

DESENVOLVIMENTO DE UMA BASE DE DADOS GEORREFERENCIADA PARA ANÁLISE E PREVENÇÃO DE DESCARRILAMENTOS

Iago Figueiredo de Almeida
Luiz Antonio Silveira Lopes
João Bosco de Lima

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária

AUTORES

- Iago Figueiredo de Almeida
 - Engenheiro Civil (UNIFEI), Especialista em Transporte Ferroviário de Cargas (IME) e Mestrando em Engenharia de Transportes (IME)
- Cel Luiz Antônio Silveira Lopes
 - Engenheiro Civil (IME), Doutor em Engenharia de Transportes (UFRJ) e Professor Associado (IME)
- João Bosco de Lima
 - Engenheiro Civil (UFJF), Especialista em Gestão (PUC/MG) e Mestrando em Engenharia de Transportes (IME)



AGENDA

- Introdução
- Justificativa
- Objetivos
- Referencial Teórico
- Metodologia
- Estudo de Caso
- Conclusões
- Referências



1. INTRODUÇÃO

- Os custos envolvidos na implantação de um sistema ferroviário são muito elevados;
 - Deseja-se que o capital investido seja rentabilizado evitando-se acontecimentos que causem problemas ao sistema;
 - Destaca-se a ocorrência de descarrilamentos pois este evento causa muitos prejuízos e demanda um conhecimento técnico mais apurado dos engenheiros ferroviários.
-



1. INTRODUÇÃO



O descarrilamento de um trem deixou 108 mortos e ao menos 114 feridos no norte da Índia, em novembro de 2016.

Figura 1: Acidente com descarrilamento (1)

Fonte: <http://odia.ig.com.br/mundoeciencia/2016-11-20/acidente-de-trem-mata-mais-de-100-pessoas-e-deixa-dezenas-feridas-na-india.html>

1. INTRODUÇÃO



Um trem de carga descarrilou na Ferrovia Centro-Atlântica, na em Belo Horizonte, no início de 2016. 11 vagões carregados de milho tombaram. Possível motivo: alto volume de chuvas na região.

Figura 2: Acidente com descarrilamento (2)

Fonte: <http://noticias.r7.com/minas-gerais/trem-que-transportava-milho-para-o-espirito-santo-descarrila-em-mateus-leme-mg-20012016>

1.1. JUSTIFICATIVA

- A identificação correta dos fatos que deram origem ao acidente pode produzir uma base consistente de dados que conduzam à implementação de medidas preventivas e corretivas;
- Com isto, há uma alocação racional de recursos para reduzir a ocorrência de acidentes da forma mais rentável possível.



1.1. JUSTIFICATIVA

- A utilização de um SIG (Sistema de Informação Geográfica) facilita a integração de informações coletadas de fontes heterogêneas e possibilita uma visualização espacial rápida e simples das ocorrências estudadas.
- Desta forma, a capacidade de percepção do operador é aumentada e este poderá relacionar agentes causadores de acidentes associando a áreas de interesse.



1.2. OBJETIVOS

Analisar espacialmente a ocorrência de acidentes ferroviários envolvendo descarrilamentos, verificando principalmente a interação entre fatores físicos e climatológicos com as causas destes acidentes.



1.2. OBJETIVOS

Apontar os principais parâmetros para se examinar a ocorrência deste tipo de evento, assim como os mesmos podem formar uma base de dados para aplicação em análises espaciais utilizando o sistema de informação geográfica Quantum GIS (QGIS).



2. DESCARRILAMENTOS

- Processo no qual a roda de um veículo ferroviário perde a sustentação provida pelo trilho e toca o chão;
- Descarrilamento é um fenômeno probabilístico ocasionado por uma combinação de fatores críticos;
- É preciso conhecimento técnico para determinar qual o tipo de descarrilamento ocorreu e qual(is) foi(ram) a(s) causa(s) raiz e as contribuintórias.



2. DESCARRILAMENTOS

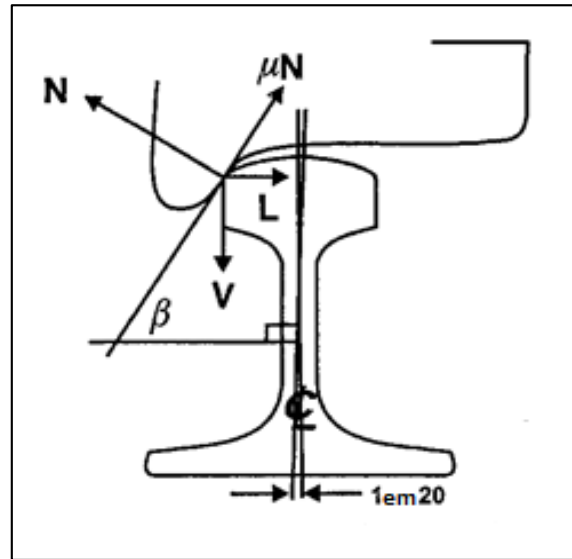


Figura 3: Forças que atuam no contato roda trilho
Fonte: Nadal (1908)

$$\frac{L}{V} = \frac{\tan \beta - \mu}{1 + \mu \tan \beta}$$

Onde:

L = força lateral no friso da roda;

V = carga vertical na roda;

β = ângulo do ponto de contato entre roda e trilho;

μ = coeficiente de atrito entre o lado interno do trilho e o friso da roda.

2. DESCARRILAMENTOS

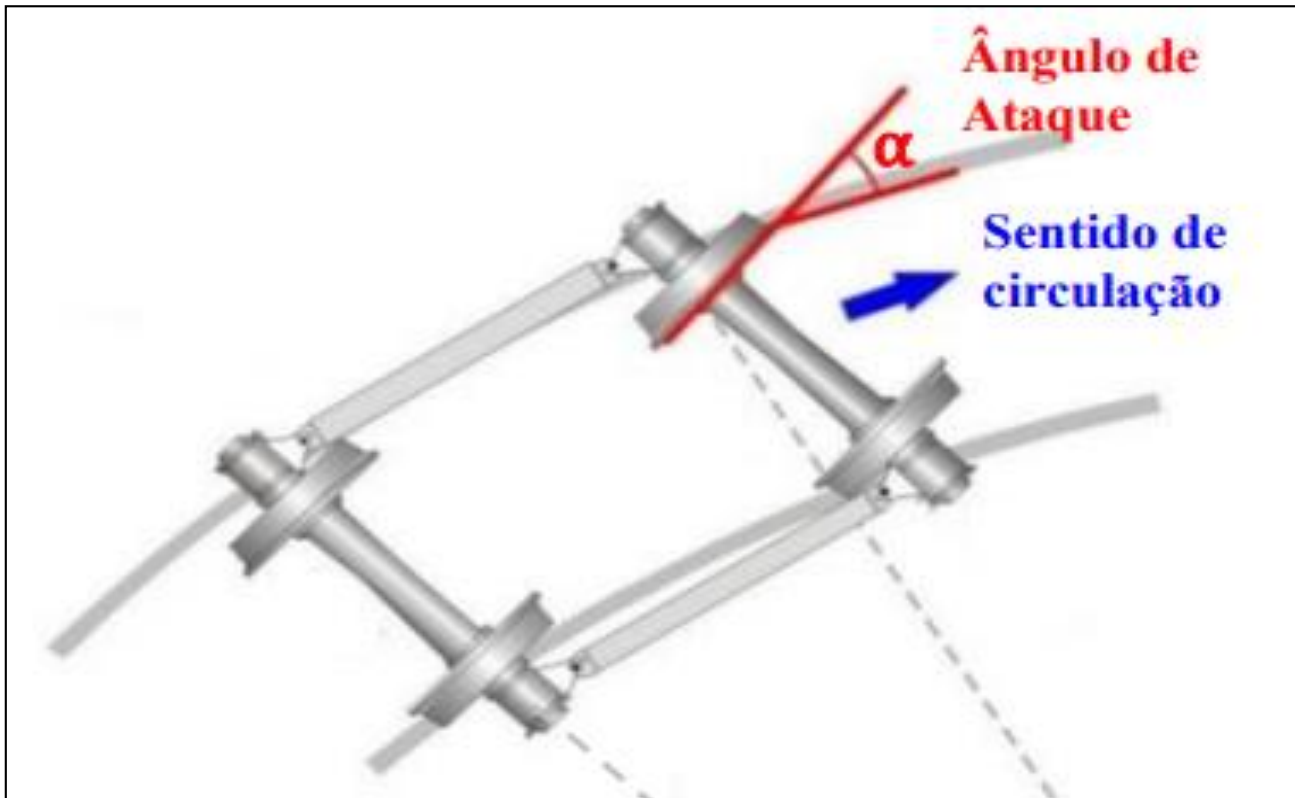


Figura 4: Formação de um Ângulo de Ataque (Critério de Heumann)

Fonte: Notas de aula de Vidon (2017)

