



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

- **CATEGORIA 3**

MAPA DE SUSCETIBILIDADE A DESLIZAMENTO DE MASSA (869)

INTRODUÇÃO

O intenso dinamismo urbanístico e de uso e ocupação do solo, aliados a altos índices pluviométricos, potencializam o risco de processos hidrológicos (enchentes e enxurradas) e movimentos gravitacionais de massa (queda de blocos, corridas de massa, rastejo e deslizamentos, este último também conhecidos como escorregamentos). Tais fenômenos veem ocorrendo com maior frequência e intensidade, consequência das mudanças climáticas que proporcionam eventos meteorológicos intensos servindo de deflagradores de desastres.

No Brasil os movimentos de massa, dentre os processos geológicos, são responsáveis pelo maior número de fatalidades. Entre os anos de 1998 e 2002 foram mais de 4mil vítimas registradas (Macedo; Sandre, 2022). Segundo o Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação através do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais - CEMADEN (MCTI, 2024) o ano de 2023 teve o registro de 1.161 desastres naturais sendo 38% classificados como de origem geológica e 62% de origem



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

hidrológica. Tais eventos geram prejuízos, no país registrou-se aproximadamente R\$ 401,3 bilhões em gastos associados aos desastres naturais (CNM, 2023).

Neste contexto, os sistemas de transportes tais como as ferrovias não estão isentos de sofrerem danos e prejuízos gerados pela intensificação dos fenômenos e, conseqüentemente, impactos como o risco de redução na eficiência das operações durante o período chuvoso, custos de reconstrução de ativos, aumento da probabilidade de acidentes ferroviários graves como tombamentos e respectiva exposição a fatalidade dos operadores de trens.

É prudente afirmar que mesmo com a intensificação dos ciclos naturais devido as alterações climáticas, é possível mitigar os impactos por meio de investimento em sistemas de monitoramento e mapeamentos geológicos. “[...] Cada US\$ 1 investido em redução de risco e prevenção pode economizar até US\$ 15 em recuperação pós-desastre.” (UNDRR, 2015). Importante destacar que há dois tipos básicos de prevenção, as estruturais e não-estruturais. As primeiras envolvem a realização de obras de melhorias como implantação de pontes, barragens e contenções, enquanto as segundas são direcionadas para o planejamento e gerenciamento, como mapeamento e sistemas de alerta (Kobiyama et al, 2004).

O intuito do trabalho foi desenvolver uma proposta de modelo de análise espacial que responda aos questionamentos da localização, distribuição geográfica e nível de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

severidade dos trechos críticos na ferrovia com maior probabilidade natural de deslizamentos. A malha ferroviária objeto deste estudo tem aproximadamente 8 mil quilômetros, considerando esta grande extensão a estratégia adotada é iniciar a prevenção não-estrutural e posteriormente executar as ações de prevenção estruturais.

A identificação das áreas suscetíveis aos movimentos de massa é de extrema relevância, pois influenciam diretamente na segurança das operações da rede ferroviária bem como a relevância desta pesquisa se destaca como uma referência para que outros empreendimentos lineares, principalmente ferrovias, possam adotar a mesma metodologia e aprofundar o diagnóstico de suas áreas a fim de traçar estratégias de prevenção, preparação e respostas a desastres dessa natureza que possam afetar a operação e respectivamente o atendimento final na entrega das cargas transportadas. Além do que já foi citado anteriormente, mapear e identificar essas áreas tem uma importância estratégica na manutenção da infraestrutura e na eficiência da operação da ferrovia.

DIAGNÓSTICO

Afinal, o que são movimentos de massa?

Eventos de origem geológica e hidrológica como os movimentos de massa e as enxurradas e enchentes possuem sua gênese associadas a instabilidades atmosférica severas, e embora não possam ser evitadas podem ter seus impactos remediados por

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

meio da identificação de padrões comportamentais que possibilitem implantação de métodos preventivos de Engenharia e Meteorologia para a redução dos efeitos destrutivos (Figura 1).



**Figura 1 – Registro de movimento de massa do tipo rastejo em Lavras/MG.
Fonte: Jornal de Lavras (2011)**

Para este trabalho foram abordados especificamente sobre os movimentos gravitacionais de massa que possuem impacto direto nas operações ferroviárias (Figura 2). Entre os tipos estão especificamente os deslizamentos (*landslide*) ou também conhecidos como escorregamentos são caracterizados segundo a Sociedade Brasileira de Geologia (SGB, 2014) por serem movimentos de alta velocidade desencadeados por eventos de chuvas de alta intensidade ou elevados índices acumulados e se desenvolvem de modo geral em relevos de média a alta declividade e altimetria, podendo ser classificados conforme o comportamento de ruptura: ruptura planar (translacional), circular (rotacional) ou em cunha (acompanhando planos de fragilidade estrutural dos maciços terrosos ou rochosos).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



**Figura 2 - Deslizamento de terra registrado em Quatis/RJ em fevereiro de 2023.
Fonte: Jornal O Dia**

Entre os movimentos de massa, um dos mais graves para a segurança operacional ferroviária e de elevado risco pessoal são os movimentos denominados de queda de blocos (*rock fall*) que possui como principal fator de existência as descontinuidades litológico-estruturais dos maciços rochosos sob atuação do intemperismo podendo ser irrompido por eventos chuvosos (SGB, 2014) tendo o padrão de ser um movimento abrupto de blocos e matacões rochosos (Figura 3).



Figura 3 – Queda de blocos em trecho ferroviário entre Urandi/MG e Licínio de Almeida/BA. Fonte: Theo Filho (UrandiNews, 2013)

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Outro tipo de movimento de massa que podem ser encontrados ao longo dos empreendimentos lineares (Figura 4) é o denominado rastejo (*creep*) que consiste em movimento de baixa velocidade (comparado ao deslizamento) incitado por longos períodos de chuvas e altos índices pluviométricos acumulados, além de poderem ocorrer em relevos com baixa declividade.



Figura 4 – Evidências de rastejo à montante da linha férrea em Campos Altos/MG na porção superior esquerda. Fonte: Samuel Duna, Wikiloc, 2023.

A corrida de massa (*debris flow*) também conhecida como fluxos de lama e detritos é complexo e tem como característica alta energia de transporte. Segundo o CEMADEN (2024),

“são extremamente rápidos e desencadeados por um intenso fluxo de água na superfície, em decorrência de chuvas fortes, que liquefaz o material superficial que escoar encosta abaixo em forma de um material viscoso composto por lama e detritos rochosos. Esse tipo de movimento de massa se caracteriza por ter extenso raio de ação e alto poder destrutivo.”

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Segundo o SGB (2014),” inclui enxurradas associadas, geralmente no início e fim do processo, na forma de “enchente suja”, assim denominada em razão de sua alta carga de sedimentos”. A diferenciação desses eventos requer atenção e reconstrução da dinâmica e podem afetar diretamente a segurança operacional e das pessoas na ferrovia (Figura 5).

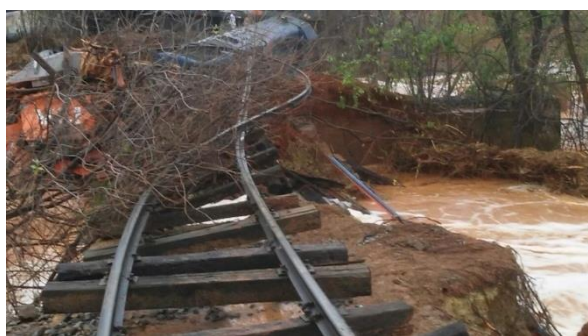


Figura 5 – Acidente ferroviário gerado por possível corrida de detritos associada a enxurrada deflagrada por chuvas intensas no município de Janaúba/MG.

