

# **INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO NOS PASSIVOS AMBIENTAIS RODOVIÁRIOS LIMÍTROFES À BR-116/MG**

**Amanda Christine Gallucci Silva<sup>1</sup>**

**Flávia Cristina Arenas<sup>2</sup>**

**Cristhyano Cavali da Luz<sup>1</sup>**

**Larissa de Brum Passini<sup>1</sup>**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil

Universidade Federal do Paraná<sup>1</sup>

Departamento de Geomática

Universidade Federal do Paraná<sup>2</sup>

## **RESUMO**

Ao longo da faixa de domínio das rodovias federais, é possível encontrar diversas ocorrências de passivos ambientais e, dentre eles, muitos relacionados aos processos erosivos em taludes. Tais ocorrências são consequências da não adoção de medidas que previnam o desencadeamento desses processos. As medidas adotadas devem atuar sobre os fatores que condicionam os processos erosivos, deste modo, justifica-se estudar a influência de cada parâmetro na ocorrência do passivo. Para realizar os estudos desses parâmetros, eles foram separados em dois grupos denominados de “parâmetros de projeto” e “parâmetros relativos ao meio inserido”. Os parâmetros relativos ao meio inserido foram analisados por meio de geoprocessamento e comparados com a ocorrência dos passivos ambientais. Observou-se que o grupo de parâmetros relativos ao meio tem mais expressividade em relação à amostra, deste modo, é possível auxiliar o direcionamento de projetos de recuperação de passivos presentes em rodovias ou em projetos executivos ou de ampliação.

## **ABSTRACT**

Along the federal highways, it is possible to find several occurrences of environmental liabilities. Among those liabilities, many of them are related to slope erosion processes. Such occurrences are consequences of the lack of measures that prevent the triggering of these processes. The measures adopted must act on the factors that condition the erosion, thus, this demonstrates the importance of studying the influence of each parameter on the occurrence of liabilities. Therefore, these research parameters were separated into two groups: "design parameters" and "parameters related to the surrounding environment". The parameters related to the surrounding environment were analyzed by geoprocessing and compared with the environmental liabilities occurrence. As a result, it was possible to demonstrate that the group of "parameters related to the surrounding environment" is more expressive according to the data sample. Therefore, it is possible to assist targeting projects to recover liabilities current in highways or in construction or expansion projects.

## **1. INTRODUÇÃO**

O termo passivo começou a ser introduzido no contexto ambiental na medida em que as questões socioambientais começaram a evoluir a nível mundial. Para Sánchez (2011), um passivo ambiental é o acúmulo de danos ambientais que devem ser reparados a fim de que seja mantida a qualidade ambiental de um determinado local. Porém, mais que uma obrigação ambiental, o débito acumulado por meio do passivo também é uma responsabilidade com a sociedade, pois, muitas vezes, está relacionado com questões de segurança, de saúde e de destinação de dinheiro público.

No contexto rodoviário, muitos passivos ambientais surgiram em decorrência da acelerada expansão da malha rodoviária nacional, principalmente desencadeada pelos estímulos da indústria automobilística instaladas no país e pelos planos de incentivos que estiveram muito presentes durante o governo do presidente Juscelino Kubitschek. Deste modo, como muitas rodovias foram construídas anteriormente à Lei Federal nº 6.938 de 1981, que estabeleceu a necessidade de licenciamento ambiental para empreendimentos potencialmente poluidores, e, dentre os requisitos para obtenção do licenciamento ambiental, a recuperação de áreas degradadas e prevenção do surgimento de passivos ambientais, no Brasil, atualmente, existe

uma considerável quantidade de passivos ambientais presentes nas faixas de domínios de rodovias federais.

O IBAMA (2008), órgão federal responsável pelo licenciamento ambiental, ressalta que na concepção, manutenção ou melhoramento de uma rodovia há a possibilidade de ocorrência de falhas dentro da faixa de domínio, que geram danos ambientais, caracterizando-os como passivos ambientais rodoviários. Contudo, Gallardo (2004) afirma que passivos ambientais rodoviários envolvem não apenas eventuais situações decorrentes da implantação do sistema viário, mas também o exercício das obras de infraestrutura já existentes ou ações de terceiros não diretamente vinculadas à implantação dessa infraestrutura. Estas externalidades geradas por terceiros sobre o sistema viário podem causar danos à rodovia ou ao usuário, por exemplo, através da implantação de loteamentos marginais ou ocupações indevidas que causam assoreamento na pista de rolamento e no sistema de drenagem, devido à inexecução de obras de terraplenagem. Além disso, também deve-se considerar os aspectos administrativos, como o enquadramento ou renovação legal de licenciamento ambiental, assim como a falta de apresentação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA) ou pendências da componente ambiental (DNIT, 2006).

Portanto, é possível dividir em dois grandes grupos os passivos ambientais com o intuito de conceituação: “passivos físicos ou materiais” ou os denominados “passivos sociais, morais ou de natureza jurídica”. Os passivos físicos ou materiais, quase a totalidade, são aptos à remediação, enquanto os de natureza social, moral ou jurídica são por vezes de difícil avaliação e compensação (PIMENTA et al., 2014). Dentre os passivos físicos ou materiais, é possível dar ênfase aos passivos relacionados à problemas geotécnicos, como erosões e estabilidade de taludes devido ao deficiente acabamento em cortes, aterros ou a áreas exploradas ou bota-foras, pois esses representam um direcionamento considerável dos investimentos públicos e um grande risco socioambiental.

