são feitas entre seis meses e um ano antes da sua realização, ainda não é possível definir com absoluta certeza em quais eventos a equipe participará, uma vez que serão os congressos para os quais os trabalhos científicos forem aceitos. Entretanto, desde já, foram selecionados os seguintes eventos:

- Encontro Nacional de Automação (ENA): é considerado o maior do país voltado para automação industrial.
- Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET): é o principal evento científico da área de transportes no Brasil. Realizado anualmente, reúne pesquisadores, professores, estudantes e profissionais para discutir os avanços e desafios do setor.

3. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

3.1. Métodos e técnicas utilizadas

O presente projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema inteligente de detecção e monitoramento automático de situações de risco nas passagens em nível e trechos ferroviários, utilizando tecnologias de visão computacional e inteligência artificial. O desenvolvimento será realizado integralmente no ambiente interno da Vale, sem aquisição de softwares proprietários, utilizando ferramentas open source e infraestrutura tecnológica própria.

I. Desenvolvimento Tecnológico e Metodologia

O projeto será conduzido por meio das seguintes etapas técnicas:

- Treinamento e desenvolvimento de modelos de detecção utilizando a tecnologia YOLO (You Only Look Once), uma rede neural convolucional de código aberto amplamente utilizada em aplicações de visão computacional em tempo real.
- Execução de simulações e testes controlados em ambiente interno, com uso de máquinas virtuais corporativas configuradas para treinamento e validação dos modelos. O ambiente de programação adotado será o Visual Studio Code, integrado a bibliotecas de IA (PyTorch, OpenCV, Roboflow, etc.).
- Implantação de ambiente de testes físicos utilizando dispositivos Jetson Nano, que permitirão validar o desempenho dos modelos em tempo real, simulando condições reais de operação ferroviária.
- Integração com o sistema de VMS (Video Management System) já utilizado pela ferrovia, possibilitando a emissão automática de alertas operacionais em caso de detecção de eventos críticos, e o registro desses eventos para posterior análise de desempenho do modelo.
- Integração com o sistema de automação ferroviária, permitindo correlacionar as ocorrências detectadas com a posição do trem, o que possibilitará ações preventivas e evitará acidentes.

II. Desenvolvimento dos Modelos

Serão desenvolvidos modelos específicos de detecção com base em imagens captadas pelas câmeras instaladas ao longo da via férrea, abrangendo os seguintes cenários:

- Detecção de animais próximos à linha férrea;
- Detecção de câmeras com problemas de imagem (sujeira, obstruções ou danos);
- Detecção de vegetação obstruindo o campo de visão das câmeras;
- Detecção de trens parados obstruindo passagens em nível (PN) por tempo superior a 10 minutos;
- Detecção de pessoas em áreas de risco próximas às linhas férreas;
- Detecção de automóveis próximos às passagens em nível.
- Cada modelo será treinado com conjuntos de imagens específicos, obtidos a partir do acervo interno de vídeo da ferrovia, respeitando critérios de qualidade, diversidade de cenário e representatividade operacional.

III. Procedimentos Técnicos e Parâmetros

- Os parâmetros técnicos a serem utilizados incluem:
- Taxa mínima de precisão esperada (Precision): $\geq 75\%$;
- Taxa mínima de sensibilidade (Recall): $\geq 80\%$;
- Tempo de inferência máximo: ≤ 100 ms por frame (para operação em tempo real);
- Resolução padrão de entrada: 640x640 pixels;
- Arquitetura de rede YOLO.
- Os modelos serão submetidos a ensaios de validação com métricas padronizadas (mAP, F1-score, precisão e recall), a fim de garantir a robustez e a confiabilidade dos resultados em ambiente real.

IV. Recursos, Equipamentos e Softwares

- Softwares e Frameworks: YOLO (open source), Visual Studio Code, Roboflow, PyTorch, OpenCV.
- Equipamentos de Desenvolvimento: máquinas virtuais internas para treinamento e processamento inicial.
- Equipamentos de Teste: kits Jetson Nano para validação em campo e simulações locais.
- Ambiente de Produção: servidor HPE com GPU dedicada, que permitirá o processamento simultâneo de múltiplos fluxos de vídeo em tempo real.
- Sistemas Integrados: VMS (Video Management System) corporativo e sistema de automação ferroviária.