Fonte: Jornal Hoje em Dia (2017)

MÉTODOS DE ANÁLISE ESPACIAL

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) têm sido utilizados frequentemente em estudos ambientais pelas áreas da Engenharia e Geociências resultando em produtos utilizados no planejamento estratégico tais como diagnósticos ambientais, mapeamento temático, avaliação de impacto ambiental (Câmara e Medeiros, p.1). Tendo a afirmação anterior como premissa, os empreendimentos lineares tais como,



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

dutovias, ferrovias e rodovias são elementos passíveis de terem a localização de seus ativos e infraestrutura georreferenciadas e, portanto, passíveis de serem representadas graficamente e contextualizada através de sistemas SIGs por outros elementos ambientais e respectivos atributos.

No âmbito da elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa como ferramenta para prevenção de desastres na fase de diagnóstico, o método de análise multicritério tem sido utilizado por usuários de SIG com elevada frequência por sua característica integrativa quando o objetivo é a construção de modelos descritivos ou preditivos de um território, em diferentes escalas e para diferentes aplicações (Moura & Jankowski, 2016). Segundo Moura & Jankowski (2016), a aplicação deste método destaca-se por basicamente duas razões: a simplicidade para integrar dados sejam conforme os objetivos da pesquisa e múltiplos critérios; e a existência de ferramentas disponíveis em software de geoprocessamento (tais como o QGIS), que podem ser utilizadas para implantar as etapas do processo de análise espacial por combinação de variáveis. A função principal da análise multicritério é facilitar a integração de variáveis espaciais, sob a forma de mapas temáticos com seus elementos georreferenciados a fim de direcionar a melhor tomada de decisões.

O que pode ser espacializado pode ser quantificado, deste modo o modelo pode ser traduzido a uma álgebra de mapas, o que favorece que o problema seja subdividido em seus principais componentes: as variáveis que interferem no seu comportamento, a



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

maneira como eles são integrados e a combinação deles, a fim de se construir o sistema.

Entre os métodos de análise espacial, Castro & Moura (2010) definem Análise Multicritério como,

“(...) procedimento metodológico de cruzamento de variáveis, também conhecido como Árvore de Decisões ou Análise Hierárquica de Pesos, baseado no mapeamento de variáveis em planos de informação e componentes de legenda, onde cada plano e cada componente possui seu grau de pertinência, e o resultado é construído a partir de média ponderada.”

METODOLOGIA

A criação de um cenário de identificação de áreas vulneráveis a movimento de massa utilizou o modelo de análise espacial de Análise Multicritério a partir de variáveis georreferenciadas hierarquizadas em Sistema de Informações Geográficas (SIG). Em acréscimo a metodologia de Análise Multicritério (Figura 6), foram realizados mais dois modelos centrados em IA, com treinamento de modelo de Aprendizado de Máquina (*Machine Learning*) para subsequente comparação de resultados, com potencial de redução de custos em análises posteriores.

A análise multicritérios em SIG é uma ferramenta muito poderosa para processos de tomada de decisão e que têm a capacidade de criar cenários e simular fenômenos, baseando-se em tendências identificadas ou na avaliação de condições pré-

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

determinadas. A análise multicritérios em SIG baseia-se no mapeamento de variáveis por plano de informação e na definição do grau de pertinência de cada plano de informação para a construção do resultado.

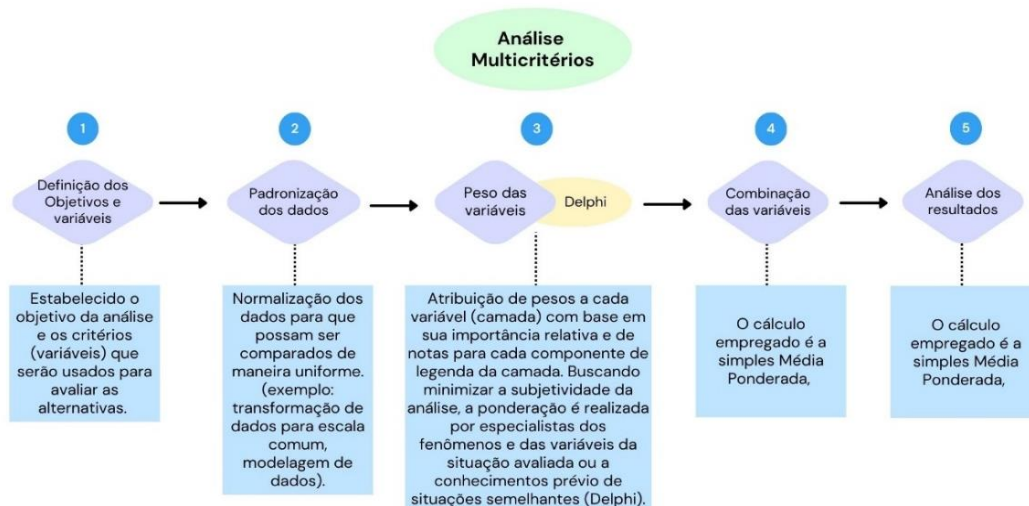


Figura 6 – Fluxograma de etapas da Análise multicritérios

A etapa inicial do processo consistiu na definição dos objetivos e na seleção das principais variáveis que definem e caracterizam o fenômeno (Figura 7), evitando redundância ou supervalorização de alguma informação. A etapa seguinte compreende modelagem e padronização das variáveis (camadas) de modo a possibilitar a comparação e análise dos dados de maneira uniforme. Os dados foram representados em formato matricial (raster), e padronizados em relação à sua extensão, dimensões, resolução espacial e sistema de coordenadas, o diagrama a seguir apresenta as variáveis selecionadas para a elaboração do mapa de suscetibilidade a movimentos de massa:

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 7 - Variáveis selecionadas

A etapa seguinte, de ponderação das variáveis, consistiu na obtenção dos pesos e notas por um grupo multidisciplinar de especialistas dos fenômenos e das variáveis ou que tenham conhecimentos prévios de situações semelhantes. Para definição de pesos há dois grupos de procedimentos que, conforme Moura (2016), podem ser seguidos: a avaliação orientada pelos dados (*data driven evaluation*) e a orientada por conhecimentos especializados (*knowledge driven evaluation*). Para esta pesquisa foi feita avaliação orientada pelos dados a partir do método Delphi que foi conforme Linstone & Turoff, 2002 apud Marques, 2018 desenvolvido para a Defesa Norte-Americana no início da década de 1950, em plena Guerra Fria (Linstone & Turoff, 2002) tendo como foco “obter um consenso fiável de um grupo de militares especialistas em defesa sobre possíveis ataques com bombas atômicas” (Boberg & Morris-Khoo, 1992, p. 27).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Foi solicitado aos especialistas a hierarquização das variáveis, em ordem de relevância na manifestação ou ocorrência do fenômeno estudado, atribuindo pesos a elas (Figura 8). Os especialistas opinaram sobre o grau de pertinência, de 0 a 10, de cada componente de legenda da variável. Cada item é pensando de modo isolado, pois a relação entre uma característica e outra será construída pela aplicação do modelo, quando do cruzamento de todos os componentes. Por fim, o cálculo empregado na análise multicritérios é a simples Média Ponderada, considerando os pesos e as notas definidos pelo grupo de especialistas e o resultado é o cruzamento das variáveis identificando a correlação dessas variáveis na área analisada.