Em resumo, pode-se definir um passivo ambiental no contexto rodoviário como o débito que precisa ser reparado, de natureza física ou material ou de natureza social, moral ou jurídica, que possa vir a causar danos ao usuário, ao meio ambiente e/ou ao patrimônio. Esses passivos são provindos das obras de construção, manutenção ou da operação da rodovia ou consequência da ação de terceiros sobre a rodovia. Quanto à localização, podem estar inseridos tanto na faixa de domínio ou externamente a ela, entretanto ainda assim sob responsabilidade do empreendedor, quando forem consequência da interação da rodovia com o meio.

Tendo sido introduzido o conceito de passivo ambiental, no contexto rodoviário, muitos problemas são decorrentes do desencadeamento dos processos erosivos em taludes de corte ou aterro. O desencadeamento desses processos pode ser evitado adotando determinadas medidas em projeto de considerando as condições geomorfológicas e climáticas onde a rodovia está inserida e parâmetros de geometria e proteção superficial adotados em projeto. O trabalho em questão visa analisar a influência dos parâmetros condicionantes dos processos erosivos a fim de auxiliar a recuperação de passivos ambientais ou evitar a ocorrência de novos passivos em obras de construção, manutenção ou ampliação de rodovias em condições similares.

## **2. UNIDADE DE ANÁLISE**

A unidade de análise deste trabalho é um banco de dados dos passivos ambientais rodoviários obtidos por meio do levantamento em campo na faixa de domínio da BR-116 no estado de Minas Gerais. Os dados foram levantados com o intuito de alimentar relatórios confeccionados para o Programa de Rodovias Federais Ambientalmente Sustentáveis (PROFAS) pelo Instituto Tecnológico de Transportes e Infraestrutura (ITTI) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) ao Órgão que realiza a gestão das rodovias federais (DNIT).

Os passivos presentes em Minas Gerais foram escolhidos para o estudo em questão devido à grande quantidade e ao fato de que a maioria estar relacionada à problemas de erosão. A BR-116 foi implantada na região leste do estado de Minas Gerais, caracterizada pela predominância do clima subtropical de inverno seco, com temperaturas inferiores à 18°C, e verão quente, com temperaturas superiores à 22°C. A região é afetada por precipitações de origem orográfica, precipitações de origem ciclônica, tanto frentes frias de origem polar, com chuvas de longa duração e de baixa a média intensidade (DE MELLO, 2007).

O Estado de Minas Gerais apresenta vasta abrangência territorial, e é cortado por extensas cadeias de montanhas. A estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro a março, porém as primeiras pancadas de chuva, normalmente ocorrem na segunda quinzena de setembro, evidenciando o declínio da estação seca. Em relação à caracterização pedológica, os solos encontrados no estado são classificados como latossolos e argissolos. A partir do levantamento realizados *in loco*, foram obtidos a localização dos passivos através da coleta de pontos por GPS, fotografias, imageamento aéreo com drone, e fichas cadastrais e de caracterização do segmento rodoviário.

## **3. PROCESSOS EROSIVOS**

Processos erosivos consistem na remoção do solo, sobretudo pela ação das águas de escoamento superficial, depositando-o em áreas mais baixas do relevo. O escoamento superficial ocorre devido ao fato da precipitação exceder a capacidade de infiltração do solo e pode ocorrer devido o escoamento laminar, lavando a superfície do terreno como um todo, ou pelo escoamento concentrado, formando canais definidos em sulcos, ravinas e podendo chegar à configuração de voçorocas, à medida que atinge o lençol freático.

Segundo Gerscovich (2016), os processos erosivos ocorrem naturalmente no ambiente não modificado, porém a ação antrópica acelera o desmatamento para construção de obras, como por exemplo, estradas. Portanto, os processos erosivos nos solos são considerados normais, desde que haja equilíbrio entre a formação do solo e o seu desgaste, quando a erosão é mais intensa que a formação, chama-se de erosão acelerada ou antrópica.

Há vários fatores que a ação antrópica possa a vir intervir na erosão do solo, em relação às obras rodoviárias, esses processos são afetados por conta da execução de cortes e aterros que o expõem o solo, juntamente com a inadequada compactação do material ou até a utilização de materiais com pouca resistência à erosão.

### **3.1. Tipos de processos erosivos**

Existem várias classificações na literatura referente aos processos erosivos. Bigarella (2003) classifica os processos erosivos com base nos seguintes critérios: erosão em ranhura, sulco vala e ravina. Os critérios também são consequência um da evolução de outro. O autor considera:

ranhuras (até 5 cm de profundidade), sulcos (5 a 30 cm), valas (30 a 100 cm) e ravinas (maior que 100 cm).

O autor define ravina como um canal pequeno, relativamente profundo, originado por uma corrente de água intermitente, podendo ser sequência da evolução progressiva de ranhuras, sulcos e valas. Num contexto geral, as referências da literatura variam pouco no quesito definição do tipo, como por exemplo, Carvalho et al. (1991) diferencia os tipos em sulcos, ravinas e voçorocas. Contudo, os tipos de erosão expostos na literatura são, em resumo, nada mais que a variação da intensidade do processo, sendo essa intensidade proporcional a variação dos parâmetros que influenciam na suscetibilidade à erosão.