2. DESCARRILAMENTOS

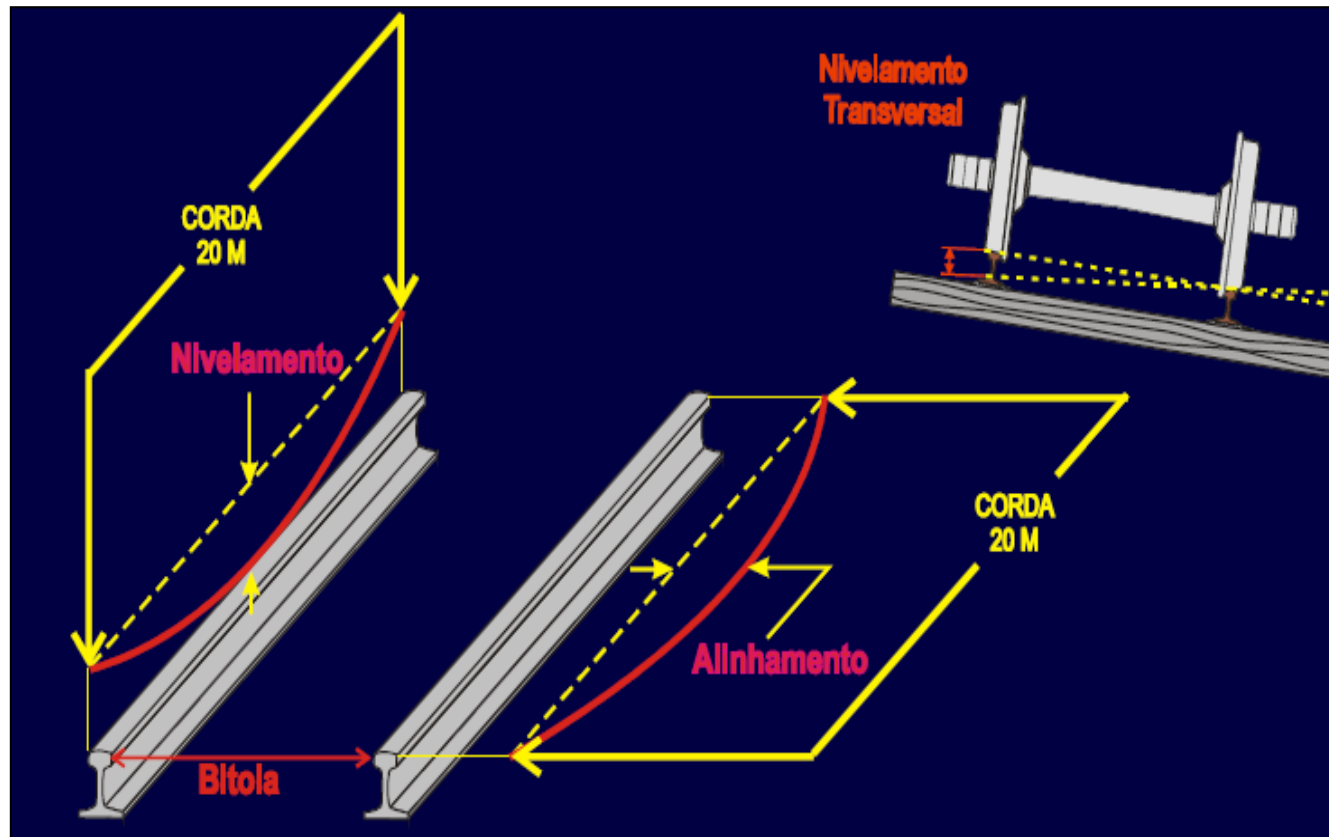


Figura 5: Parâmetros de Geometria de Via

Fonte: Notas de aula de Vidon (2017)

2. DESCARRILAMENTOS

- Estes parâmetros são condicionados por diversos aspectos;
- Elementos da superestrutura:
 - Dormentes;
 - Fixações;
 - Lastro e sublastro;
- Elementos da infraestrutura:
 - Dispositivos de drenagem;
 - Capacidade de carga do subleito;



2. DESCARRILAMENTOS

- Diversos fatores condicionantes que também podem estar combinados interagindo entre si;
- É preciso um estudo detalhado para identificar quais são determinantes para cada caso.



3. SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

- Sistema gráfico que trabalha com apenas três tipos de feições associadas a coordenadas geográficas (latitude e longitude):
 - Ponto;
 - Linha;
 - Polígono.
- Envolve de forma sistêmica e interativa bancos de dados, tecnologia e pessoal, sendo capaz de realizar análises espaciais, armazenar, manipular, visualizar e operar dados georreferenciados para obtenção de novas informações.



3.1. ANATOMIA DE UM SIG

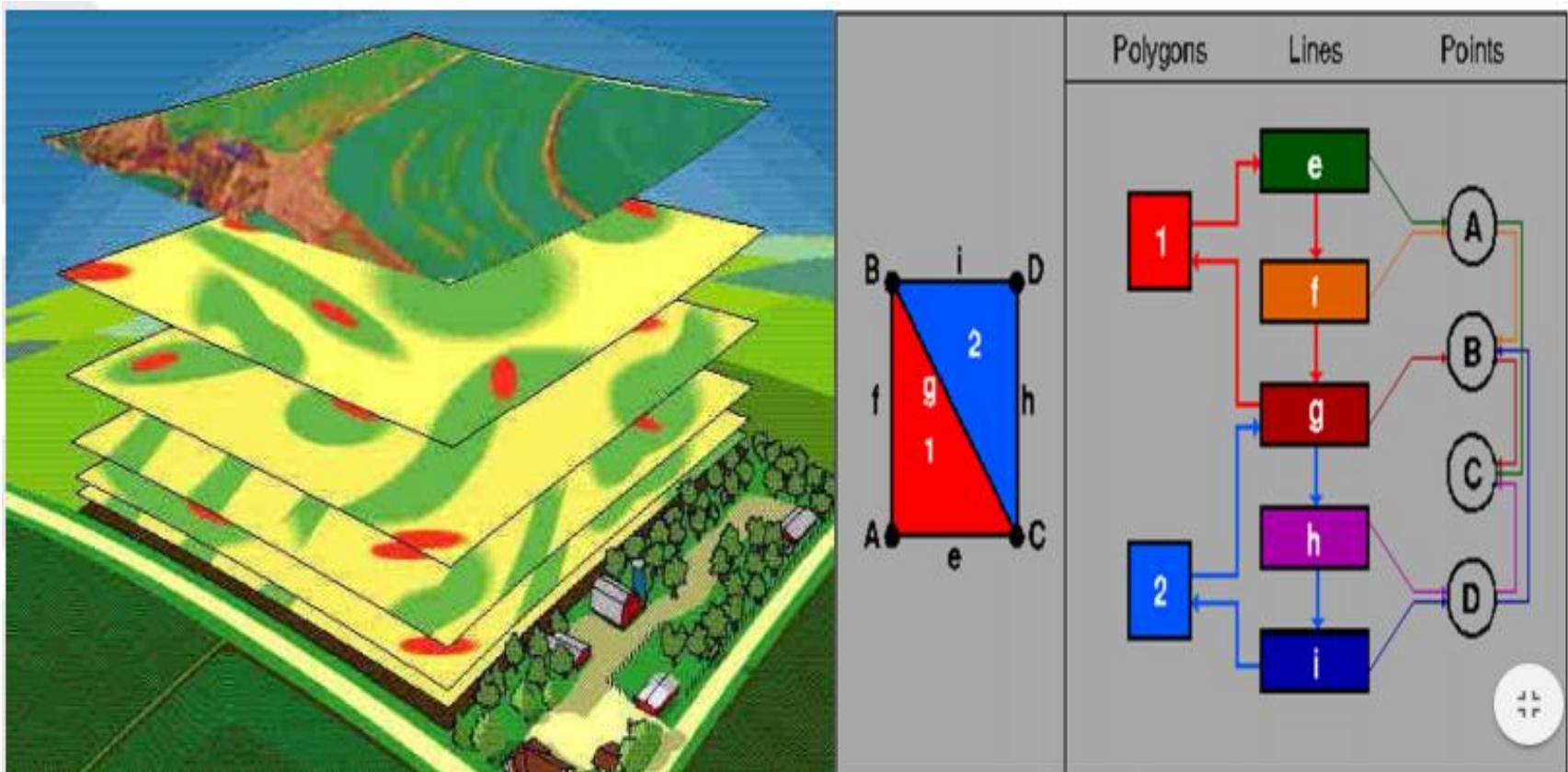


Figura 6: Camadas (layers) de um Sistema de Informações Geográficas

Fonte: Notas de aula de Vidon (2017)

3.2. QUANTUM GIS (QGIS)

- Interface simples;
- Código aberto (grátis);
- Pode ser completamente customizada de acordo com necessidades do usuário;
- Integração com ferramentas *online*.