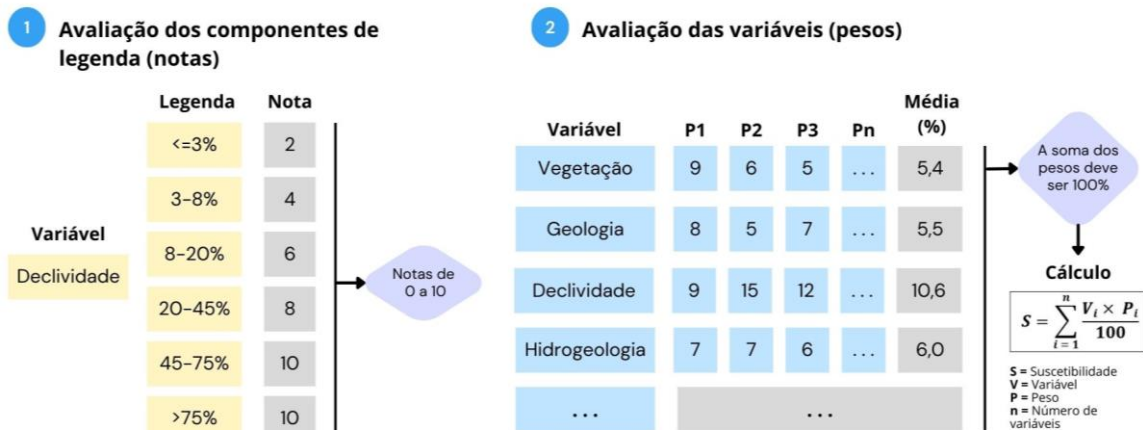


Figura 8 - Etapa de peso das variáveis

Os outros modelos espaciais realizados utilizaram aprendizagem de máquina (*Machine Learning*) para a automatização de identificação e análises de padrões de comportamento das variáveis. Os processos de aprendizagem de máquina utilizados em

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

geoprocessamento consistem na utilização de algoritmos que, ao serem alimentados com uma amostra controlada dos dados e uma série de variáveis, são capazes de associar determinadas combinações de variáveis aos seus valores alvo (“Target”), identificando tendências que são posteriormente utilizadas para prever os valores resultantes para o conjunto de dados como um todo. Nesse estudo de caso, foram executadas duas aplicações de aprendizagem de máquina (Figura 9), que diferenciaram pela fonte das amostras utilizadas para treinar o modelo computacional.

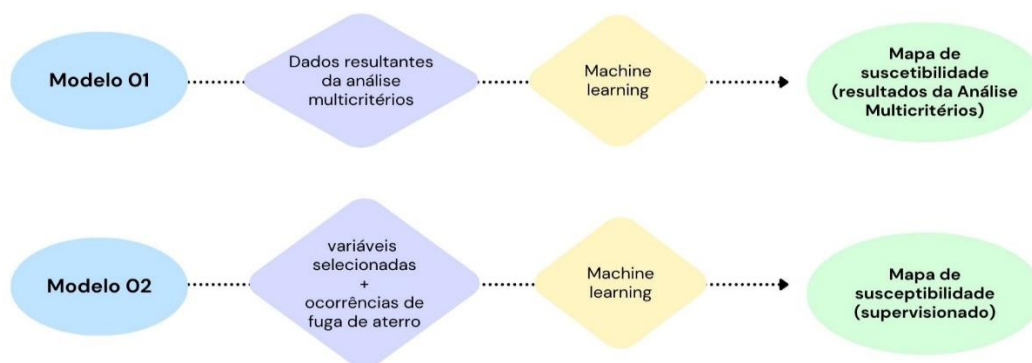


Figura 9 – Análises com uso de Machine learning

O primeiro modelo utilizou amostras extraídas do resultado da Análise Multicritérios, isto é, o algoritmo foi programado para receber uma amostra dos resultados obtidos na etapa anterior, prever os resultados para o conjunto restante dos dados. Foi necessária a criação de uma malha regular de pontos para os quais foram extraídos os valores das variáveis utilizadas, a fim de representar em formato tabular a configuração do mapa de suscetibilidade obtido anteriormente.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

O segundo modelo utilizou, além das variáveis anteriores, amostras de dados de ocorrências de fugas de aterro disponibilizados pela equipe da concessionária da ferrovia. Nesse modelo, as ocorrências, inicialmente representadas na forma de pontos, foram interpoladas utilizando o “Modelo de densidade de Kernel”, de modo a representar a informação em áreas de maior ou menor concentração de ocorrências. A malha regular recebeu a extração dos valores de concentração de ocorrências, utilizados como alvo (“Target”) na fase de aprendizagem de máquina. O modelo foi treinado a partir de um índice associado à concentração de ocorrências, e programado para estimar a probabilidade de novas ocorrências no restante da área de estudo.

Uma vez executados os algoritmos de aprendizagem de máquina, foi gerada uma nova coluna de informação na tabela, cujos valores correspondem ao índice de suscetibilidade apontado pela inteligência artificial em cada modelo. Os dados foram espacializados de acordo com as coordenadas associadas aos pontos utilizados na extração dos dados e, depois, realizada a conversão dessa malha de pontos para formato matricial (raster), gerando mapas de suscetibilidade para cada modelo de *machine learning*. Os mapas resultantes dos modelos foram validados por especialista internos da companhia ferroviária.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

ANÁLISE E RESULTADOS

As ferrovias brasileiras possuem características ímpares, e uma gama imensa de ativos, com peculiaridades que tornam sua manutenção ímproba, alguns trechos localizados em grandes extensões em serras, expostos naturalmente ao risco de deslizamento. Visando garantir a adequação dos meios de exploração dos recursos naturais às especificidades do meio ambiente (Lanna, 1995), e, o conceito de risco ambiental como sendo o resultado da associação entre os riscos naturais e os riscos decorrentes de processos naturais agravados pela atividade humana e pela ocupação do espaço (VEYRET & MESCHINET DE RICHEMOND, 2007), é possível entender a importância da gestão territorial para as ações de controle ambiental e de riscos.

No mapa de suscetibilidade a deslizamentos, foi adotado como área de influência o buffer de 1,5km a partir do eixo da ferrovia, por ser essa medida considerada para estudos anteriores e considerando uma área além da faixa de domínio da ferrovia (Figura 10). A classificação (Tabela 1) foi então criada com notas de 1 a 5 em que a nota 01 representa os locais com a menor criticidade (Muito baixa criticidade) e a Nota 05 os locais com a menor criticidade maior criticidade (Muito alta criticidade).

Tabela 1 - Notas de Suscetibilidade a Deslizamento de Massa

1	2	3	4	5
Muito Baixo	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

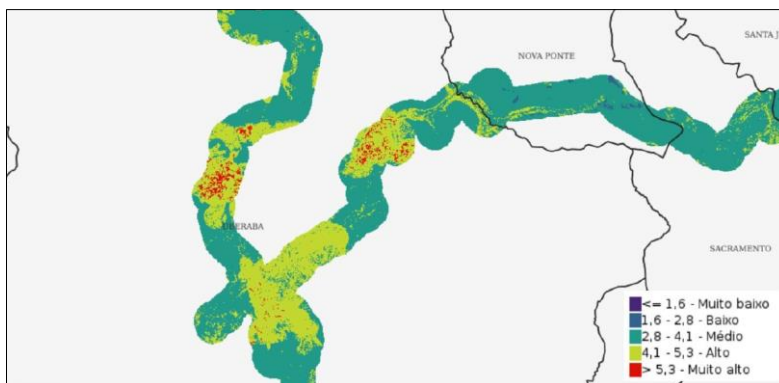


Figura 10 – Visualização do Mapa de suscetibilidade a movimentos de massa

O Mapa de Suscetibilidade a Deslizamento de Massa foi concluído no início de 2024, e desde então, foram iniciados os testes de aplicação das notas em alguns setores da companhia, como segurança operacional, meio-ambiente, gestão de ativos, implantação de obras e manutenção ferroviária.

Sistema de segurança operacional:

Considerando a importância de conhecer os locais que possuem maior probabilidade de ocorrer um deslizamento, o mapa subsidiou a revisão de procedimentos (Figura 11) a serem seguidos para o período de chuvas, bem como aliado ao sistema de monitoramento meteorológico existente na empresa é uma ferramenta implementada que traz ganhos para a segurança operacional, segurança pessoal e de gestão de riscos principalmente.

Conhecendo os locais com maior suscetibilidade para ocorrência de movimentos de massa as áreas de operação, via permanente e outras terão subsídios técnicos para

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA
11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

defesa de orçamento e como consequência redução de acidentes graves como os demonstrados ao longo deste artigo e respectiva eficiência em períodos de chuva.