3.2. Etapas

O projeto desenvolverá apenas modelos baseados em YOLO (arquitetura de detecção em tempo real). Desenvolvimento, treinamento, validação e integração serão realizadas pela Vale, utilizando infraestrutura interna (máquinas virtuais, VS Code, Jetson Nano para testes, servidor HPE com GPU para produção).

A seguir, as etapas do projeto.

- **Etapas 1: Planejamento e Preparação de Dados**

Descrição: organizar, coletar e preparar os conjuntos de dados anotados para treinar modelos YOLO específicos por classe de interesse.

Atividade 1.1 — Levantamento e Inventário de Fontes de Vídeo/Imagens

- Descrição: mapear Câmeras/VMS que fornecerão amostras (lista de ID de câmeras, localização, ângulo, resolução, horários).
- Métodos e Técnicas: auditoria em VMS, consulta de logs, amostragem temporal (turnos dia/noite), captura de segmentos relevantes.
- Responsável: Equipe interna (Visão Computacional + Operação).
- Estimativa: inventário inicial de 50 câmeras.
- Resultado Esperado: planilha com metadados das câmeras e clips de amostra.

Atividade 1.2 — Coleta e Anotação de Dados

- Descrição: Extrair frames representativos e anotar bounding boxes por classes alvo: animais, câmeras com problemas, vegetação obstruindo, trem parado (>10 min), pessoas próximas à linha, automóveis próximos à PN.
- Métodos e Técnicas: extração de frames (1–5 fps dependendo do evento), ferramenta interna de anotação (labeling interno), padronização do formato VOC/COCO para YOLO.
- Subatividades:
 - Extração automatizada de frames dos vídeos.
 - Processo de anotação: instrução de rotulagem, validação dupla (anotador + revisor).
 - Augmentation (rotacionar, brilho, ruído, cortes) para robustez.
- Responsável: Equipe interna (anotadores e revisores).
- Estimativas quantificáveis: recomendar ~1.000 imagens por classe para boa robustez.
- Resultado Esperado: Dataset anotado no formato YOLO, dividido em treino/val/test (ex.: 70/20/10).

Atividade 1.3 — Curadoria e Balanceamento de Dados

- Descrição: verificar balanceamento entre classes, corrigir vieses (hora do dia, clima, ângulo).

- Métodos e Técnicas: análise estatística de distribuição por classe, reamostragem, oversampling/undersampling e augmentations dirigidas.
- Resultado Esperado: dataset balanceado pronto para treinamento, com relatório de distribuição.

- **Etapa 2: Implementação e Treinamento de Modelos YOLO**

Descrição: configurar ambiente de treinamento, desenvolver pipelines, treinar, validar e selecionar checkpoints para cada modelo de classe.

Atividade 2.1 — Preparação do Ambiente de Treinamento

- Descrição: provisionamento de VMs internas para experimentos e configuração do servidor HPE com GPU para treinos de larga escala. Instalação de bibliotecas (PyTorch, CUDA compatível, OpenCV, bibliotecas YOLO).
- Métodos e Técnicas: infraestrutura como código (templates VM), configuração de containers (Docker) para reprodutibilidade.
- Responsável: equipe interna de Infraestrutura + Data Science.
- Resultado Esperado: ambiente reproduzível de treino com containers prontos.

Atividade 2.2 — Definição de Arquiteturas e Hiperparâmetros

- Descrição: escolher variante YOLO (ex.: YOLOv7/YOLOv8/YOLOv11 conforme implementação interna) e definir hiperparâmetros iniciais (learning rate, batch size, input size, augmentations, scheduler, otimização).
- Métodos e Técnicas: revisão bibliográfica interna, experimentos de baseline, grid/random search para hiperparâmetros.
- Resultado Esperado: documento com arquitetura selecionada e conjunto de hiperparâmetros para runs iniciais.

Atividade 2.3 — Treinamento por Classe / Multiclasses

- Descrição: treinar modelos especializados (por exemplo, um modelo multifuncional com todas as classes ou modelos por domínio). Realizar ciclos de treino, avaliação e refinamento.