### **3.2. Parâmetros que influenciam a suscetibilidade à erosão**

Dentre os principais fatores que influenciam nos processos erosivos, em geral, os autores na literatura apontam quatro como sendo os principais: erosividade da chuva, cobertura vegetal, declividade e erodibilidade do solo. Porém, embora existam não só esses quatro fatores como outros, Lal (1988) aponta a erodibilidade do solo e a erosividade da chuva como sendo os fatores físicos mais significantes para a magnitude e/ou intensidade da erosão do solo. Deste modo, a magnitude da erosão depende do potencial dos fatores internos e externos que condicionam os processos erosivos. A seguir, será abordado brevemente os motivos pelos quais devem ser considerados tais parâmetros numa análise de suscetibilidade.

#### *2.1.3. Pedologia*

A pedologia é um dos fatores que mais influenciam os processos erosivos e consiste na caracterização do solo de acordo com a quantidade de argila, areia, matéria orgânica, estrutura, agregação entre as partículas e a presença de argilos-minerais nos solos. Deste modo, a pedologia é uma característica intrínseca a capacidade de arraste da partícula de solo e da capacidade de infiltração.

A granulometria afeta a erodibilidade, pois algumas partículas são mais fáceis de carrear, como por exemplo a areia média, do que outras (partículas maiores ou menores que a areia média. As argilas são mais difíceis de serem carreadas pois dificultam a infiltração. Além disso, em geral, o escoamento superficial não possui força suficiente para arrastar partículas maiores que 1 milímetro. Porém, não só os tamanhos das partículas afetam a infiltração, mas também a agregação entre elas, ou seja, a presença de micro, macro e mesoporos.

A porosidade, medida pela densidade aparente, interfere na taxa de infiltração (relacionada ao *runoff*) e na resistência ao *splash*, deste modo, conseqüentemente, tem influência na erodibilidade do solo. Deve ser considerado também no quesito de classificação pedológica que a matéria orgânica proporciona mais estabilidade aos agregados e, deste modo, diminui a erodibilidade (GUERRA; CUNHA, 2013). Mesmo solos com alto teor de areia, alta permeabilidade e alta porosidade, quando existe a presença de finos e pouca matéria orgânica podem produzir uma cimentação na camada superior do solo que podem aumentar a escoamento superficial, conseqüentemente o *runoff*.

#### *2.1.4. Chuva*

A consideração da pluviometria, na maior parte das análises, é o fator de mais influência em relação aos processos erosivos, sendo que, a duração, a frequência e a intensidade da chuva são os parâmetros que devem ser considerados. Como ferramenta de investigação da erosividade

da chuva, tem-se: volume, duração, momento e energia cinética. A erosividade da chuva é delimitada por alguns fatores, como a energia cinética e o momento. O momento é o produto entre a massa e a velocidade da gota da chuva e a energia cinética é a energia do número total de gotas de um evento chuvoso, que é função da saturação, da massa, do tamanho da gota e da velocidade (GUERRA; CUNHA, 2013).

A chuva pode erodir o solo em dois modos: *runoff*, devido ao escoamento superficial, ou por *splash*, o impacto das gotas de chuva. No instante em que as gotas de chuva atingem o solo, inicia-se o *splash*, deste modo, sendo o desencadeamento dos processos erosivos, pois as partículas se soltam e ficam expostas ao escoamento superficial. Tal exposição ocorre tanto pela ruptura dos agregados, como pela própria ação transportadora do efeito *splash* e é controlada em função da cimentação e da resistência ao cisalhamento do solo.

### 3.2.1. Vegetação

A vegetação impacta os processos erosivos em diversas formas, como: confinamento do solo, diminuição da velocidade do escoamento superficial hortoniano, aumento da taxa de infiltração do solo além de proporcionar uma proteção ao protege o solo do efeito de *splash* (o impacto das gotas de chuva).

De acordo com Guerra e Cunha (2013), medida que a cobertura vegetal se torna mais densa (mais de 30%) a erosão diminui. Além da vegetação atuar na interceptação da água da chuva, as raízes auxiliam na estabilidade mecânica e na formação de húmus, quando em processo de degradação, aumentando a quantidade de matéria orgânica. A estabilidade faz com que as partículas ganhem resistência ao impacto das gotas de chuva, diminuindo a cimentação e consequentemente o escoamento superficial. A maior parte dos estudos apontam a grande expressividade do escoamento superficial em regiões áridas, devido à baixa densidade da vegetação, facilitando a cimentação da camada inicial devido ao impacto das gotas de chuva.

### 2.1.2. Inclinação

A inclinação da encosta, provinda da geomorfologia, é outro fator de acordo com a literatura que deve ser considerado na análise de suscetibilidade à erosão. Como visto anteriormente, a erosão total do solo é consequência do arraste da partícula pelo escoamento superficial e também pelo efeito *splash*. A inclinação da encosta ou do talude aumenta a velocidade do escoamento, deste modo, aumenta a força de arraste das partículas. Entretanto, com uma inclinação maior há menos área de atuação do escoamento, ocorrendo menos arraste de material. Essas duas afirmações introduzem a dificuldade que há em se analisar a inclinação de uma encosta ou talude em questão de processos erosivos.