As ações que compõem o Procedimento de Preparação, Prevenção e Respostas em Períodos de Chuvas (PRO) são direcionadas para diversas áreas incluindo o Centro de Controle Operacional (CCO), o Centro de Controle de Emergência (CCE), a Operação e a Via Permanente dos corredores logísticos. Para a execução deste procedimento a empresa possui um fornecedor externo de dados e monitoramento meteorológico 24 horas. A partir dos gatilhos de chuvas para as localidades classificadas são iniciadas as ações, tais como “atenção a circulação”, “inspecionar todo o trecho” ou “interdição”.

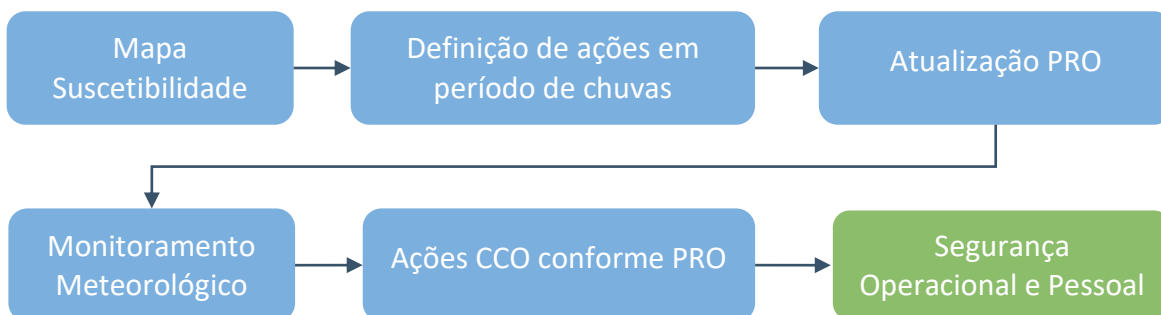


Figura 11 – Fluxograma de uso do mapa de suscetibilidade nos processos de segurança operacional

Ainda dentro do escopo de Segurança Operacional ao longo do ano de 2023 e 2024 foram desenvolvidas em conjunto com a Engenharia projetos, entre eles a validação da curva de deslizamento para a Serra do Tigre localizada no município de Campos Altos/MG e que possui locais de muito alta a média suscetibilidade a deslizamentos.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Sistema de gestão e manutenção de ativos

A malha ferroviária brasileira já chegou a uma extensão de aproximadamente 37 mil quilômetros em 1950 (DNIT, 2024), atualmente são 30.576 quilômetros de ferrovia sob responsabilidade de operadoras reguladas pela ANTT (ANTT, 2015), com um alto número de ativos a serem mantidos.

As notas de suscetibilidade estão são utilizadas no planejamento da priorização de inspeção de ativos, como taludes, bueiros, pontes e seus componentes, bem como para atividades preventivas e preditivas, como roçada e limpeza de dispositivos, e medidas corretivas, como restauração de bueiros e canaletas, além da implementação de obras. A finalidade é obter maior eficiência na ordem de execução, priorizando os locais que demandam menor “*input*” - quantidade de recurso demandado para a recuperação de cada trecho por km - e obter um maior “*output*” – ganho em segurança operacional e eficiência de “*transit time*” com remoção de restrições de velocidade e aumento da tonelada bruta transportada (Mendes; Campbel, 2021).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

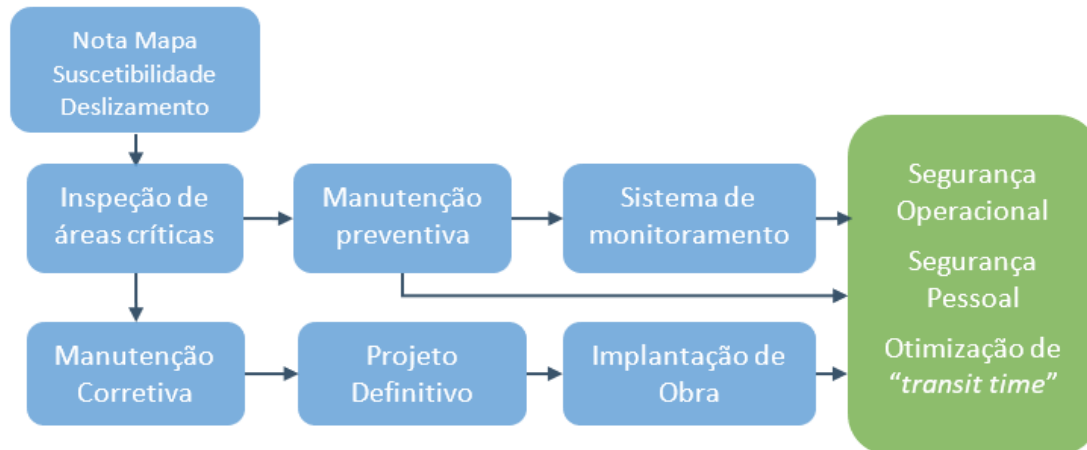


Figura 12 - Fluxograma de uso do mapa de suscetibilidade nos gestão de ativos

Devido à composição em camadas que reflete a natureza da região, a indicação de alta suscetibilidade a deslizamentos no mapa pode sugerir uma área geologicamente sensível, propensa a apresentar problemas na via devido às suas características naturais. Alguns fatores de suscetibilidade, como solos com baixa capacidade de suporte, suscetíveis à erosão, e nível elevado do lençol freático, podem ser mascarados por defeitos na superestrutura, como bombeamento de finos, desnivelamento de trilhos e contaminação do lastro. Portanto, a avaliação de suscetibilidade fornecerá subsídios para soluções de engenharia mais eficazes, evitando tratamentos que resultam em retrabalhos na via permanente (

Figura 13).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS



Figura 13 – (A) Exemplo desnivelamento do trilho, região com solo de baixa capacidade de suporte e elevação do lençol freático (B) Exemplo de lastro contaminado, região com solo com elevação do lençol freático (C) Exemplo de solo com alto grau de erodibilidade (D) Exemplo de bombeamento, região de solo com alto grau de erodibilidade. Fonte: Autoria dos autores

Neste sentido, identificar corretamente os tipos de eventos existentes é parte fundamental no processo de mapeamento das áreas de risco e tratamento eficiente dos pontos críticos.

Aplicações conforme disciplina de Gestão de Riscos

No contexto de gestão de riscos, o Mapa desempenha um papel estratégico no programa interno *Hazard Identification and Risk Analysis* (HIRA), que se trata de uma metodologia de análise detalhada de eventos/riscos catastróficos para o negócio da empresa que traduzida para o português, significa Identificação de Condições Perigosas e Análises de Risco. Trata-se de um termo coletivo que abrange todas as atividades envolvidas na identificação de perigos e avaliação de riscos em instalações, ao longo de seu ciclo de vida, para garantir que os riscos aos funcionários, ao público e meio ambiente sejam consistentemente controlados dentro da tolerância ao risco da organização.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Como exemplo de aplicação, no primeiro semestre de 2024, após uma avaliação da Gerência Geral de Riscos e Controles Internos da empresa utilizando a metodologia HIRA foram definidos alguns locais prioritários (Figura 14). No contexto da infraestrutura ferroviária, os ativos de taludes de corte foram selecionados para um plano de ação com o objetivo de reduzir os riscos referentes a processos erosivos e movimentos de massa.