4. METODOLOGIA

- 1 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA;
 - 2 - Georreferenciamento da área estudada;
 - 3 - Tratamento das informações sobre acidentes ocorridos no trecho de estudo;
 - 4 - Lançamento dos dados levantados no Quantum GIS;
 - 5 - Análise dos resultados;
 - 6 - Considerações e sugestões para trabalhos futuros.
-



4. METODOLOGIA

- 1 - Revisão bibliográfica;
 - 2 - GEORREFERENCIAMENTO DA ÁREA ESTUDADA;
 - 3 - Tratamento das informações sobre acidentes ocorridos no trecho de estudo;
 - 4 - Lançamento dos dados levantados no Quantum GIS;
 - 5 - Análise dos resultados;
 - 6 - Considerações e sugestões para trabalhos futuros.
-



4.2. ÁREA ESTUDADA

- Malha ferroviária administrada pela MRS Logística S.A.;
- Aborda 1.643 km de ferrovias nos estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro e São Paulo.
- Disposição geográfica importante por ligar regiões produtoras a grandes centros de consumo bem como aos portos do Rio de Janeiro, Sepetiba, Itaguaí e Santos.



4.2. ÁREA ESTUDADA

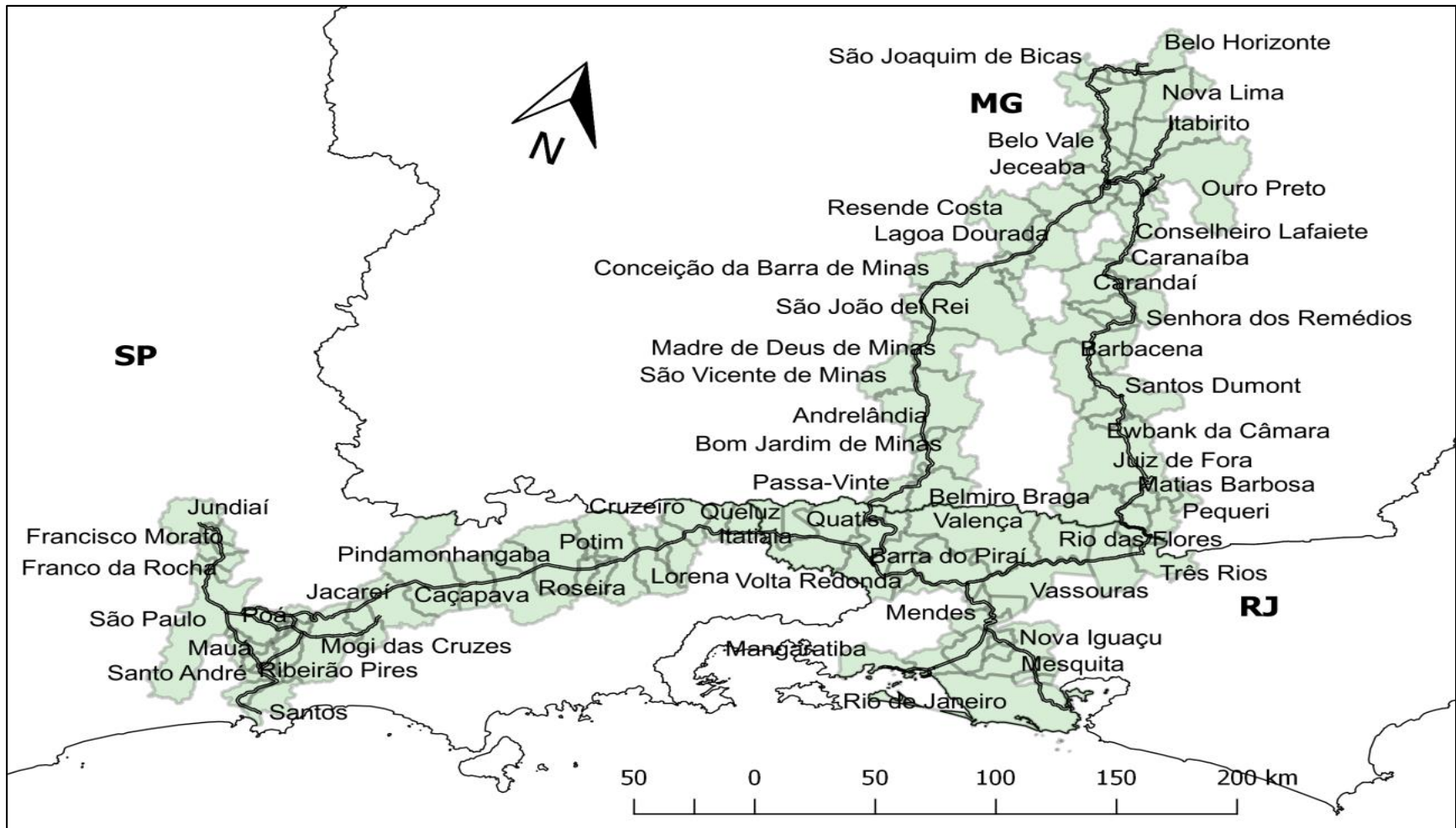


Figura 7: Malha ferroviária da MRS

4. METODOLOGIA

- 1 - Revisão bibliográfica;
 - 2 - Georreferenciamento da área estudada;
 - 3 - TRATAMENTO DAS INFORMAÇÕES SOBRE ACIDENTES OCORRIDOS NO TRECHO DE ESTUDO;**
 - 4 – Lançamento dos dados levantados no Quantum GIS;
 - 5 - Análise dos resultados;
 - 6 - Considerações e sugestões para trabalhos futuros.
-