- Subatividades:
 - Treino inicial (baseline) — 1ª rodada.
 - Avaliação e ajuste de hiperparâmetros (2–4 iterações).
 - Treino final com checkpoints e ensemble se aplicável.
- Métodos e Técnicas: validação cruzada, métricas mAP@0.5, Precision/Recall, F1, análise de curvas PR, matrizes de confusão, análise de falsos positivos/negativos por classe.
- Estimativas: cada ciclo de treino para dataset padrão (~1k imagens) pode demandar de dezenas a centenas de horas GPU dependendo do hardware; para planejamento usar estimativa por modelo de 12–48 horas GPU.
- Responsável: equipe interna de Ciência de Dados/ML.
- Resultado Esperado: modelos treinados, checkpoints, logs e relatórios de métricas (mAP, precision/recall, inference time).

Atividade 2.4 — Testes de Robustez e Validação Adversarial

- Descrição: avaliar desempenho sob condições adversas: baixa luminosidade, chuva, poeira, câmeras desalinhadas.
- Métodos e Técnicas: testes com dataset sintético (augmentations severas), avaliação em vídeos contínuos, análise temporal (tracking simples para estabilidade de detecção).
- Resultado Esperado: relatório de robustez com recomendações (ex.: thresholds adaptativos por local).

- **Etapa 3: Otimização e Portabilidade para Edge (Jetson Nano)**

Descrição: otimizar modelos para execução em dispositivos Edge (Jetson Nano) usados em testes de campo.

Atividade 3.1 — Quantização e Pruning

- Descrição: Reduzir tamanho de modelo.
- Métodos e Técnicas: TensorRT export, ONNX conversion, pruning estruturado, avaliação pós-quantização.

- Resultado Esperado: modelos com velocidade de inferência compatível com Jetson Nano (latência objetivo ≤ 100 ms/frame em resolução alvo).

Atividade 3.2 — Testes em Jetson Nano (Bancada)

- Descrição: implantação de modelos otimizados em Jetson Nano e execução de testes com streams gravados e câmeras reais.
- Subatividades:
 - Configuração do Jetson (SW stack, dependências).
 - Deploy do modelo (ONNX/TensorRT) e scripts de inferência.
 - Medição de latência, throughput e consumo energético.
- Estimativa: usar 1 unidade Jetson Nano para bancada.
- Resultado Esperado: Relatório de desempenho por cenário e recomendações de parametrização.

• Etapa 4: Integração com VMS e Sistemas de Automação

Descrição: Desenvolver módulos para enviar alertas ao VMS e integrar com sistemas de automação para cruzar posição do trem e acionar procedimentos preventivos.

Atividade 4.1 — Projeto da API de Integração e Adapters

- Descrição: projetar e implementar adapters/middlewares que recebam eventos do motor de inferência YOLO e publiquem no VMS via API/SOAP/REST ou via filas (MQTT, Kafka). Também integração com sistema de automação para receber/consultar posição do trem.
- Métodos e Técnicas: desenvolvimento de microservices, filas de mensageria, contratos de API, logs para auditoria.
- Responsável: equipe interna de SW/Integração. Terceiros: equipe VMS da ferrovia para homologação de API.
- Resultado Esperado: módulos de integração testados em ambiente de homologação.

Atividade 4.2 — Regras Operacionais e Lógicas de Alerta

- Descrição: definir regras (por exemplo: se detecção de trem parado na PN > 10 min → alerta prioridade alta; se pessoa detectada < X metros da linha → alerta imediato) e thresholds por local.
- Métodos e Técnicas: especificação formal de regras, implementação em regras de negócio (microservice), painel de parametrização.
- Resultado Esperado: documento de regras e configuração inicial aplicada no ambiente de teste.

• Etapa 5: Implantação Piloto em Trecho Experimental e Testes em Campo

Descrição: implantação controlada em trecho piloto (ex.: 1–2 PN) para validação em operação real.

Atividade 5.1 — Preparação do Trecho Experimental

- Descrição: instalar Jetsons de teste, configurar VMS hooks, garantir conectividade com servidor HPE.
- Métodos e Técnicas: checklist de instalação, validação física das câmeras, ajuste de posicionamento.
- Responsável: Equipe interna + operação.
- Resultado Esperado: trecho experimental operando em modo teste.