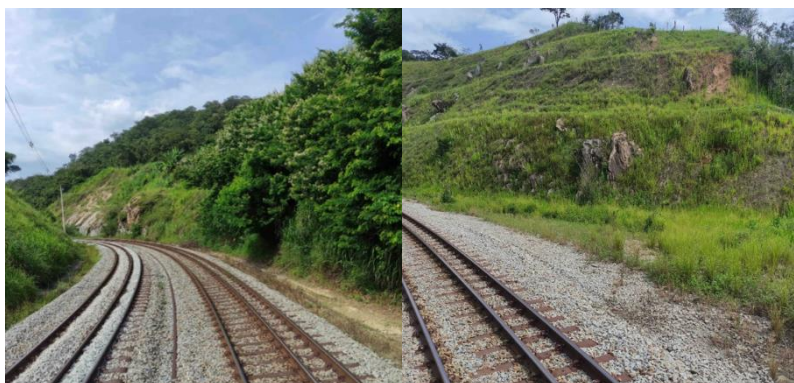


Figura 14 – Exemplo de locais selecionados para o programa de gestão de riscos, HIRA (2024). Fonte: Foto de autoria dos autores

Após a coleta de informações em campo, o mapa de susceptibilidade a movimentos de massa foi utilizado para a caracterização do risco e priorização das atividades a serem executadas. Para classificação dos taludes mapeados na inspeção considerando essa metodologia, foi mantida a camada do mapa como plano de fundo, sobreposta pela camada de mapeamento atual de quilômetros ferroviários. Para a confirmação da localização e extensão dos taludes, foram feitas as devidas verificações das coordenadas geográficas obtidas na inspeção de campo.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Sistema de monitoramento

Após a identificação dos pontos suscetíveis, é possível priorizar e direcionar recursos de ações corretivas, preditivas e monitoramento. Para sistemas de monitoramento estão sendo direcionados recursos para instalação os detectores de queda de barreira (DQB), monitoramento e sensoriamento distribuído baseado em som por meio de fibra ótica e monitoramento meteorológico por pluviômetros automáticos.

O monitoramento de queda de barreira (DQB) consiste na instalação de equipamentos e dispositivos em áreas de risco de deslizamentos, como sensores de movimento, câmeras de vigilância e alarmes, com o objetivo de detectar precocemente sinais de instabilidade no terreno. Esses dispositivos permitem acompanhar em tempo real a movimentação do solo e identificar possíveis situações de risco, acionando alertas para que medidas de segurança possam ser tomadas com antecedência.

O outro sistema utilizado é baseado na tecnologia DAS (Distributed Acoustic Sensor – Sensoriamento distribuído baseado em som) este faz uso da vibração gerada na fibra ótica para caracterizar eventos. Com a fibra ótica instalada na subsuperfície lateral às margens da via permanente, é possível capturar e registrar eventos ferroviários através de um equipamento específico e estrategicamente posicionado, podendo destacar três das principais aplicações esperadas: Rastreamento de trens e gerenciamento de performance, Monitoramento de condição de ativos e segurança (Duque, 2022).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

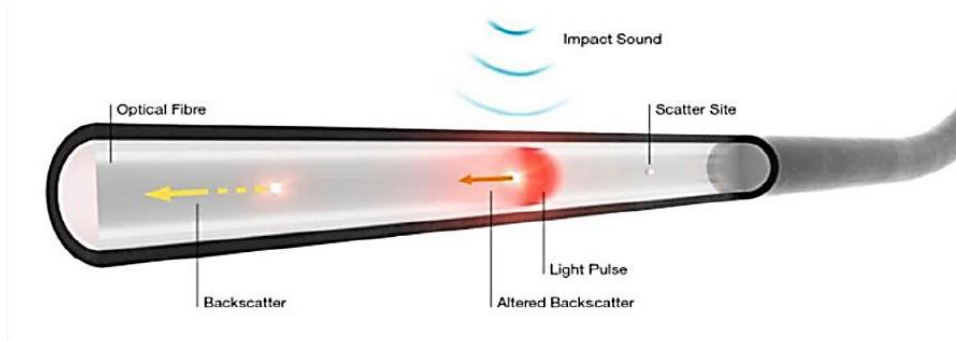


Figura 15 - Croqui mostrando a captação de vibrações acústicas pela fibra
Fonte: Documento técnico interno-6758 (Sensonic,2020, apud Duque,2022)

Enquanto os DQBs e a tecnologia de monitoramento por fibra óptica detectam o movimento de massa, outra ferramenta utilizada é o pluviômetro, instrumento utilizado para medir a quantidade de chuva que incide em determinado local em um determinado período. Essa medição é importante para o monitoramento das condições meteorológicas e entendimento dos gatilhos de chuvas (intensidade e acumulados) que deflagram o movimento de massa. Essa tecnologia além de monitorar, fornece histórico dos eventos pluviométricos ocorridos, informações que irão compor a atualização anual do mapa de suscetibilidade a deslizamento de massa.

Portanto, as tecnologias de monitoramento são ferramentas essenciais prevenção de deslizamentos de massa, permitindo a adoção de medidas preventivas e ações de segurança operacional e estruturação em áreas vulneráveis. Neste contexto, o uso de mapas de suscetibilidade tornou-se uma ferramenta essencial para auxiliar na seleção de pontos críticos que demandam monitoramento constante.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Teste de implantação

Para início dos testes das tecnologias de monitoramento, foi selecionada a região da Serra do Tigre, localizada no município de Campos Altos em Minas Gerais, local com alta concentração histórica de escorregamentos de taludes no período chuvoso.

A Serra do Tigre, fica as margens do Rio Perdição, importante afluente da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco. Esta região está localizada na unidade geológica do Grupo Bambuí, presente em aproximadamente 53% do Alto São Francisco, este grupo tem como característica ocorrências de processos erosivos, evidenciando a suscetibilidade da área em estudo (Souza, 2017).



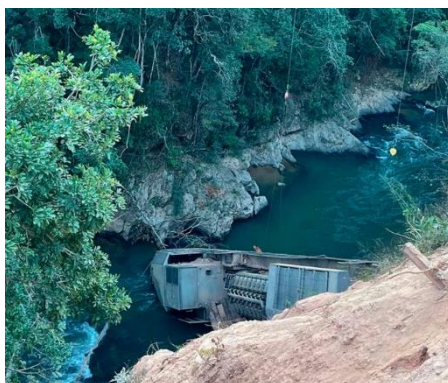
Figura 16 – Exemplo de processo erosivo grupo geológico Bambuí.
Fonte: Souza, 2017

Estudos geológicos e mapeamentos geotécnicos são essenciais para compreender a dinâmica da serra e para planejar ações de conservação e preservação ambiental na região. Em janeiro de 2023 o Estado de Minas Gerais foi atingido por um grande volume

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

de chuvas que sucedeu em impactos na ferrovia como o descarrilamento de uma locomotiva, especificamente na serra a aproximadamente 14 quilômetros de Tapiraí/MG e 15 quilômetros de Campos Altos/MG, houve uma queda de barreira onde a locomotiva resvalou até o Rio Perdição (Figura 17).



**Figura 17 - Locomotiva descarrilada a 14 quilômetros de Tapiraí.
Fonte: TVKZ a notícia com credibilidade (06/2023)**

A análise pluviométrica elaborada a partir dos dados de precipitações registradas nas estações pluviométricas do INMET de Bambuí/MG e Araxá/MG demonstram que o mês de janeiro de 2023 registrou acumulado de chuvas superior à média histórica (Figura 18 a Figura 20).

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

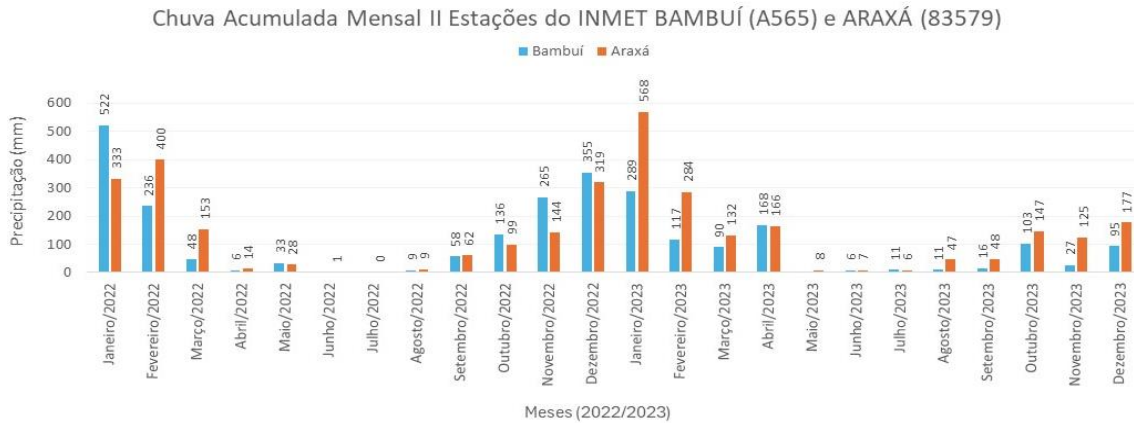


Figura 18 – Chuva acumulada mensal das Estações Pluviométricas de Bambuí (A565) e Araxá (83579). Fonte: INMET, 2024

O registro histórico de precipitação máxima acumulada para a estação de Araxá foi 294,3mm (Figura 19), conforme normais climatológicas¹. A precipitação máxima acumulada registrada no mês de dezembro de 2022 foi de 319mm e janeiro foi de 568mm (Figura 18), sendo esta última aproximadamente o dobro da média histórica. Para estação de Bambuí, o mês de dezembro registrou 355mm (Figura 18) comparando com as normais climatológicas¹, verifica-se que os valores estão acima dos registros históricos entre as décadas de 1961-1990 e de 1991-2020 (Figura 20).