=====



4.3. DESCARRILAMENTOS OCORRIDOS

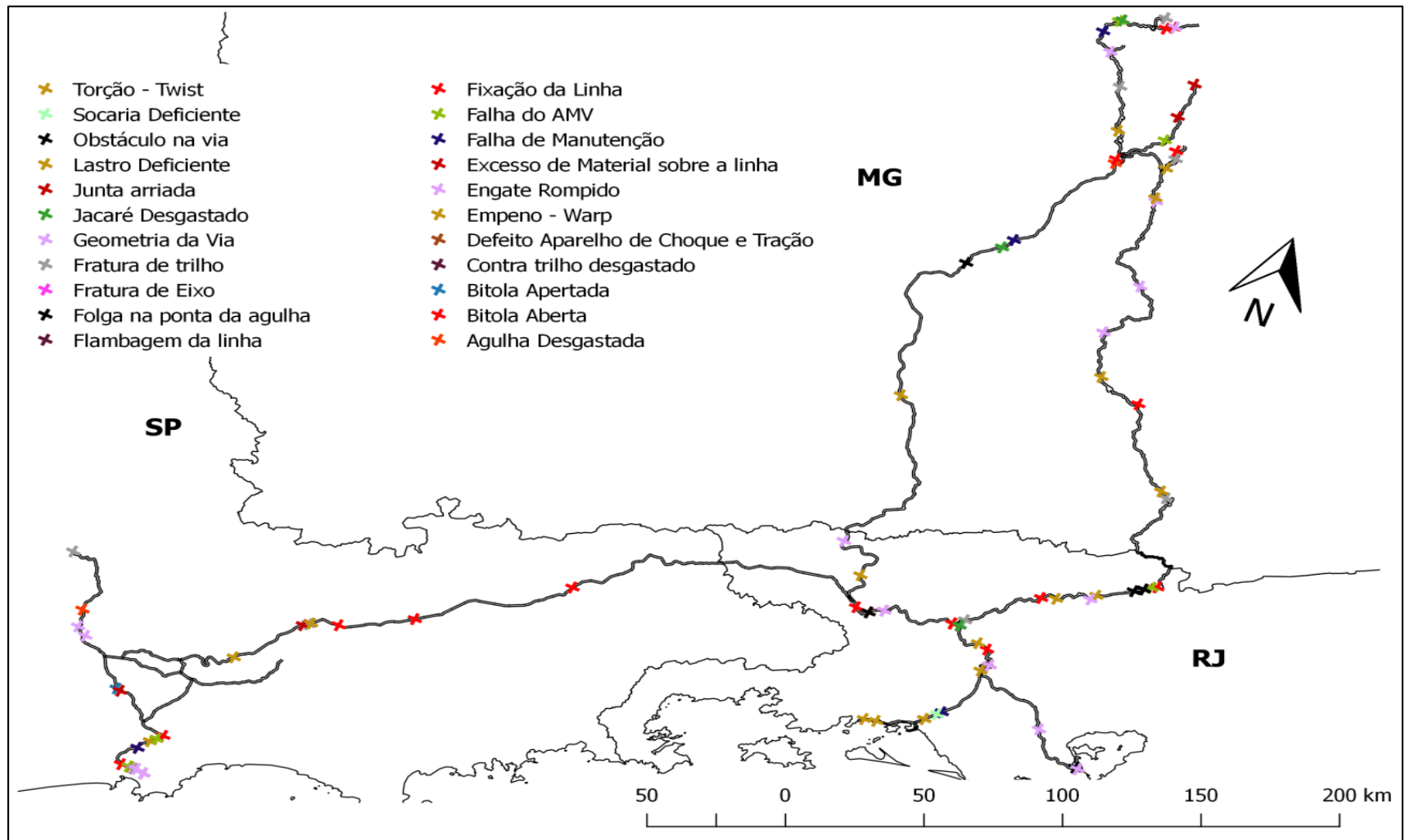


Figura 8 : Descarrilamentos por tipo

4.3. DESCARRILAMENTOS OCORRIDOS

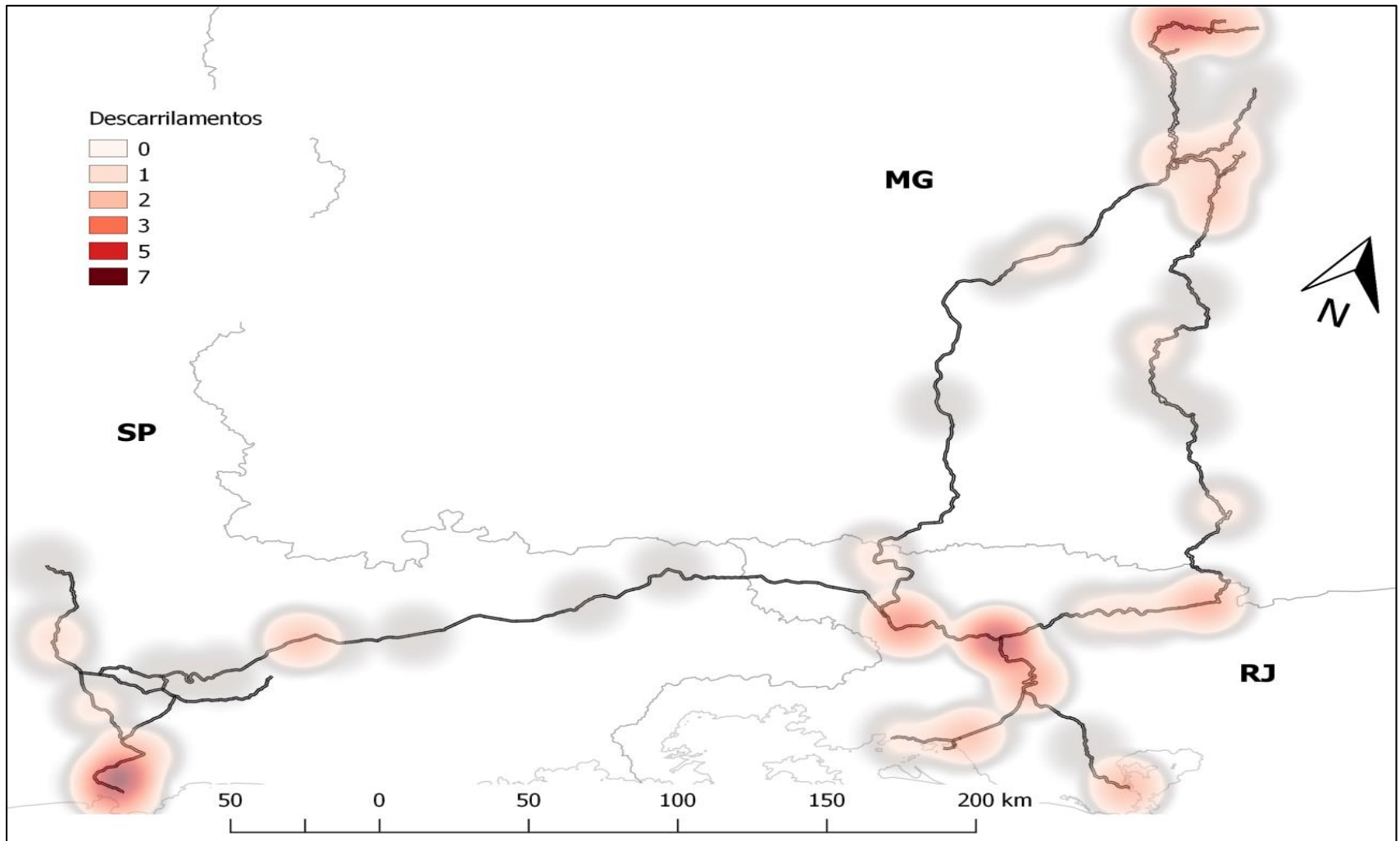


Figura 9: Mapa de Calor dos Descarrilamentos

4. METODOLOGIA

- 1 - Revisão bibliográfica;
- 2 - Georreferenciamento da área estudada;
- 3 - Tratamento das informações sobre acidentes ocorridos no trecho de estudo;
- 4 - **LANÇAMENTO DOS DADOS LEVANTADOS NO QUANTUM GIS;**
- 5 - Análise dos resultados;
- 6 - Considerações e sugestões para trabalhos futuros.



4.4. PLUVIOMETRIA

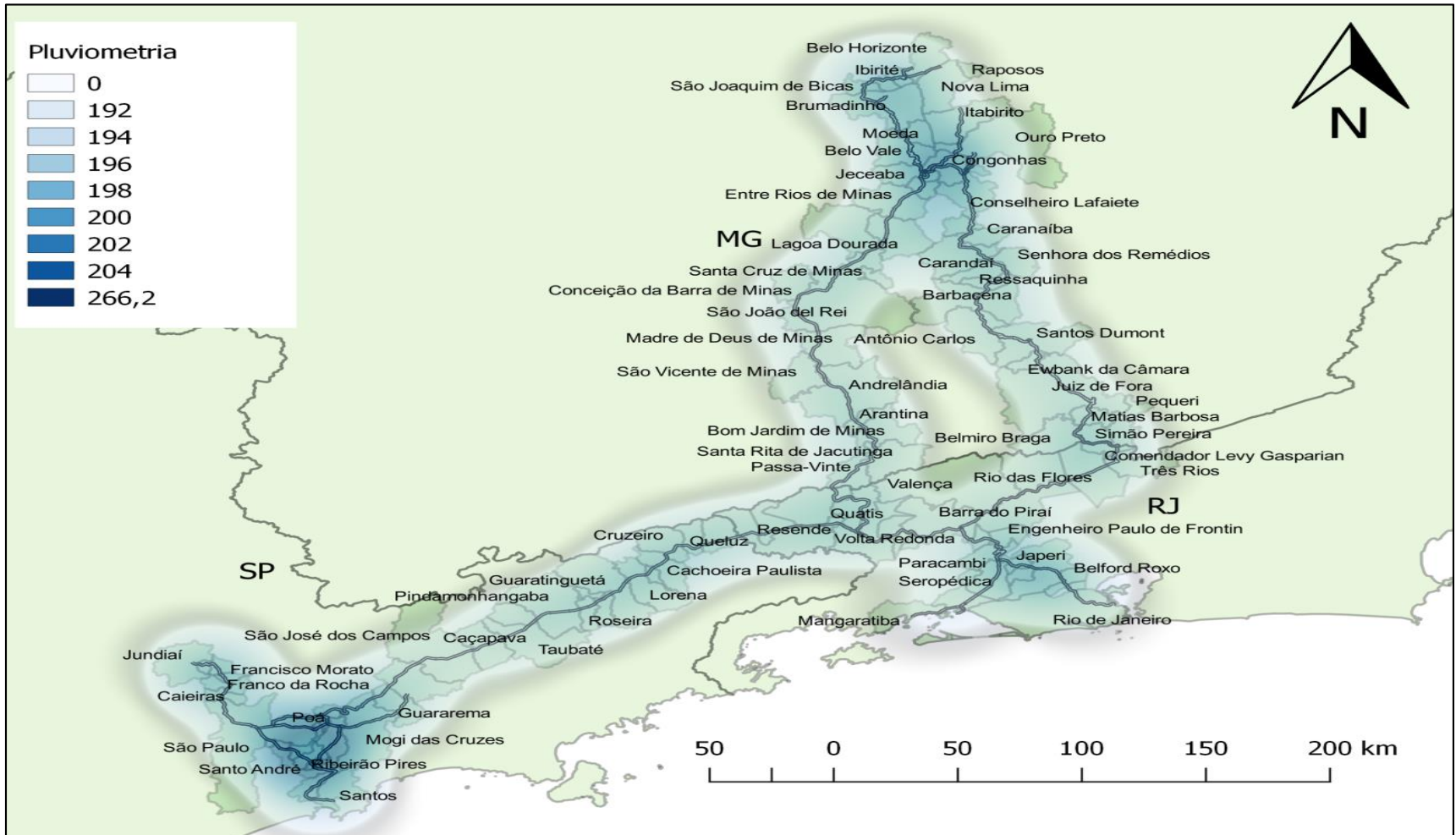


Figura 10: Média Pluviométrica Anual (mm/m²)

Fonte: Instituto de Pesquisas Espaciais – INPE (2016)