Guerra e Cunha (2013) afirmam que o efeito de *splash* aumenta conforme a inclinação do talude começa a aumentar de zero até 20° e depois sua influência começa a diminuir. Deste modo, quanto maior a inclinação após 20°, menor a influência do efeito nos processos erosivos e menor a área disponível à erosão. Em contrapartida, maior será a velocidade do escoamento. As encostas possuem sua inclinação e elevação determinadas pelos processos geológicos e climáticos de formação do solo. Porém, se tratando de taludes, a geometria é determinada em projeto. Deste modo, justifica-se a importância de analisar a influência da inclinação. De acordo com as condições nas quais será realizado o taludamento, sendo ele de corte ou aterro, é necessário verificar quais os fatores que devem ser mais ponderados para evitar os processos

erosivos, sendo eles o efeito de impacto das gotas de chuva, o efeito da velocidade do escoamento ou o efeito do comprimento exposto à erosão.

#### **4. METODOLOGIA**

O estudo em questão consistiu basicamente em tabular e analisar os dados de erodibilidade do solo e erosividade da chuva por meio do método *Analytic Hierarchy Process* (AHP). Para a análise dos dados de erodibilidade do solo foram utilizados os dados vetoriais de Solos\_Brasil\_5Milhoes\_2011, na escala de 1:5.000.000 do IBGE-EMBRAPA (2011), disponíveis no portal do INPE ([http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa\\_solos.php](http://www.dpi.inpe.br/Ambdata/mapa_solos.php)). Já para a análise dos dados de erosividade da chuva, foi utilizado o mapa de erosividade anual (MJ mm ha-1 ano-1) do Estado de Minas Gerais, confeccionado por De Mello et al. (2007), sendo que, tanto para a erodibilidade quanto para a erosividade foram atribuídas notas de classificação de gravidade. Outros dados vetoriais também foram utilizados para confecção dos mapas, dentre os quais: eixo de rodovias (DNIT, 2013), limites federais e estaduais (IBGE, 2016), buffer e delimitação dos passivos cadastrados (ITTI/UFPR, 2018).

A escolha de analisar a erodibilidade e a erosividade pela análise multicriterial de suscetibilidade sem incluir os outros dois critérios que condicionam os processos erosivos se deu devido ao fato de que os dois, no ponto de vista dos autores, são mais condicionados pelo meio em que a rodovia está inserida do que a vegetação e a geomorfologia.

Por exemplo, por mais que a geomorfologia seja consequência dos processos de formação da estrutura geológica e dos processos exóginos combinados com o fator tempo, no processo de confecção de um talude, sendo ele de corte ou de aterro, a geometria pode ser alterada de acordo com as condições do projeto. Seguindo o mesmo raciocínio, a cobertura vegetal ou outro tipo mais adequado de proteção superficial é um parâmetro determinado em projeto e que deve ser incorporado durante a execução. Em contrapartida, o critério da pluviosidade e o da pedologia são mais difíceis de ser manipulados, e foram considerados como característica do meio e não como parâmetros de projeto.

Os passivos presentes no estado de Minas Gerais foram escolhidos para o estudo em questão devido ao fato de serem em grande quantidade e ao fato de que os taludes, em geral, apresentam todos inclinações variando aproximadamente entre 60° e 90°, bem como por estarem com pouca cobertura vegetal.

##### **4.1. Geoprocessamento**

A análise de multicritérios é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes alternativas (ou cenários), fundamentada em vários critérios, com o objetivo de direcionar os tomadores de decisão para uma escolha ponderada (Roy, 1996). Como ferramenta escolhida para realizar a análise multicriterial dos parâmetros relativos ao meio inserido, utilizou-se a técnica de geoprocessamento. A escolha da alternativa ocorreu devido ao fato dos critérios envolvidos serem distribuídos em um espaço, ou seja, com base no tratamento de informações espaciais para um objetivo determinado. Além disso, o geoprocessamento permite estudar áreas de grandes proporções de forma rápida e objetiva através do diálogo entre diferentes tipos de dados.

O geoprocessamento foi realizado por meio de um software de Sistema de Informações Geográficas (ArcGIS 10.3). Para que fosse possível realizar a análise multicriterial,

primeiramente foram gerados mapas temáticos de pedologia e erosividade. Em seguida aplicou-se a ferramenta de álgebra de mapas com os devidos pesos e obteve-se o mapa temático final com os resultados a serem discutidos.

#### 4.2. Ponderação dos fatores de suscetibilidade

Como critério para determinar a influência da erosividade e da erodibilidade no cruzamento dos dados, foi utilizado a ponderação proposta por Menezes e Flores (2016). Os autores determinaram os fatores de ponderação com base no método *Analytic Hierarchy Process*. O AHP é fundamentado na decomposição e síntese das relações entre os critérios a fim de se estabelecer uma priorização dos seus indicadores, aproximando-se de uma melhor resposta de medição única de desempenho (SAATY, 1991). A definição das importâncias relativas aos atributos no processo de suscetibilidade aos processos erosivos foi apresentada por Menezes e Flores (2016) através de uma matriz de cruzamento dos critérios apresentada na **Tabela 1**.