Atividade 5.2 — Testes Operacionais e Coleta de Logs

- Descrição: executar o sistema em paralelo com operação normal por período (ex.: 30 dias) e coletar logs, métricas de eventos, FPS, latência, e false positives/negatives.
- Subatividades:
 - Operação assistida — equipe de monitoramento anotando eventos reais.
 - Ajustes finos de thresholds e regras.
- Estimativa quantificável: monitoramento contínuo por 30 dias; meta de redução de FP/FN na ordem de X% (definir base após baseline).

- Resultado Esperado: relatório de desempenho em campo e versão de modelo pronta para produção.

- **Etapa 6 — Implantação em Servidor HPE (Ambiente de Produção)**

- Descrição: Implantar o modelo YOLO treinado e validado no servidor HPE equipado com GPU dedicada, que atuará como núcleo de inferência centralizado para todas as câmeras de produção. O servidor será responsável por receber os fluxos de vídeo (API do Defense) provenientes das câmeras de campo, processar as imagens em tempo real e enviar os resultados (detecções, alertas e logs) para o sistema VMS e para o módulo de automação.

- Métodos e Técnicas: Configuração do ambiente de execução (containers Docker ou ambiente virtual isolado), instalação de drivers NVIDIA e CUDA compatíveis, e implantação dos modelos no formato otimizado (TensorRT/ONNX). O servidor será configurado com balanceamento de carga por stream e pipeline assíncrono para manter a latência de inferência abaixo de 100 ms por frame, garantindo operação em tempo real.

Serão implementados scripts de monitoramento (GPU usage, FPS, temperatura) e logs automáticos de desempenho para acompanhamento remoto.

- Responsável: Equipe interna de Visão Computacional e Infraestrutura de TI.
- Estimativa: Capacidade de processar 400 streams simultâneos (dependendo da resolução e complexidade do modelo YOLO utilizado).
- Resultados Esperados: Ambiente de produção totalmente operacional, com modelos YOLO rodando continuamente no servidor HPE-GPU, processando fluxos de vídeo das câmeras em tempo real e integrando os alertas com o sistema de monitoramento e automação ferroviária.

- **Etapa 7: Validação Final, Documentação e Entrega**

Descrição: consolidar resultados, documentação técnica, procedimentos operacionais e treinamento da equipe operacional.

Atividade 7.1 — Validação Técnica e Aceitação

- Descrição: testes finais de aceitação técnica (SAT), validação com indicadores.
- Métodos e Técnicas: testes de carga, testes de integração, verificação de SLA de latência.
- Resultado Esperado: termo de aceite técnico.

Atividade 7.2 — Documentação e Kit Operacional

- Descrição: entregar manuais técnicos (instalação, operação, tuning), scripts de deploy, containers, e relatórios de métricas.
- Resultado Esperado: pacote de entrega contendo: modelos, imagens Docker, playbooks de deploy, manual operacional.

Atividade 7.3 — Capacitação e Handover

- Descrição: sessões de treinamento para operadores e equipe de operação do VMS e automação.
- Métodos e Técnicas: workshops práticos, material de e-learning, sessões hands-on com Jetson.
- Resultado Esperado: operadores aptos a operar e interpretar alertas; registro de capacitação.

• Etapa 8: Participação em Eventos e Congressos

Descrição: divulgação do trabalho realizado no projeto, com a proposição de artigos científicos e tecnológicos em 2027. Conforme mencionado anteriormente neste plano de trabalho, as chamadas para os eventos são feitas entre seis meses e um ano antes da sua realização, portanto não é possível definir com absoluta certeza em quais eventos a equipe participará, uma vez que serão os eventos para os quais os trabalhos científicos forem aceitos. Entretanto, desde já, foram selecionados:

- Encontro Nacional de Automação (ENA): é considerado o maior do país voltado para automação industrial.
- Congresso de Pesquisa e Ensino em Transportes (ANPET): é o principal evento científico da área de transportes no Brasil. Realizado anualmente, reúne

pesquisadores, professores, estudantes e profissionais para discutir os avanços e desafios do setor.