4.4. TIPOS DE SOLO (PEDOLOGIA)

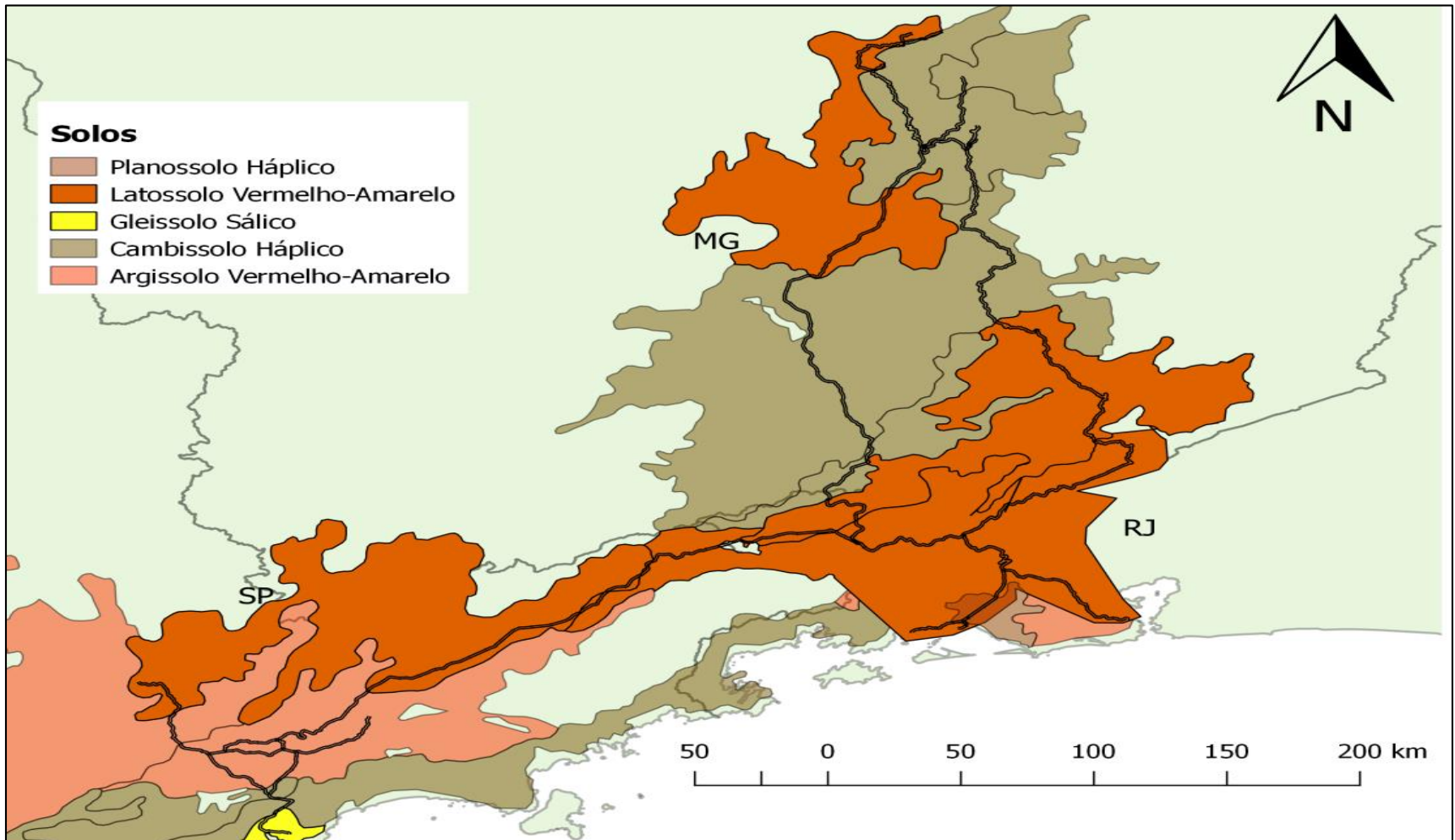


Figura 11 : Tipos de solo das Vias da MRS

Fonte: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2016)

4.4. MÓDULO RESILIENTE

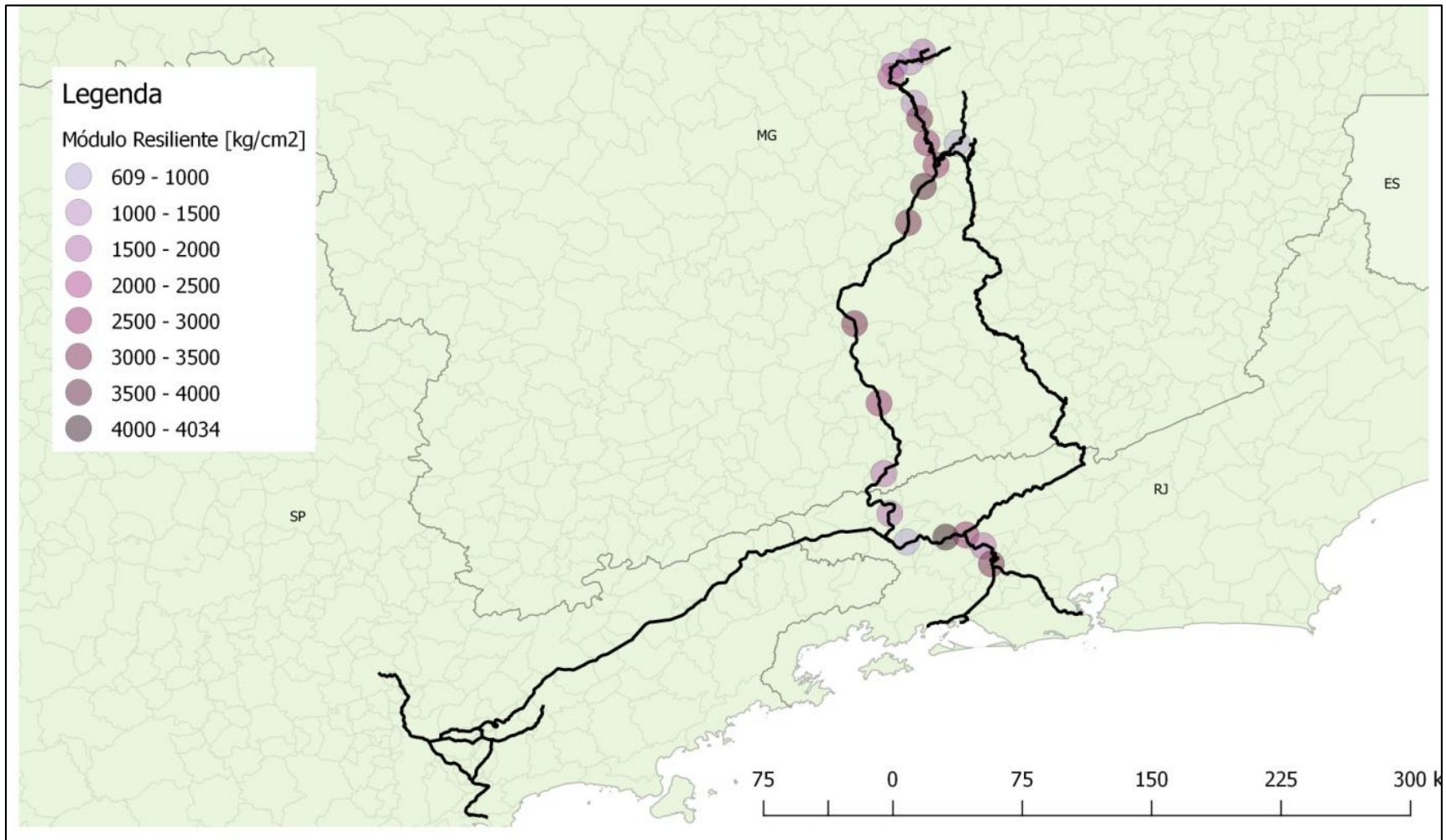


Figura 12 : Módulo resiliente de amostras de vias da MRS

Fonte: Dariva (2016)