¹ Normal climatológica de um elemento climático em um local, é o valor médio que correspondente a um número de anos suficiente para se pode admitir que ele representa o valor predominante daquele elemento no local considerado.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

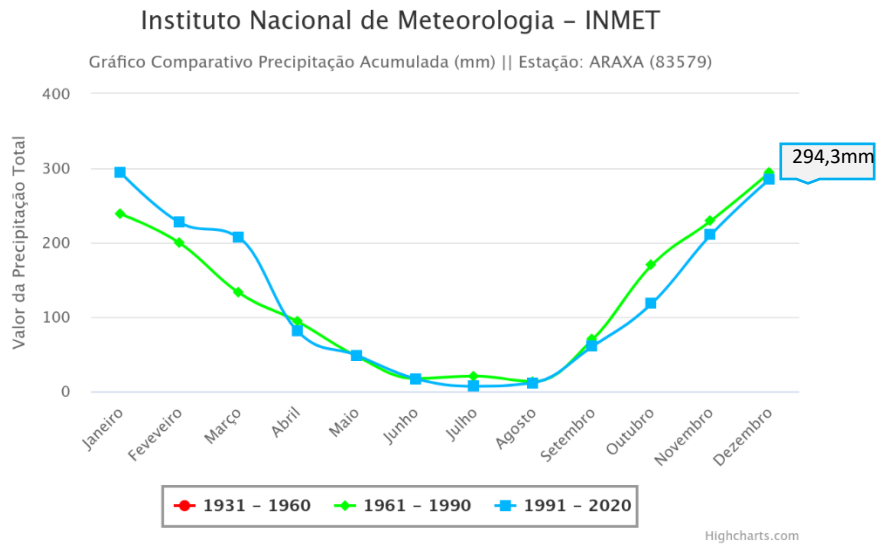


Figura 19 - Gráfico Comparativo Precipitação Acumulada Histórica (mm) Estação Pluviométrica de Araxá/MG Fonte: INMET, 2024

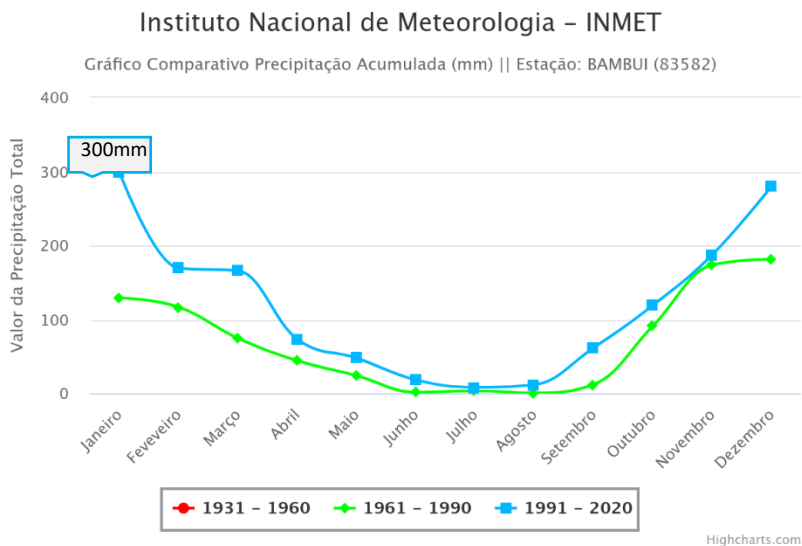


Figura 20 – Gráfico Comparativo Precipitação Acumulada Histórica (mm) Estação de Bambuí/MG. Fonte: INMET, 2024

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Conforme o informativo nº 01/2023 emitido em 02/01/2023 pelo INMET (Figura 21), a estação meteorológica de Bambuí, está entre os locais onde foram registrados os maiores acumulados de chuva na região Sudeste.

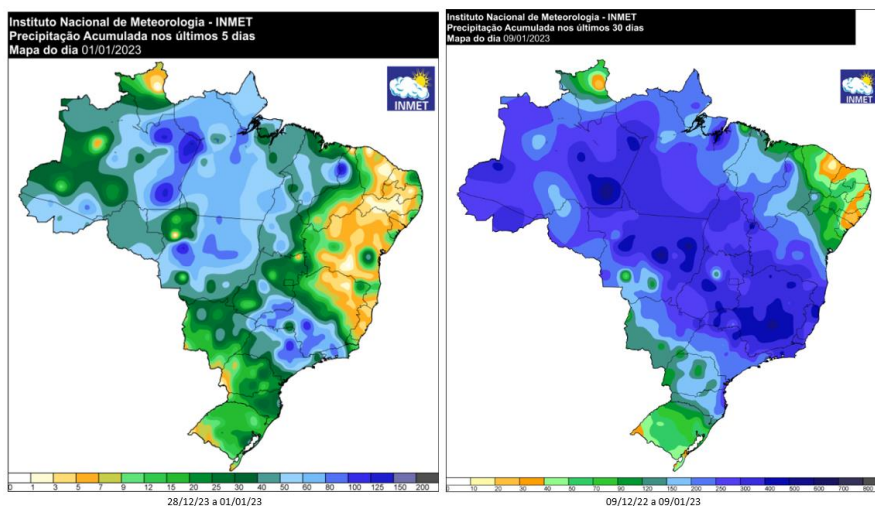


Figura 21 – Gráficos de acumulado de chuva. Fonte: INMET.

De acordo com Farina *et. Al*, 2022, o principal gatilho do deslizamento de terra é a infiltração de água, com o subsequente aumento das pressões de água dos poros dentro da massa do solo. Deslizamentos de terra pequenos e rasos são predominantemente influenciados por chuvas de alta intensidade de curta duração, embora possam ser facilitadas pela saturação do solo decorrente de episódios anteriores de chuva. Movimentos de massa maiores e mais profundos, por outro lado, geralmente são desencadeados por variações no nível das águas subterrâneas produzidas pela lenta e moderada infiltração de água, produzida, por sua vez, por episódios mais longos de chuva (apud Duque, 2023).



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

Santos *et al.* (2019) informa que em estudos de limiares de precipitação que geram os deslizamentos de terra, apontam o acumulado de chuvas em um período de até 4 dias como os principais fatores pluviométricos que desencadeiam os movimentos de massa. Avaliando a precipitação ocorrida entre os meses de novembro e dezembro de 2022 e janeiro de 2023 sobre região da Serra do Tigre, indica que a queda de barreira ocorreu devido a saturação do solo da encosta na lateral da ferrovia, consequências dos altos índices pluviométricos. A análise dos dados apresentados revela um aumento nos índices pluviométricos, o que levou a uma ocorrência ferroviária. Diante desse cenário, tornou-se evidente a necessidade de prever e se preparar para eventos naturais adversos. Como medida preventiva, foram instaladas estações pluviométricas ao longo dos pontos críticos da Serra do Tigre, a fim de ampliar a cobertura pluviométrica e minimizar os riscos. Além disso, um sistema de detecção de queda de barreiras (DQB) e monitoramento por fibra ótica foram implementados para aumentar a segurança e prevenir acidentes futuros. Este estudo destaca a importância de medidas preventivas e de monitoramento para lidar com os desafios impostos pelas mudanças climáticas e eventos naturais extremos.