Produtos e Resultados Esperados por Etapa (resumo)

- Etapa 1: Dataset anotado ($\approx 30k$ imagens), relatório de curadoria.
- Etapa 2: Modelos YOLO treinados (checkpoints), relatórios de métrica (mAP, F1, precision/recall).
- Etapa 3: Modelos otimizados para Edge (ONNX/TensorRT), relatório de desempenho Jetson.
- Etapa 4: Módulos de integração VMS/automação (APIs/adapters) e regras de alerta.
- Etapa 5: Trecho experimental operacional, logs de campo e relatório de validação (período piloto).
- Etapa 6: Produto em ambiente produtivo gerando alertas para a operação e tomando decisões que podem salvar vidas.
- Etapa 7: Documentação completa, kits de deploy, treinamentos e aceite técnico.
- Etapa 8: Artigos científicos e tecnológicos e participação em congressos

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

Este projeto será desenvolvido em 24 meses, com previsão de início em 02/03/2026.

O custo total deste projeto será de R\$ 1.975.081,86 (um milhão, novecentos e setenta e cinco mil, oitenta e um reais e oitenta e seis centavos), distribuídos anualmente conforme indicado:

- Valor de investimento em 2026 (ano contratual 3 – 2ª parcela): R\$ 1.077.968,71
- Valor de investimento em 2027 (ano contratual 7): R\$ 792.590,49
- Valor de investimento em 2028 (ano contratual 8): R\$ 104.522,66

O valor também contempla o provisionamento da concessionária para despesas administrativas (7,37%) 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.”.

O documento completo contendo o Cronograma Físico-Financeiro detalhado encontra-se apresentado no Anexo II, elaborado em conformidade com a Portaria nº 17/2023.

5. LOCAL DE EXECUÇÃO

O desenvolvimento deste projeto será realizado em Vitória (ES), utilizando a infraestrutura corporativa da Vale, composta por ambientes virtuais seguros, servidores internos e ferramentas de colaboração integradas. As atividades de programação, treinamento dos modelos de inteligência artificial e testes iniciais serão executadas nos ambientes computacionais internos, com acesso controlado, garantindo a segurança dos dados e o cumprimento das políticas internas de governança tecnológica.

6. ENTIDADE E EQUIPE EXECUTORA

6.1. Identificação de entidade

O projeto será desenvolvido pela equipe da **Diretoria de Tecnologia e Inovação** da VALE, mais especificamente pela **Gerência Tecnologia Ferrovia**, em parceria com o **AI Center**, que contam com equipes dedicadas exclusivamente à criação de modelos, compostas por profissionais com experiência consolidada em projetos de desenvolvimento tecnológico no setor ferroviário, especialmente em soluções voltadas à análise de vídeo, automação e integração de sistemas de monitoramento, garantindo a

compatibilidade técnica e operacional necessária para o desenvolvimento e implantação dos trabalhos.

6.2. Identificação da equipe executora

O desenvolvimento da solução contará com uma equipe multidisciplinar composta por profissionais com experiência comprovada nas áreas de engenharia, tecnologia e operação ferroviária, atendendo às exigências do §4º do art. 10 da Resolução ANTT nº 6.021/2023.

A entidade executora principal será a VALE S.A., responsável pela coordenação técnica e operacional do projeto. As empresas contratadas atuarão como parceiras tecnológicas, prestando suporte especializado no desenvolvimento de componentes analíticos e integração dos modelos computacionais ao ambiente ferroviário.

Equipe Executora da VALE S.A.

- Ralf Filho – Analista de Tecnologia (VALE S.A.) – CPF: [13993310780]
Função no projeto: Coordenação e Gestão Geral do projeto sendo responsável pela organização de atividades e desenvolvimento dos modelos.
- Vitor Ohnesorge – Analista de Tecnologia (VALE S.A.) – CPF: [05855301737]
Função no projeto: Apoio ao desenvolvimento de software, análise de dados e automação dos fluxos de integração.
- Guilherme Kallembach – Engenheiro (VALE S.A.) – CPF: [10279400721]
Função no projeto: Acompanhamento dos testes e integração com a infraestrutura do datacenter da ferrovia.
- Karen Roepke – Analista Operacional (VALE S.A.) – CPF: [09353807794]
Função no projeto: Apoio operacional e definição de parâmetros de validação.
- Carol Cezatte – Analista de Tecnologia (VALE S.A.) – CPF: [119.562.057-80]
Função no projeto: Responsável pelo desenvolvimento da integração e interface de alertas para usuário.
- Brenda Moura – Analista de Tecnologia (VALE S.A.) – CPF: [14006037732]
Função no projeto: Gestão de requisitos tecnológicos, documentação técnica e apoio à governança de dados.