4.4. COEFICIENTE DE ADENSAMENTO VERTICAL (c_v)

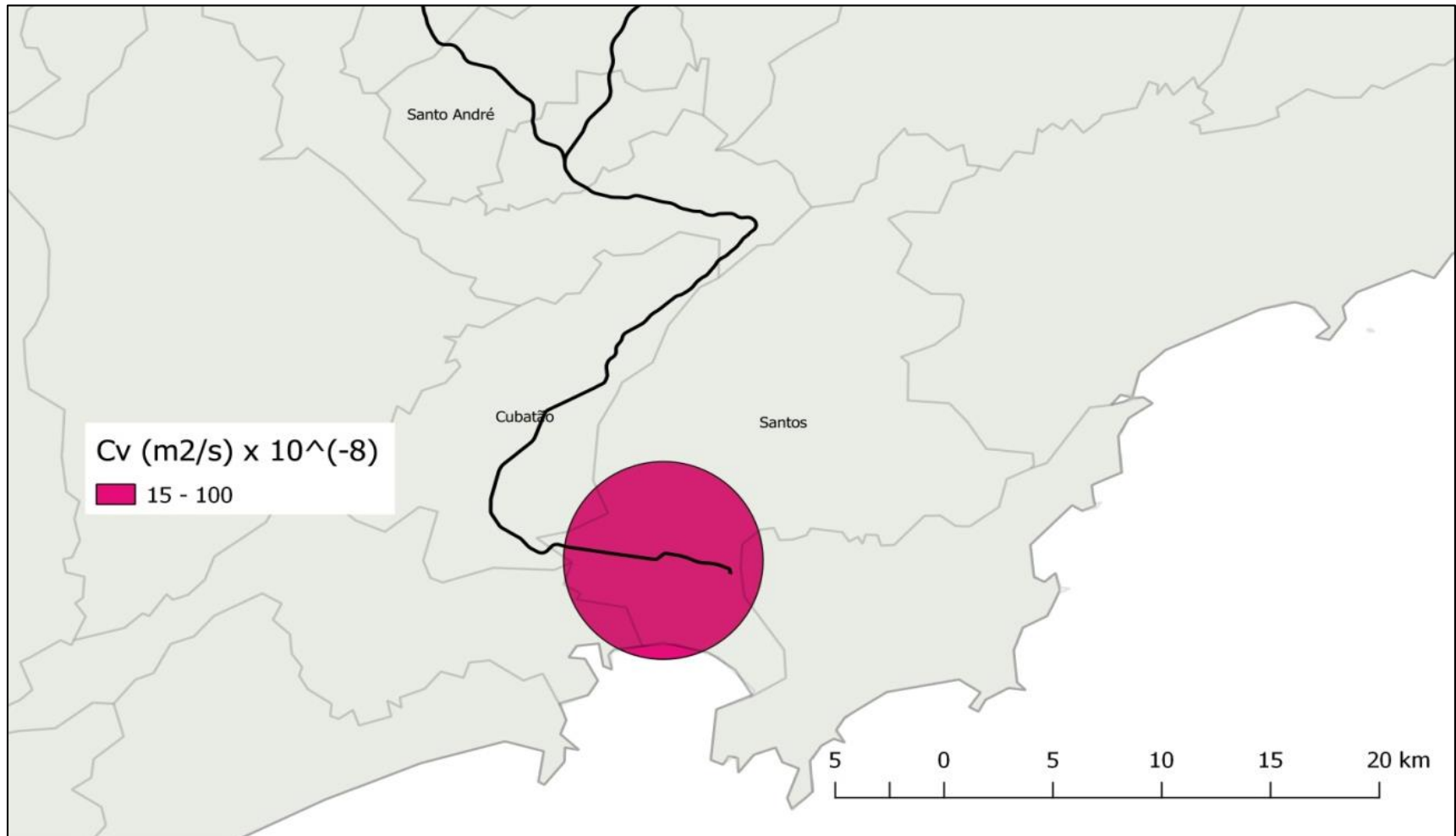


Figura 13 : c_v de argilas moles da região de Santos

Fonte: Almeida e Marques (2014)

4. METODOLOGIA

- 1 - Revisão bibliográfica;
 - 2 - Georreferenciamento da área estudada;
 - 3 - Tratamento das informações sobre acidentes ocorridos no trecho de estudo;
 - 4 - Lançamento dos dados levantados no Quantum GIS;
 - 5 - ANÁLISE DOS RESULTADOS;
 - 6 - Considerações e sugestões para trabalhos futuros.
-



4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

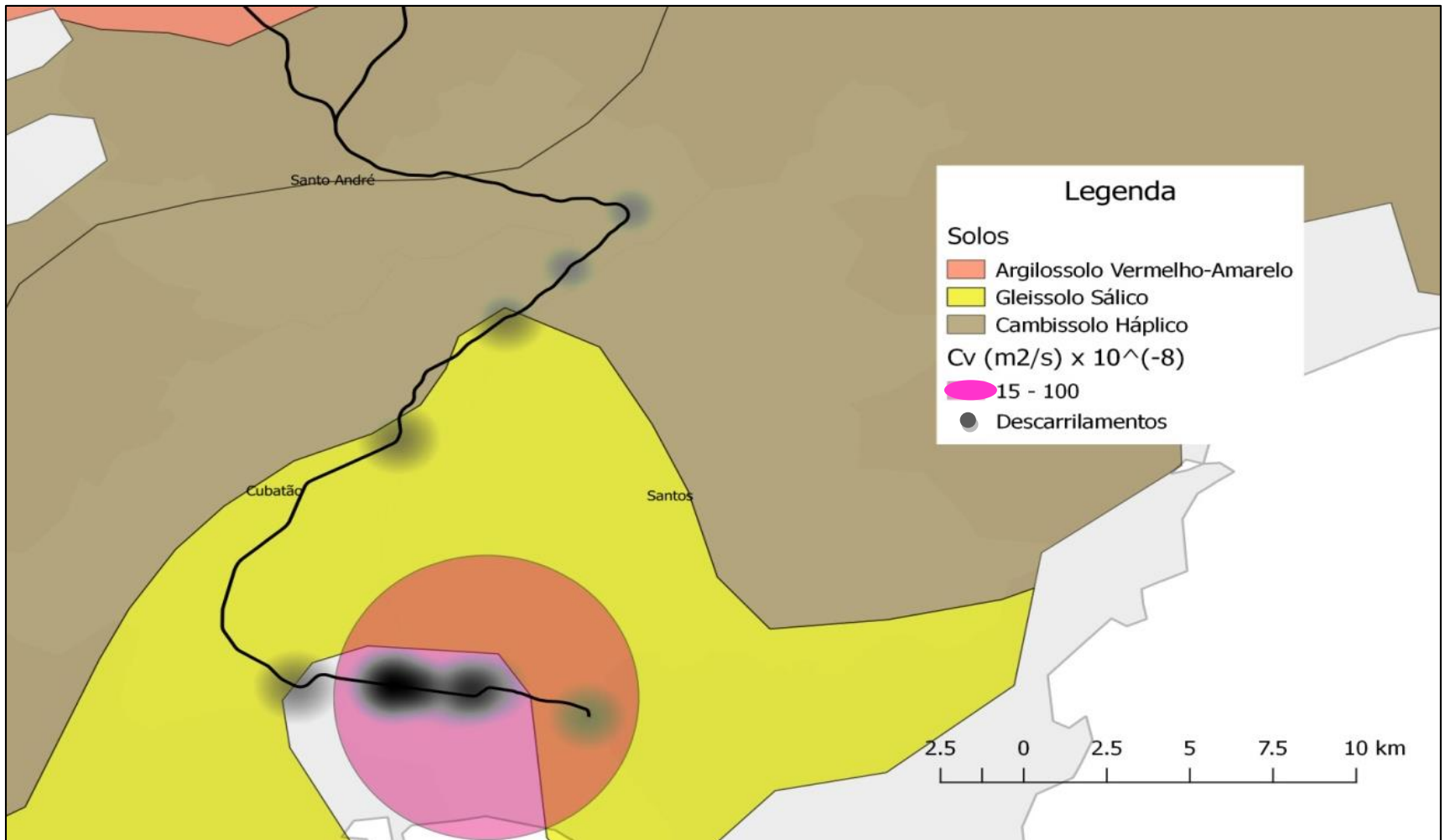


Figura 14: Descarrilamentos na região de SP

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

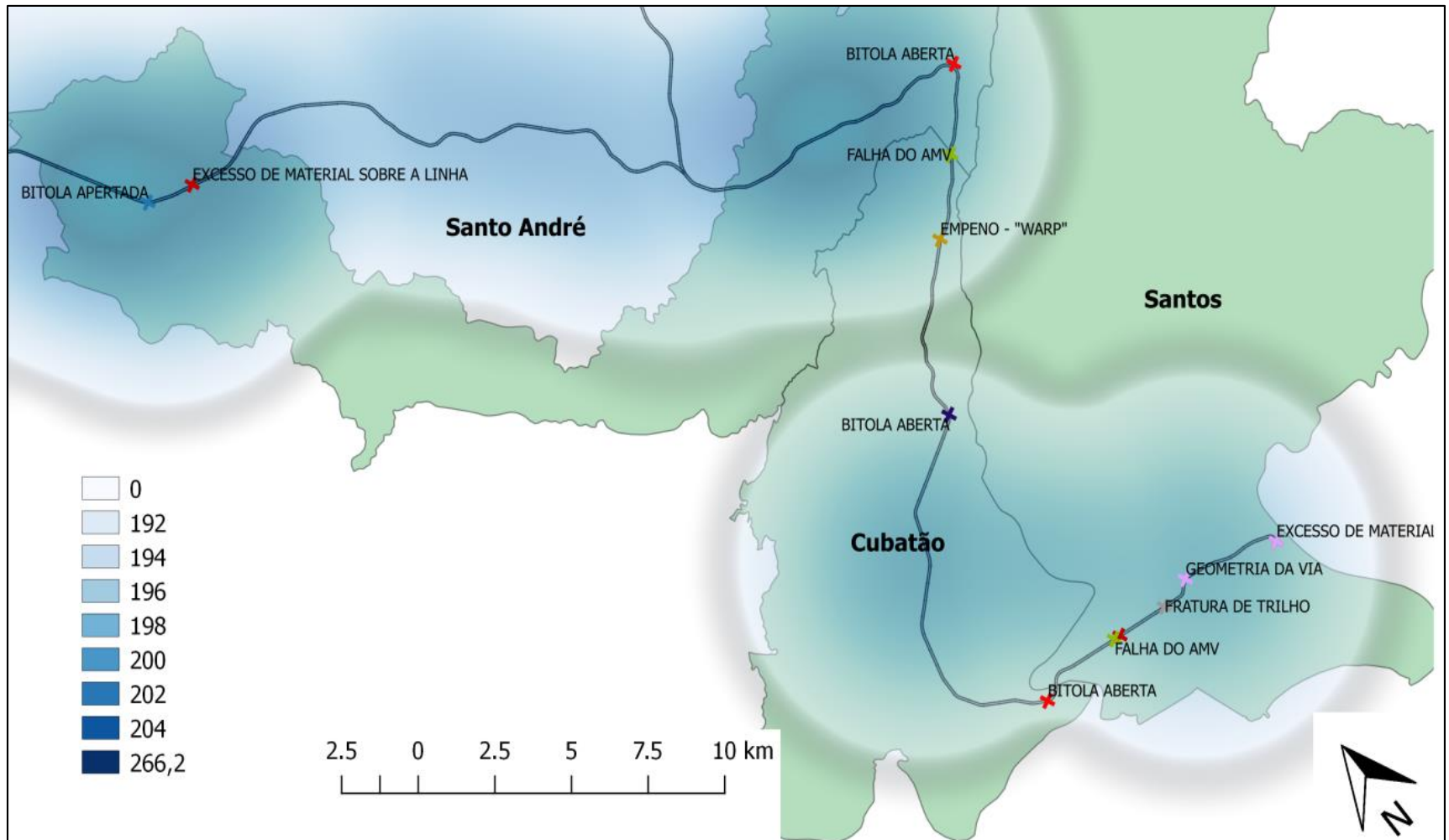


Figura 15: Região de SP – Pluviometria (em mm/m²)