**Tabela 1:** Matriz de comparação a partir do Método AHP

Fatores	Precipitação	Pedologia	Uso do Solo	Declividade
Precipitação	1	1/3	1/5	1/7
Pedologia	3	1	1/3	1/5
Uso do solo	5	3	1	1/3
Declividade	7	5	3	1

Fonte: Adaptada de Menezes e Flores (2016)

Essa matriz determina o quanto o critério da coluna esquerda é mais importante em relação a cada critério correspondente na linha superior e, quando confrontado com ele mesmo, a única possibilidade de valor será 1. Os valores estabelecidos pelos autores são coerentes com outros autores na literatura, como por exemplo Sena (2008), Kayastha, Dhital e De Smedt (2013) e Magri (2013). Como, nessa etapa do processo, apenas os fatores relacionados com precipitação e pedologia foram analisados, a formula inserida no geoprocessamento pode ser observada na **Equação 1**:

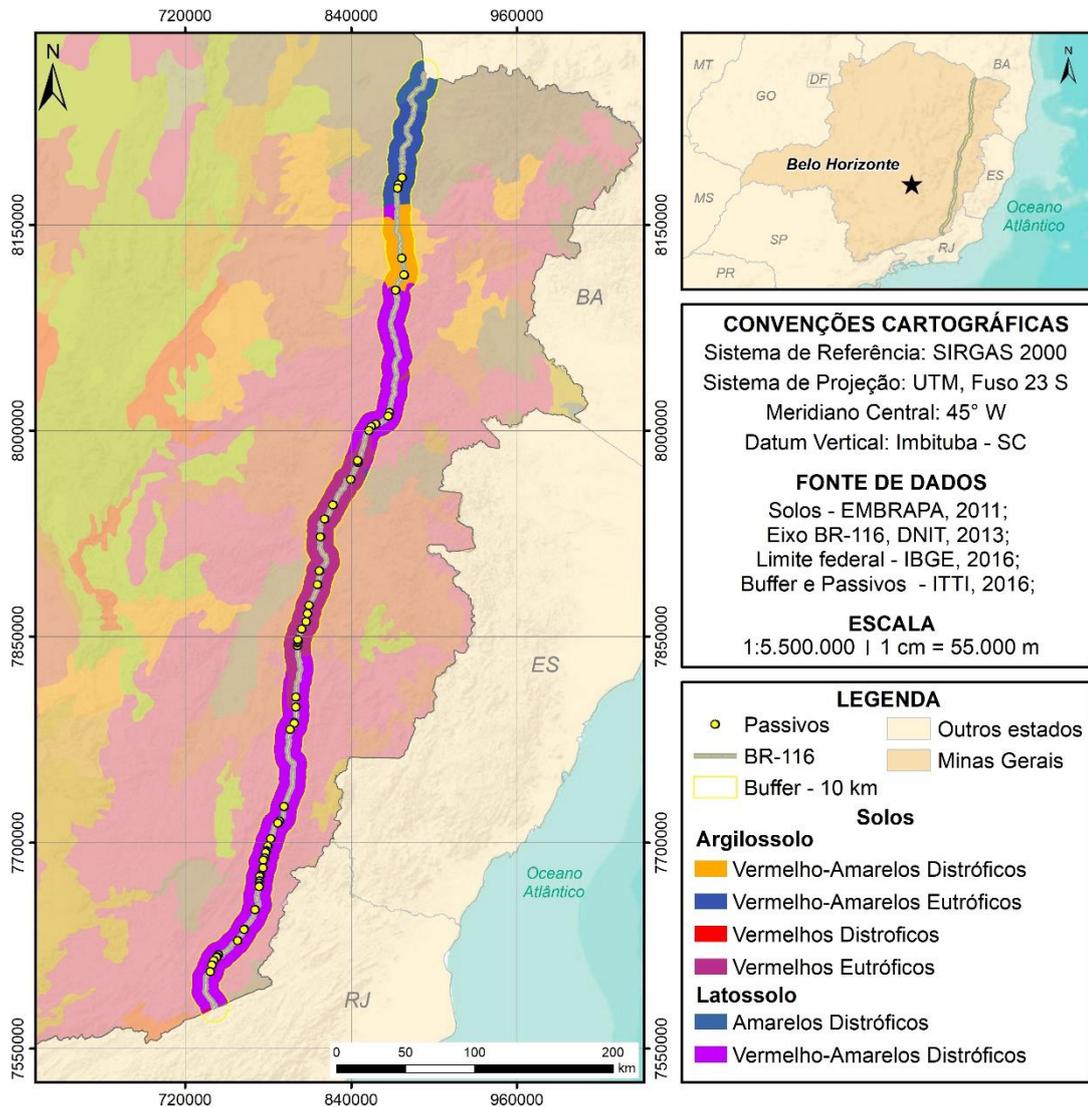
$$\text{Suscetibilidade} = 0,67 * \text{erosividade} + 0,33 * \text{erodibilidade} \quad (1)$$

#### 4.3. Caracterização pedológica

A classe dos solos está associada com as principais características gerais de cada um. Os solos em que a rodovia BR-116/MG está inserida são classificados como argilossolos e latossolos, como pode ser observado por meio do mapa da **Figura 1**. No mapa, a legenda apresenta apenas os solos que foram encontrados no *buffer* de 10 quilômetros da rodovia, mas para a geração do mapa de suscetibilidade foram considerados todos os solos presentes no estado.

Os latossolos caracterizam-se por apresentarem a coloração avermelhada, alaranjada ou amarelada. São solos fortemente intemperizados e geralmente muito profundos. Também se caracterizam por serem friáveis, porosos, de textura variável e com argila de atividade baixa, implicando numa baixa expansibilidade. Neles os minerais primários pouco resistentes ao intemperismo, bem como a fração silte, estão ausentes ou existem em pequenas proporções e os teores de óxidos de ferro e alumínio são elevados. De um modo geral, os latossolos apresentam baixa suscetibilidade à erosão e boa permeabilidade (CUNHA; GUERRA, 1998).

**Figura 1:** Mapa da caracterização da erodibilidade do solo da área em estudo



Fonte: Os autores (2018).