30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

RESULTADOS A CURTO PRAZO

Os resultados obtidos e a base de dados utilizada foram publicadas no Ambiente Virtual de Análise, o Geoinfo (Figura 22). A plataforma possibilita a interação do usuário com os dados de interesse, tendo como possibilidade a utilização de mapas e painéis interativos. Isto porque, a visualização de dados geográficos em ambiente WebGIS, permite a visualização da informação, possuindo, mas não se limitando, às seguintes características como, acesso a dados de qualquer lugar com conexão à internet; ferramentas interativas, como zoom, consultas de atributos e medições, permitem que os usuários explorem os dados de maneira mais detalhada e personalizada, dados e análises podem ser facilmente compartilhados entre diferentes usuários e organizações, download da informação geográfica visualizada etc. O WebGIS também pode ser integrado com outras plataformas e sistema, acessando dados de outras organizações.

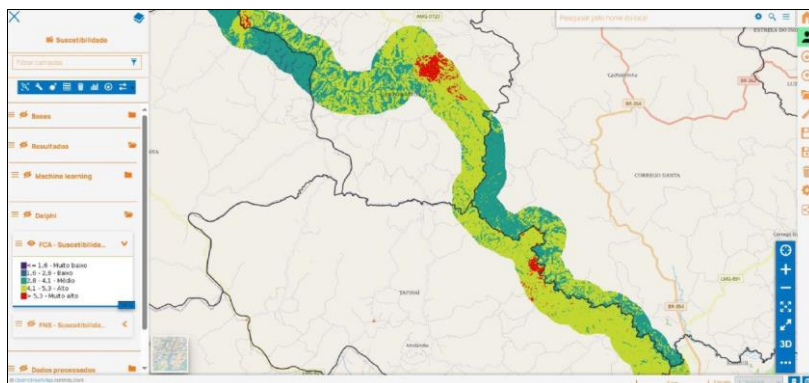


Figura 22 – Mapa de Suscetibilidade disponível no Geoinfo. Fonte: Geoinfo



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

RESULTADOS A MÉDIO E LONGO PRAZO

O Mapa de suscetibilidade foi concluído em janeiro de 2024, o modelo demanda uma calibragem de dois a cinco anos. É recomendado que seja feita uma atualização anual dos dados de inspeções de ativos e mapas bases disponibilizados por órgãos públicos (em caso de republicação). Abaixo são apresentados os resultados de médio a longo prazo esperados pela integração do mapa de suscetibilidade a deslizamento de massa à outros setores:

- **Eficiência no acionamento de alertas:** A utilização da nota de suscetibilidade proporcionará maior precisão nas interdições e restrições de velocidade, evitando interdições desnecessárias ou a deficiência destas devido a parâmetros generalistas anteriormente utilizados.
- **Eficiência na priorização das equipes de inspeção:** Direcionar as equipes de inspeção para os trechos mais críticos, permite a identificação célere das patologias mais graves.
- **Otimizar o tempo de atendimento a falhas:** A identificação de patologias graves permite direcionar recursos de forma adequada, evitando gastos desnecessários e garantindo um tratamento eficaz;
- **Redução de verbas direcionadas custos emergenciais:** A identificação e tratamento de áreas críticas resultará em uma redução significativa nos custos



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

relacionados ao atendimento de emergências causadas por deslizamentos de terra associados a pluviometria.

- **Redução do tempo de tráfego, “Transit Time”:** Com a melhoria da eficiência em trechos específicos, é possível remover restrições de velocidade e reduzir o tempo de tráfego, "Transit Time".
- **Aumento de volume:** O aumento do peso bruto por vagão impacta diretamente a necessidade de manutenção da infraestrutura e superestrutura ferroviária em áreas críticas.
- **Integração de sistemas:** A extração automática de notas do mapa e sua integração com diversos sistemas, como controle operacional e de alertas, planejamento de gestão de ativos e fichas de inspeção, garantem uma gestão mais eficiente e integrada.
- **Preservação de Recursos Hídricos:** Estudos de áreas ambientais afetadas por deslizamentos que possam causar assoreamento de cursos d'água, causando inundações e poluição.
- **Gestão e mapeamento de áreas degradadas:** Identificação de áreas afetadas por deslizamentos e planejamento de medidas preventivas para estabilizar o solo, reduzir a erosão e a degradação do terreno.
- **Avaliação de Impactos e Riscos em Áreas Sensíveis da faixa de domínio:** Subsídio para estudo de como Unidades de Conservação, APPs e Áreas Urbanas.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CONCLUSÕES

O objetivo da equipe técnica envolvida nesta pesquisa foi gerar modelo de análise espacial que responda aos questionamentos da localização, distribuição geográfica e nível de severidade dos trechos críticos na ferrovia com maior probabilidade natural de deslizamentos através da ferramenta 'Mapa de Suscetibilidade', deste modo conforme os resultados apresentados, as notas geradas através da metodologia anteriormente apresentada se mostram coerentes com as características apresentadas na ferrovia e o resultado dos métodos utilizadas, Delphi e Machine Learning, se mostraram aderentes as amostras apresentadas.

Conforme descrito, em 2024 têm sido realizados os testes de implantação nos trechos descritos como críticos de forma comprovada pelo Mapa de Suscetibilidade e de modo empírico pelo corpo técnico ferroviário. Os testes envolvem os setores de segurança operacional, via permanente, gestão de ativos de infraestrutura e gerenciamento de riscos de infraestrutura tendo como ganhos a curto prazo as ações preventivas para o período de chuvas, a médio prazo as corretivas e a longo prazo a indicação de novos pontos para receber os sistemas de monitoramentos que trazem a eficiência no acionamento de alertas, priorização das equipes de inspeção, otimização do tempo de atendimento a falhas, redução de verbas de custos emergenciais com acidentes, redução do tempo de tráfego, "*transit time*", aumento de volume, integração de



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA

11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

sistemas e a gestão de recursos hídricos: mapeamento de áreas degradadas, avaliação de impactos e riscos em áreas sensíveis da faixa de domínio.

Como resultados de longo prazo aproveitando-se o máximo do mapa de suscetibilidade há a indicação de inclusão no *business plan* (BP) de via permanente controles preventivos, como construção de dispositivos de drenagem, tratamento de encostas e implantação de bioengenharia em conjunto com inspeções nos locais mais suscetíveis, com o intuito de confirmar as notas informadas pelo mapa. O próximo passo será direcionar sistemas de monitoramento e levantar os locais que necessitam ser direcionados para obras de infraestrutura. Além dessas ações o mapa deverá ser atualizado anualmente para apresentar o cenário mais atual dos ativos.

Como destacado neste estudo, o Mapa de Suscetibilidade é uma ferramenta crucial no contexto logístico, desempenhando um papel fundamental no gerenciamento e planejamento para garantir a integridade dos ativos, como elementos ferroviários de infraestrutura, tais como taludes, bueiros e pontes. Sua importância reside na capacidade de auxiliar as empresas de transporte de cargas e passageiros na implementação de medidas preventivas, tanto estruturais quanto não estruturais, com o propósito de assegurar a segurança operacional, o transporte seguro e a sustentabilidade do negócio diante dos eventos naturais.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁGUAS, A. N. D. Mudanças Climáticas e Recursos Hídricos - Avaliação e Diretrizes para Adaptação, Brasília, 2016. 92.

BILHERI, A. Manutenção 4.0 da Via Permanente: avanços na utilização de big data. **VI Encontro ANTF de Ferrovias**, 2021. 8.

CAMPBELL, R. F. M. E. H. C. Priorização de manutenção de via permanente em um trecho ferroviário utilizando modelagem matemática. **VI ENCONTRO ANTF DE FERROVIAS – EDIÇÃO DIGITAL**, Agosto 2021. 8.