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Região com solos possivelmente mal drenados (gleissolo sálico) e com camadas de argila mole até uma faixa de 50 metros;
 - Baixo valor de c_v e uma má condição de drenagem: o solo subjacente pode não ter alcançado ainda o nível de adensamento total esperado;
 - Assim, a cota da via poderá sofrer ainda mais rebaixamento ao longo do tempo em alguns pontos, causando assim problemas de desnivelamento;
 - O aumento de carga por eixo irá agravar este processo.
-



4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

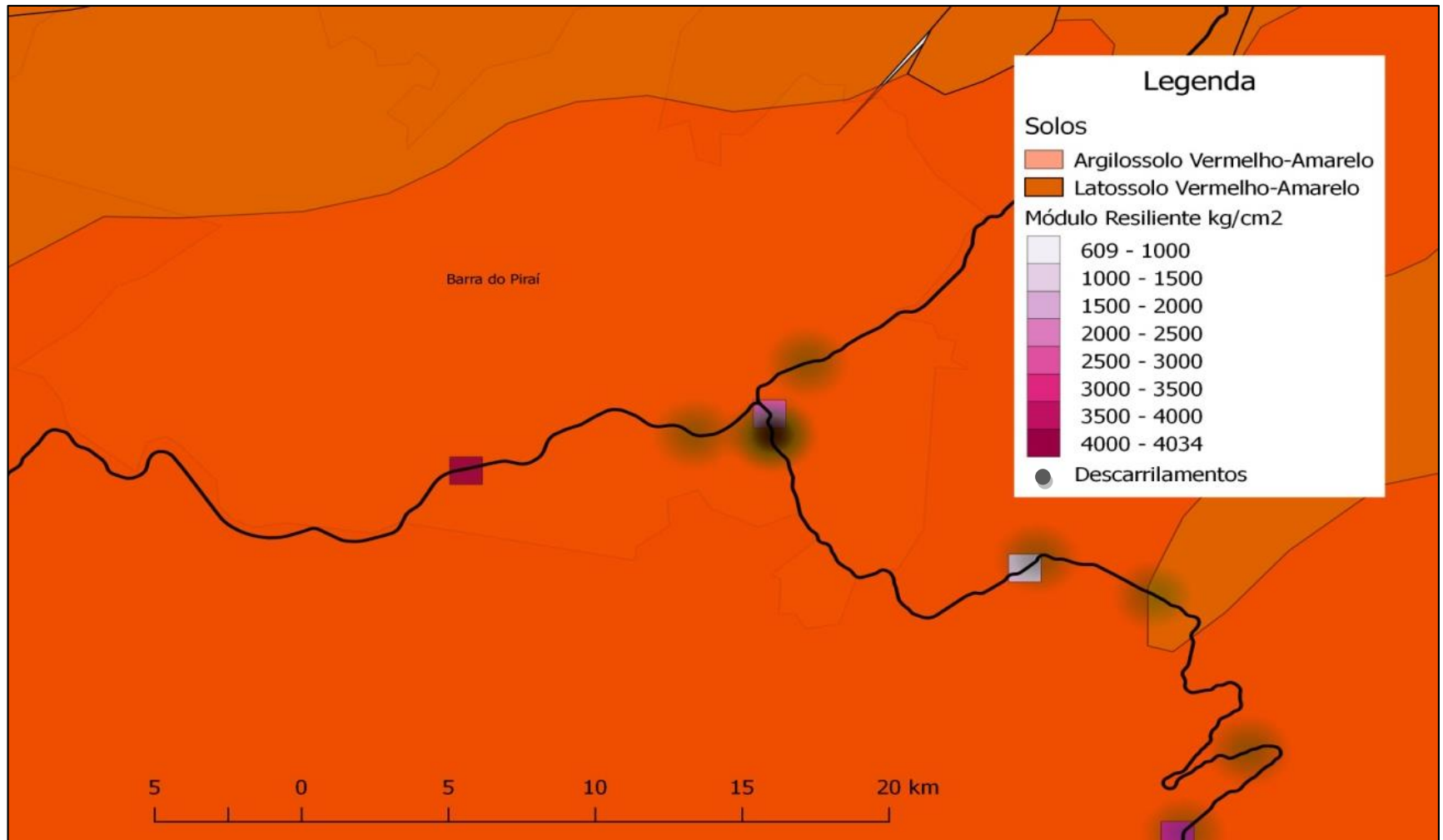


Figura 16: Descarrilamentos em barra do Piraí

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

- A maior incidência foi em uma região com um solo de módulo resiliente considerado de médio a baixo.
- Além disto, os latossolos vermelho-amarelo podem apresentar uma porcentagem muito alta de argila: solo mais sensível à alteração da umidade.
- O local situa-se na descida da serra, possuindo trechos com declividade considerável e raios de curva apertados. Assim, ainda mais esforço é transmitido dos veículos à via.



4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Uma resposta resiliente insuficiente da infraestrutura (baixo de nível de absorção dos impactos) provocará um esforço nos elementos da superestrutura.
- Desta forma, defeitos como a bitola aberta e desnivelamentos, ocorrerão na via.
- Este foi o trecho com maior presença de descarrilamentos por este motivo.