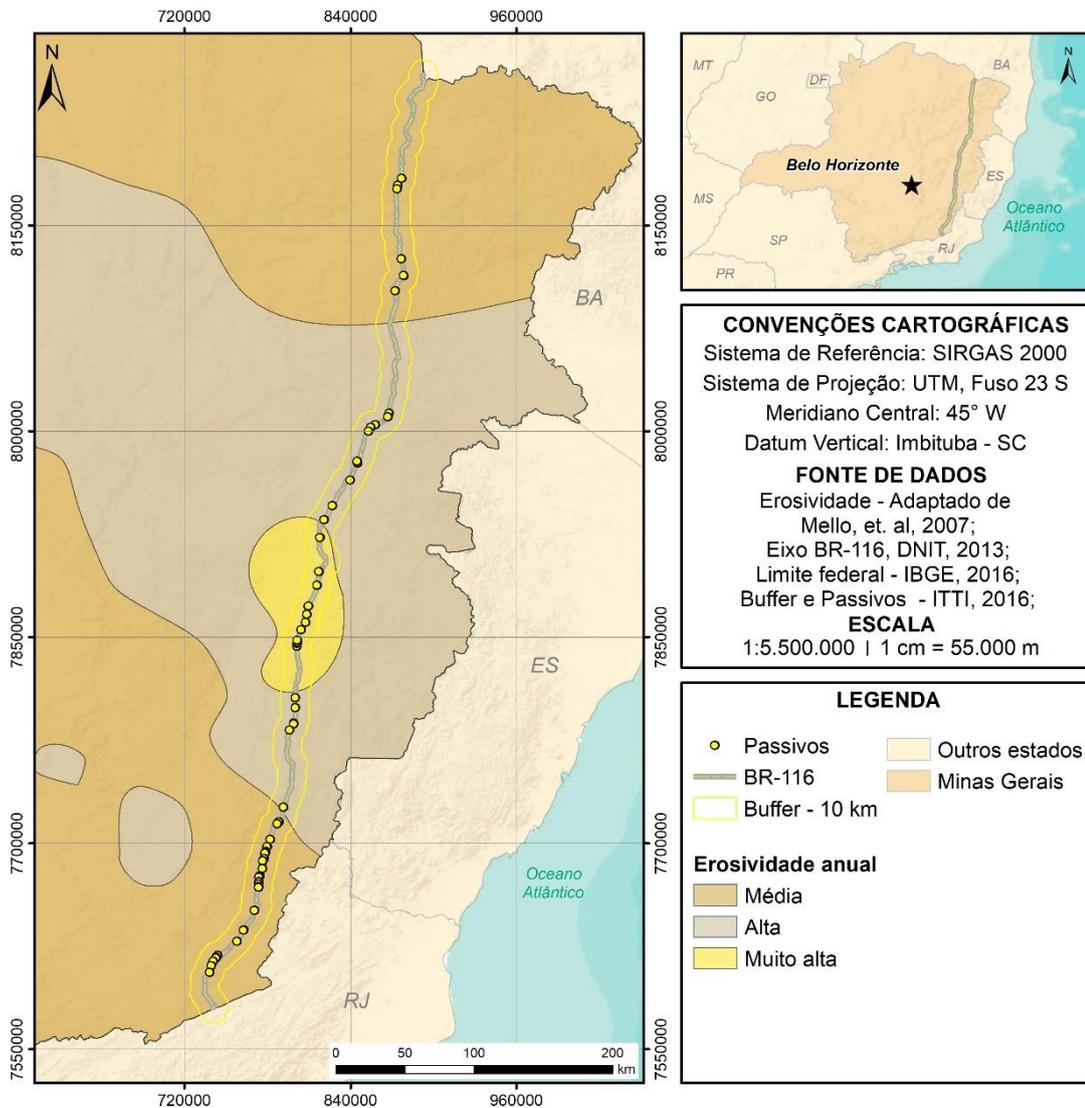
Como metodologia, foi considerada a classificação da erodibilidade do solo utilizando dados do Levantamento exploratório reconhecimento de solos de Minas Gerais (JACOMINE et al., 1979). Os solos levantados foram apresentados as diferentes classificações quando a feição da erosão: não aparente, laminar ligeira, laminar moderada, laminar moderada com sulcos ou voçorocas, em sulcos e em sulcos com presença de voçoroca. Deste modo, foi atribuída a nota de 0 a 5 levando em consideração a sequência apresentada.

#### 4.4. Caracterização pluviométrica

A erosividade da chuva pode ser medida por meio de índices, como por exemplo, o índice de erosividade padrão  $EI_{30}$ . A utilização desse índice é largamente utilizado na relatado por diversos pesquisadores como uma medida satisfatória, devido à boa relação que ele apresenta com as perdas de solo (DE MELLO et al., 2007). Nesse contexto, o mapa apresentado na **Figura 2**, foi confeccionado por meio de uma adaptação do mapa erosividade anual ( $MJ\ mm\ ha^{-1}\ ano^{-1}$ ) do Estado de Minas Gerais apresentado por De Mello et al. (2007). De acordo com os

autores, a erosividade em minas gerais pode ser classificada como: média, alta, muito alta. Deste modo, foi considerado na ponderação os valores de 3, 4, e 5 para a sequência da classificação descrita, sendo que, o valor de 0 a 2 seria de sem influência, muito baixa e baixa.