Cartas de suscetibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundações: 1:25.000 (livro eletrônico): nota técnica explicativa / coordenação Omar Yazbek Bitar. -- São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo; Brasília, DF: CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2014. – (Publicação IPT; 3016). Disponível em: <
https://rigeo.sgb.gov.br/bitstream/doc/16588/1/NT-Carta_Suscetibilidade.pdf >

Castro, D. M., & Moura, A. C. M. (2010). Procedimentos de Data Mining na Definição de Valores para as Análises de Multicritérios como Apoio à Tomada de Decisões e Análises Espaciais Urbanas. In: Anais do XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, pp. 182-196. São José dos Campos: INPE, 2017.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA **11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS**

DALILA CARVALHO DE ALMEIDA FILIPPETTO PIRES. **Definição de limites de chuva associados ao risco de escorregamentos na Serra do Tigre.** Documento Interno da VLI - DT VIA 6759/2022. [S.I.], p. 21. 2022.

D DEZ (Urandi - BA). Trem descarrila na serra entre Urandi e Licínio de Almeida. **D DEZ**, Urandi - BA, p. 1-1, 27 dez. 2013. Disponível em: <https://ddez.com.br/2013/12/27/trem-descarrila-serra-entre-urandi-licinio-almeida/>. Acesso em: 26 jul. 2024.

GIDES, P. Fortalecimento da Estratégia Nacional de Gestão Integrada de Riscos de Desastres , Rio de Janeiro , 2018. 218.

HILTON LUIS DA SILVEIRA, C. V. E. R. A. V. Avaliação Multicritério no Mapeamento da Suscetibilidade de Deslizamentos de Terra. **Revista Árvore** , 14 Março 2014. 10.

JORNAL DE LAVRAS (Lavras - MG). Ferrovia em Lavras está parcialmente destruída pela chuva - veja fotos: A chuva destruiu um aterro da linha férrea entre Lavras e Três Corações, os trilhos estão suspensos e casas próximas foram desocupadas. **Jornal de Lavras**, Lavras - MG, p. 1-1, 2 nov. 2011. Disponível em: <http://www.jornaldelavras.com.br/index.php?p=10&tc=4&c=1420&catn=7>. Acesso em: 26 jul. 2024.

LEMOS, C. E. **Registro Histórico de tecnologia para detecção de descarrilamento e anomalias de via permanente - FTS.** Documento interno da VLI - DT VIA 5497/2021. [S.I.], p. 9. 2021.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

LYNN M. HIGHLAND E PETER BOBROWSKY. O manual de Deslizamento - Um Guia para compreensão de Deslizamentos. **USGS - Science for a changing world** , Virginia , 2008.

176.

MASATO KOBIYAMA, M. M. D. A. M. **Livro Prevenção a desastres Naturais - Conceitos Basicos**. Curitiba : Organic Trading , 2006.

Marques JBV, Freitas D de. Método DELPHI: caracterização e potencialidades na pesquisa em Educação. Pro-Posições [Internet]. 2018May;29(2):389–415. Available from: <https://doi.org/10.1590/1980-6248-2015-0140>

Medeiros, J. S. & Câmara, G. (2007). Introdução à Geoinformática. Capítulo 10: Geoprocessamento para Projetos Ambientais. INPE, 36 p. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/cap10-aplicacoesambientais.pdf>.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO, D. E. G. Matriz de Riscos - Gestão de Integridade, Riscos e Controles Internos da Gestão. **MATRIZ DE RISCOS**, 07 junho 2017. 15. Disponível em: <<https://www.gov.br/transportes/pt-br/pt-br/centrais-de-conteudo/170609-matriz-de-riscos-v1-1-pdf>>.

MOURA, A. C. M. Reflexões metodológicas como subsídio para estudos ambientais baseados em Análise de Multicritérios. Anais XXIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2899-2906. Disponível em:



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr%4080/2006/11.13.14.41/doc/2899-2906.pdf>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MOURA, Ana Clara. Contribuições metodológicas do geoprocessamento à geografia. Dissertação (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2000. 41 p. Disponível em: <http://www.cgp.igc.ufmg.br/apostilas>. Acesso em: 25 jul. 2024.

MOURÃO, A. C. M.; JANKOWSKI, P. Contribuições aos estudos de análises de incertezas como complementação às análises multicritérios - "sensitivity analysis to suitability evaluation". Revista Brasileira de Cartografia, v. 68, n. 4, p. 665-684, 2016. Disponível em:

<https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/44274/23359>.

Acesso em: 25 jul. 2024.

NATIONS, U. united nations plan of action on disaster risk reduction for resilience, January 2017. 16.

O DIA (Quatis - RJ). Queda de barreira em linha férrea causa tombamento de composição: Não houve feridos; tráfego já foi normalizado. **O Dia**, Quatis - RJ, p. 1-1, 24 fev. 2023. Disponível em: <https://odia.ig.com.br/quatis/2023/02/6582534-queda-de-barreira-em-linha-ferrea-causa-tombamento-de-composicao.html>. Acesso em: 26 jul. 2024.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

OLIVEIRA, M. D. S. P. Mapeamento da Suscetibilidade a movimentos de Massa no município de São Sebastião-SP por meio de Inferência Fuzzy. **INPE**, 2022. 25.

PRISCILA CELEBRINI DE OLIVEIRA CAMPOS, M. E. S. M. D. L. R. Investigação de Gatilhos Geotécnicos de Movimentação de Massa em Taludes Ferroviários. **VI Encontro ANTF de Ferrovias**, Agosto 2021. 8.

PROADAPTA. Levantamento de Impactos e riscos climáticos sobre a infraestrutura federal de transportes terrestres (rodoviário e ferroviário) existente e projetada, 2021. 169.

RENATO DUQUE RIBEIRO. **Gestão de riscos geotécnicos na Serra do Tigre - Centro Leste**. Documento Técnico interno da VLI - DT VIA 4066/2020. [S.l.], p. 47. 2020.

RIBEIRO, RENATO DUQUE. **Detecção de queda de barreira e queda de blocos de rocha através da utilização de fibra óptica**. Documento Interno VLI - DT VIA 6758/2022. [S.l.], p. 44. 2022.

ROBERTO NUNES VANACÔR, S. B. A. R. Mapeamento da Suscetibilidade a deslizamentos usando Técnica de estatística bivariada e sistema de informações geográficas na região Nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Jan-Mar 2012. 28.

SANDRE, E. S. D. M. E. L. H. Deaths from Landslides in Brazil: 1988 to 2022. **Mortes por deslizamentos no Brasil**, 2022. 117.



30ª SEMANA DE TECNOLOGIA METROFERROVIÁRIA 11º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

SALES, Gabriela. Trem descarrila em distrito de Janaúba. **Jornal Hoje em Dia**, Janaúba - MG, p. 1-1, 7 nov. 2017. Disponível em: <https://www.hojeemdia.com.br/minas/trem-descarrila-em-distrito-de-janauba-1.572029>. Acesso em: 26 jul. 2024.

SILVA, Cristiane. Deslizamento de terra atinge linha férrea e casas em Contagem: Lama desceu e deixou linha férrea suspensa. Terra atingiu casas e também parte da Avenida Tereza Cristina. **Estado de Minas**, Minas Gerais, 4 dez. 2017. Gerais, p. 1-1. Disponível em: https://www.em.com.br/app/noticia/gerais/2017/12/04/interna_gerais,921721/deslizamento-de-terra-atinge-linha-ferrea-e-casas-em-contagem.shtml#ancora_galeria1. Acesso em: 25 jul. 2024.

SOUZA, D. A. D. Zoneamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Alto São Francisco/MG, 2017. 82.

TERRESTRES, AGENCIA NACIONAL DE TRANSPORTES. Manuela de Fiscalização do Transporte Ferroviário, 2022. 116.

WIKILOC (Campos Altos/MG). Fotografia Serra do Tigre. foto digital. Disponível em: <https://pt.wikiloc.com/trilhas-trekking/ocorrencia-km-699-ao-km-697-123145409/photo-78828653>. Acesso em: 26 jul. 2024.