4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

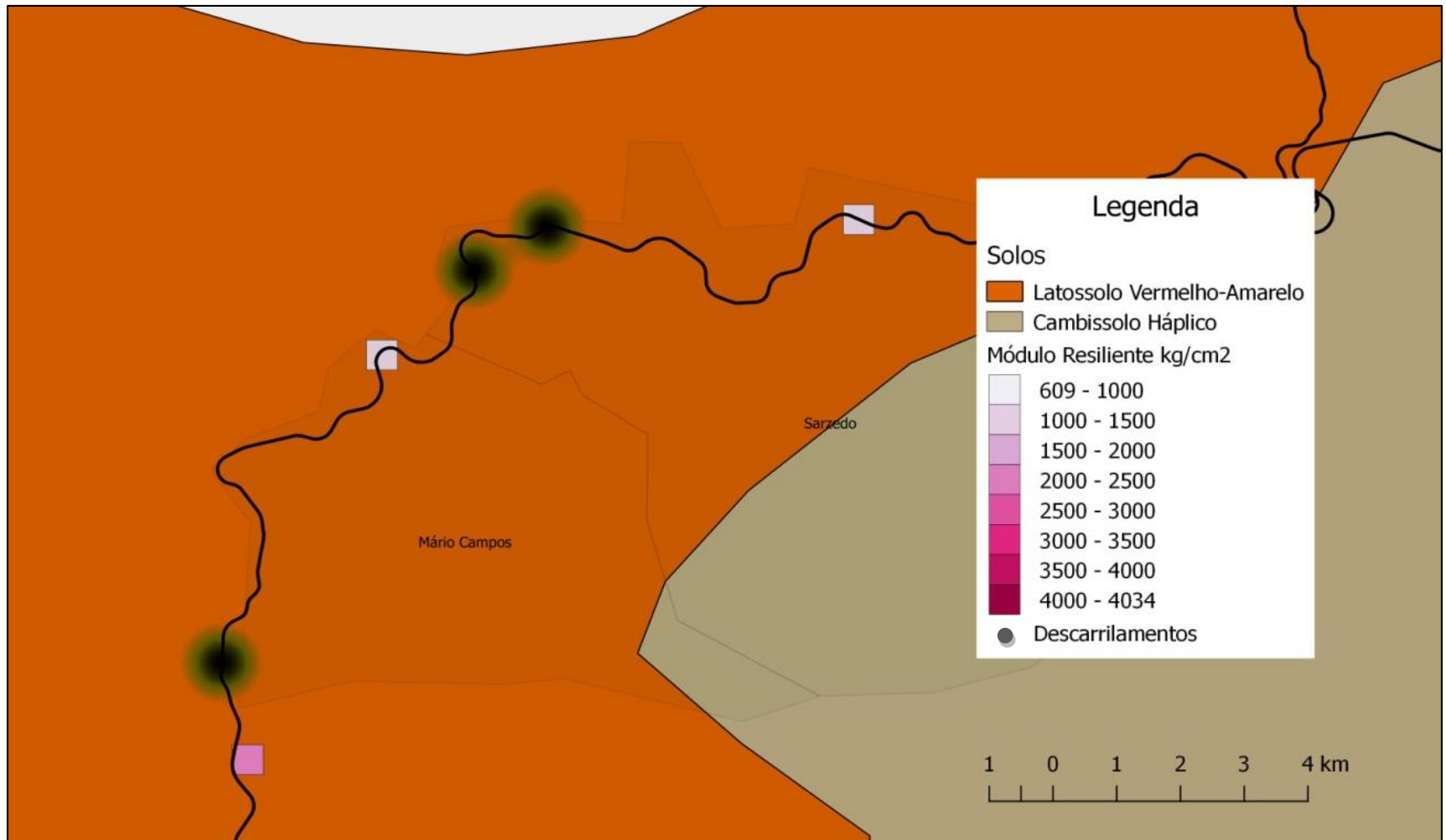


Figura 17: Descarrilamentos na região de MG

4.5. ANÁLISE DOS RESULTADOS

- Não há informações suficientes para associar ao pontos com maior incidência de acidentes a resposta resiliente do solo;
 - Porém, o tipo de solo da região é formado em grande parte por partículas mais suscetíveis à variação da umidade (partículas finas) e pode ser um tipo mal drenado;
 - Desta forma, a investigação da infraestrutura nestes locais poderia estar associada à averiguação do teor de umidade do solo e ao grau de limpeza das camadas granulares.
-



4. METODOLOGIA

- 1 - Revisão bibliográfica;
 - 2 - Georreferenciamento da área estudada;
 - 3 - Tratamento das informações sobre acidentes ocorridos no trecho de estudo;
 - 4 – Lançamento dos dados levantados no Quantum GIS;
 - 5 - Análise dos resultados;
 - 6 - **CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.**
-



4.6. CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

- Buscou-se analisar também outros parâmetros:
 - Mapeamento do estado de integridade dos dormentes;
 - Índice de qualidade da via (TQI);
 - Módulo de via;
 - Peso dos trens circulantes;
 - Velocidade máxima autorizada.
- Porém estas informações não foram disponibilizadas.



4.6. CONSIDERAÇÕES E SUGESTÕES

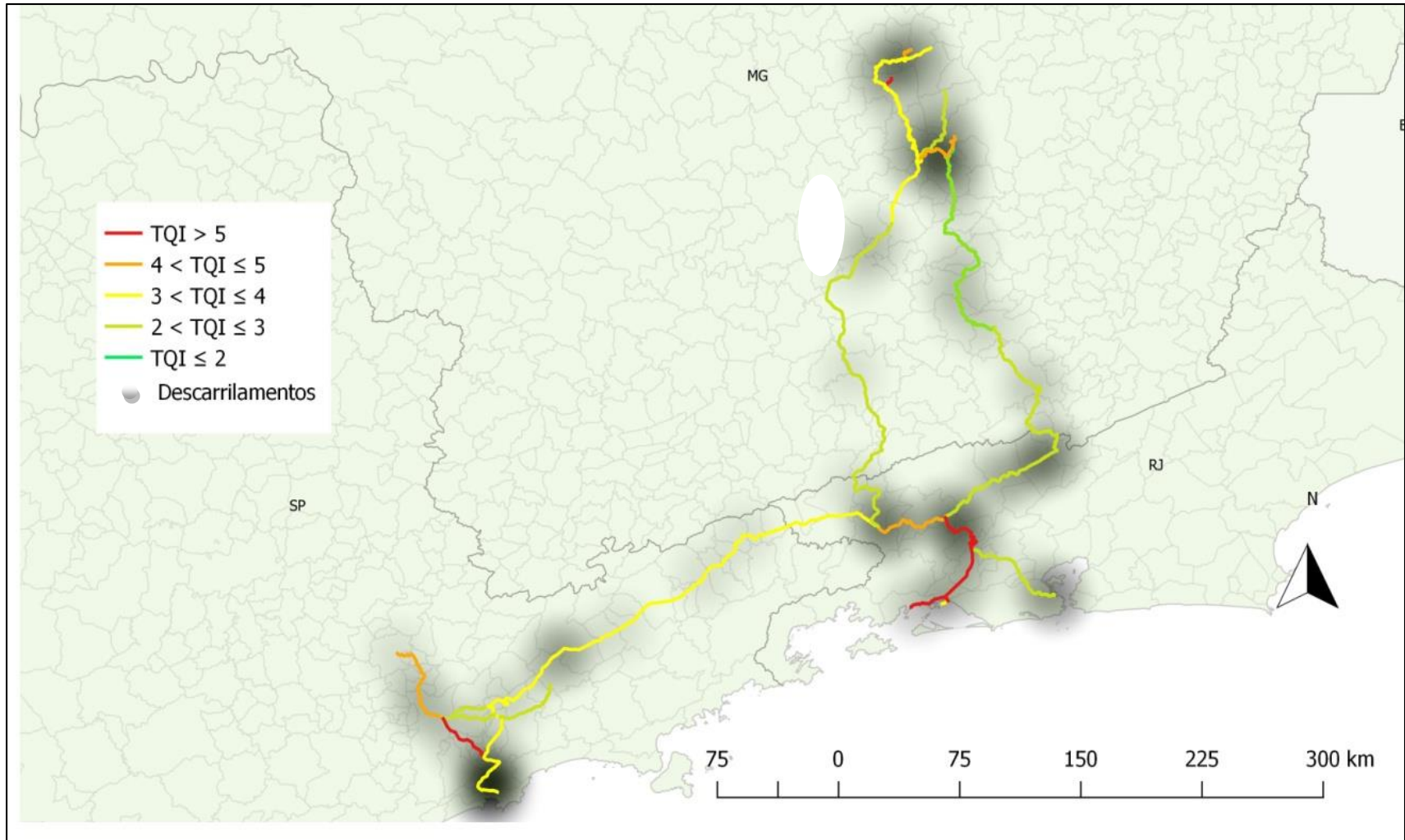


Figura 18: Trechos classificados pelo índice TQI (Exemplificação)

5. CONCLUSÕES

- A partir da manipulação de dados georreferenciados, foi percebida a capacidade para produzir novas informações e a facilidade da análise dos resultados gerados.
- Esta ferramenta se equipara às utilizadas amplamente para filtrar e classificar informações por atributos, porém com um adicional de haver uma representação espacial e de ser de baixo custo de implantação.



5. CONCLUSÕES

- Quanto mais precisos são os dados e quanto maior as fontes disponíveis, maior serão a eficácia e exatidão das análises feitas.
- Devem ser reunidos esforços para que haja uma padronização dos dados coletados em campo e das demais informações disponíveis para que se tenha uma base de dados completa e totalmente integrada para que as causas dos acidentes sejam identificadas e evitadas no futuro.



6. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M. MARQUES, E. (2014) **Aterros sobre solos moles - Projeto e Desempenho**. 2ª ed. editora Oficina de Textos. Rio de Janeiro.
 - BRANCO, José Eduardo Castello; FERREIRA, Ronaldo. (2002) **Tratado de estradas de ferro: prevenção e investigação de descarrilamentos**. Editora Reflexus.
 - BRINA, Helvécio Lapertosa. (1998) **Estradas de Ferro**. Volumes 1 e 2. Editora UFMG. Belo Horizonte.
 - DARIVA, L. B. (2016) **Avaliação Das Propriedades Físicas E Mecânicas De Um Subleito De Pavimento De Via Férrea Do Tipo Heavy Haul**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia (IME). 2016..
 - INCRA, Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária. BARBERI, Alexandre; SANTOS, Hélder Gramacho dos; OLIVEIRA, Israel Ely de Almeida; GOMES, Marília Ferreira (2012) **Elaboração de Mapas Temáticos no Quantum GIS**. 5ª Versão.
 - IRICEN, Indian Railways Institute of Civil Engineering (2007) **The investigation of derailments**. 3ª edição. Índia.
 - NADAL, J. (1908). **Locomotives a Vapeur**. Paris, France: Collection Encyclopedie Scientifique
 - VIDON, W. (2017) **Análise e Prevenção de Descarrilamentos**. Apostila para o curso de Especialização em Transporte Ferroviário. Instituto Militar de Engenharia (IME).
-



AGRADECIMENTOS

Instituto Militar de Engenharia (IME)
MRS Logística S. A.



CONTATOS

Iago Figueiredo de Almeida

E-mail: iagofigueiredoalmeida@hotmail.com

Luiz Antonio Silveira Lopes

E-mail: laslopes@ime.eb.br

João Bosco de Lima

E-mail: engferjbosco@gmail.com



DESENVOLVIMENTO DE UMA BASE DE DADOS GEORREFERENCIADA PARA ANÁLISE E PREVENÇÃO DE DESCARRILAMENTOS

Iago Figueiredo de Almeida
Luiz Antonio Silveira Lopes
João Bosco de Lima

23ª Semana de Tecnologia Metroferroviária