**Figura 2:** Mapa da caracterização da erosividade da chuva da área em estudo



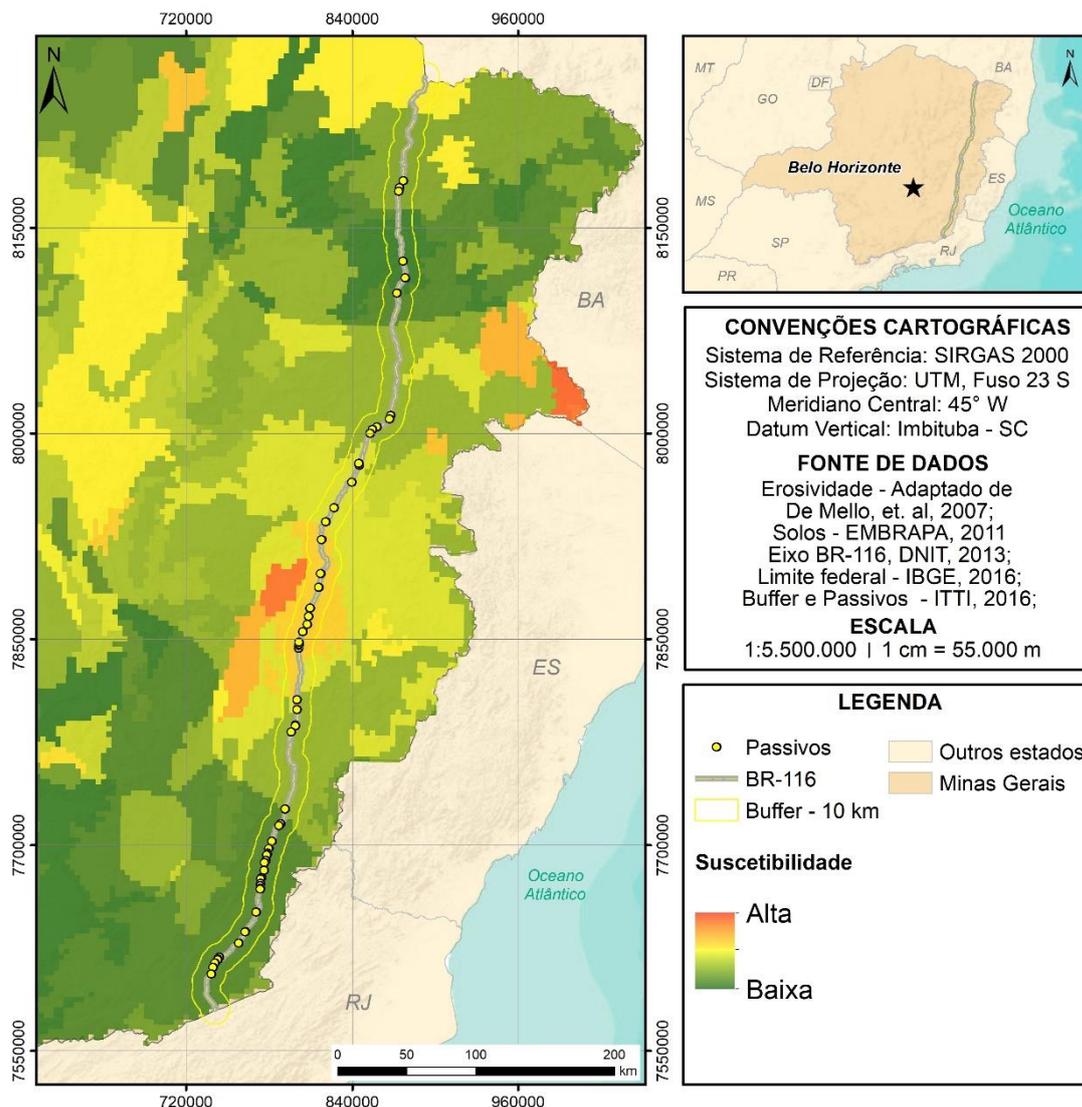
Fonte: Os autores (2018).

## 5. RESULTADOS

Com base na análise multicriterial, foi obtido o mapa apresentado na **Figura 3**. Foram apontadas as localizações dos passivos a fim de correlacionar os passivos com os condicionantes. Os passivos registrados enquadraram-se de acordo com a suscetibilidade à erosão. Percebe-se três faixas principais de cores no sentido norte-sul: verde-verde escuro, amarelo-verde, verde-verde escuro que caracterizam bem a variação da intensidade da erosividade da chuva e, em conjunto com a erodibilidade do solo, formam a região laranja de maior maior susceptibilidade. Essas duas informações confirmam que a ponderação que considera como fator de maior relevância a chuva do que o solo foi inserido de forma adequada no geoprocessamento.

Analisando o norte da rodovia em direção ao sul, constata-se que na região com predominância dos latossolos e com erosividade média, há menos ocorrência de passivos ambientais relacionados a problemas com erosão. Em seguida, encontram-se duas regiões de concentração de passivos em que há predominância dos argilossolos e de maior erosividade. Na sequência, a área caracterizada por uma erosividade alta e muito alta apresenta uma grande concentração de passivos, principalmente na região em que se predominam os argilossolos.

**Figura 3:** Mapa de suscetibilidade à erosão da área em estudo



Fonte: Os autores (2018).