7. PRODUTOS

O produto principal deste projeto é o RailGuard, um sistema inteligente baseado em visão computacional e modelos YOLO, capaz de prevenir e evitar acidentes em passagens de nível, detectando automaticamente a presença de pessoas, animais, veículos ou obstáculos que representem risco à operação ferroviária.

Os produtos associados ao RailGuard incluem: módulos de detecção específica (animais, veículos, vegetação, câmeras com falha), pipelines de integração com o VMS da ferrovia, bem como relatórios técnicos de validação e documentação do sistema (manual de instruções, especificações e código fonte aberto).

Além disso, são previstos artigos científicos e tecnológicos apresentados em congressos.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS / NORMATIVOS APLICÁVEIS

Referências Legais e Normativas

1. **Resolução nº 6.021, de 20 de julho de 2023** – Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT). Define diretrizes para PD&I em concessões ferroviárias federais, incluindo incisos II e VIII do artigo 3º e I, II e IV do artigo 4º.
2. **Artigo 8º, inciso I, da Resolução nº 6.021/2023** – Dispõe sobre que os projetos de PD&I não devem contemplar obrigações contratuais regulares da concessionária.
3. **Portaria nº 17/2023** – Estabelece regras e procedimentos para elaboração de cronogramas físico-financeiros em projetos de PD&I no setor ferroviário.

Referências Técnicas e de Infraestrutura

4. **YOLO (You Only Look Once)** – Redução em tempo real para detecção de objetos em imagens e vídeos. Redmon et al., “You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection,” 2016; evoluções YOLOv7/v8/v11 conforme implementação interna.
5. **PyTorch** – Biblioteca open source para aprendizado de máquina e redes neurais profundas (Paszke et al., 2019).

6. **OpenCV** – Biblioteca open source para visão computacional, utilizada para pré-processamento de imagens e integração com modelos de IA (Bradski, 2000).
7. **Roboflow** – Ferramenta para anotação e gerenciamento de datasets de visão computacional.
8. **Visual Studio Code (VS Code)** – Ambiente de desenvolvimento integrado para programação de modelos de IA.
9. **NVIDIA Jetson Nano** – Plataforma de computação em borda (Edge Computing) para inferência de modelos em tempo real.
10. **Servidor HPE com GPU** – Hardware para processamento de múltiplos fluxos de vídeo em tempo real, suportando modelos YOLO otimizados via TensorRT/ONNX.
11. **Sistemas VMS (Video Management System)** – Sistemas corporativos de gestão de vídeo utilizados para monitoramento de câmeras ferroviárias.
12. **SGF – Sistema de Gestão Ferroviária** – Sistema de automação e monitoramento da operação ferroviária, usado para determinar a posição do trem e acionar alertas preventivos.

Referências Acadêmicas e Científicas

13. Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. CVPR.
14. Bochkovskiy, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). *YOLOv4: Optimal Speed and Accuracy of Object Detection*. arXiv:2004.10934.
15. Jocher, G. et al. (2023). *YOLOv11: Latest advancements in real-time object detection*. GitHub repository.
16. Paszke, A., Gross, S., Massa, F., et al. (2019). *PyTorch: An Imperative Style, High-Performance Deep Learning Library*. NeurIPS.
17. Bradski, G. (2000). *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's Journal of Software Tools.

Referências de Procedimentos Operacionais

18. Documentação interna da Vale – Políticas de governança tecnológica, infraestrutura de TI e centros de controle operacional.

19. Manuais do fabricante HPE – Instalação, configuração e suporte de servidores GPU.
20. Procedimentos internos de integração VMS e SGF – APIs, regras de negócio e parametrização de alertas.

9. ANEXOS DO PLANO DE TRABALHO

- I - Resumo do Plano de Trabalho;
- II - Cronograma físico-financeiro;
- III - Orçamento analítico;
- IV - Cotações comerciais;
- V - Currículo dos coordenadores;
- VI - Lista de bens, produtos e estudos com previsão de transferência;
- VII - Propostas técnicas e comerciais;
- VIII - Declaração de observância.