Entretanto, há uma grande concentração de passivos ambientais na região mais sul da BR, sendo que essa apresenta baixa suscetibilidade em relação as outras, devido a uma erosividade menor e a predominância dos latossolos. Porém, quando se observa as características dos processos erosivos da região mais central (**Figura 4**) em relação a região mais ao sul (**Figura 5**) é possível perceber que a intensidade da erosão é muito maior no primeiro (sulcos profundos e ravinas) do que no segundo.

**Figura 4:** Talude em corte BR 116/MG km 260,7



Fonte: UFPR/ITTI (2018).

**Figura 5:** Talude em corte BR 116/MG km 768,2



Fonte: UFPR/ITTI (2018).

Alguns autores, como por exemplo Blasi (2014) e Carvalho (1991), apontam a inclinação do talude como um dos fatores condicionantes aos processos erosivos. Porém, realizando uma boa proteção superficial e captação das águas pluviais muitas vezes seria suficiente para evitar o surgimento de erosão. Deste modo, a escolha da inclinação estaria muito mais relacionada com questões de movimento de massa do que com a influência em processos erosivos.

Nesse contexto, e considerando que os solos em Minas Gerais são coesivos friccionais (solos formados em regiões tropicais), ou seja, a parcela de resistência aos movimentos de massa é condicionada tanto pela coesão como pelo ângulo de atrito, considera-se que os taludes tenham uma resistência maior aos movimentos de massa do que taludes com a mesma geometria só que em solos que possuem a resistência mais condicionada somente pelo ângulo de atrito (solos arenosos formados em climas temperados) ou somente pela coesão (solos argilosos formados em climas temperados). Deste modo, caso haja estabilidade, as inclinações acentuadas em taludes não são de grande influência nos processos erosivos.

## 6. CONCLUSÕES

Passivos ambientais são dívidas socioambientais que necessitam ser erradicadas. Ao longo das rodovias federais, é possível observar diversas ocorrências de passivos ambientais, sendo que muitos deles são relacionados aos processos erosivos em taludes. Muitos autores na literatura apontam que no estudo de suscetibilidade à erosão é necessário considerar principalmente quatro parâmetros: erosividade da chuva, erodibilidade do solo, geomorfologia e vegetação. Porém, esses são parâmetros muito bem correlacionados com encostas, pois a geometria e a proteção superficial de taludes são fatores determinados em projeto. Assim, a consideração da influência dos parâmetros de suscetibilidade à erosão determinados para encostas pode não ser ideal quando a análise é voltada para taludes.

Por meio da análise multicriterial considerando a erodibilidade do solo e a erosividade da chuva, foi possível correlacionar as regiões mais suscetíveis obtidas pelo geoprocessamento com a concentração dos passivos ambientais e também com a intensidade dos processos erosivos. Como consequência, o parâmetro que engloba a geometria do talude mostra-se secundário.

Deste modo, realizar retaludamento para alterar a geometria de taludes que apresentam processos erosivos pode ter menos eficácia que a adotar medidas para proteger solos mais erodíveis e diminuir a influência da erosividade da chuva.

A alta erosividade da chuva mostra o papel fundamental de realizar sistemas de drenagem eficientes e realizar a proteção superficial dos taludes. Como a região em estudo não é caracterizada por ser árida recomenda-se a total cobertura com vegetação a partir da plantação de mudas ou da hidrossemeadura para proteger os taludes. Por fim, o presente estudo pode auxiliar na elaboração da componente ambiental de futuros projetos de implantação e pavimentação de rodovias que venham ser executados em condições semelhantes ou a própria recuperação dos passivos apresentados ou outros em condições semelhantes.

## REFERÊNCIAS

- Blasi, G. F. (2014) *Proposta de procedimentos para a elaboração de relatórios de controle ambiental visando a regularização ambiental de rodovias federais em operação*. Florianópolis.
- Bigarella, J. J. (2013) *Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais* (2. ed) Florianópolis.
- CARVALHO, P. (1991). *Manual de Geotecnia: Taludes de Rodovias*. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Departamento de Estradas e Rodagem (DER), São Paulo.
- Cunha, S. B. Da; Guerra, A. J. T. (2013) *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro.
- De Mello, C. R. et al. (2007) *Erosividade mensal e anual da chuva no Estado de Minas Gerais*. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 42, n. 4, p. 537–545,
- DNIT (2006) *Manual para Atividades Ambientais Rodoviárias*. IPR, Publ. 730, Rio de Janeiro.
- EMBRAPA (2006) *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*, v. 2, p. 306.
- Gerscovich, D. M. (2016). *Estabilidade de Taludes* (2. ed.). Oficina de Textos, São Paulo.
- Guerra, A. J. T.; Cunha, S. B. Da. (2013) *GEMORFOLOGIA: Uma atualização de bases e conceitos* (12 ed). Rio de Janeiro.
- IBAMA (2008). *Estudo de impacto ambiental*. v. 4.
- Jacomine, P. K. T. et al. (1979) *Levantamento exploratório - reconhecimento de solos do Norte de Minas Gerais: área de atuação da SUDENE*. Boletim Técnico 60, v. 1, p. 407.
- Kayastha, P.; Dhital, M. R.; De Smedt, F. (2013) *Application of the analytical hierarchy process (AHP) for landslide susceptibility mapping: A case study from the Tinau watershed, west Nepal*. Computers and Geosciences, v. 52, p. 398–408,.
- Lal, R. (1988) *Effects of macrofauna on soil properties in tropical ecosystems*. Agriculture, ecosystems & environment, 24(1-3), 101-116.
- Magri, R. A. F. (2013) *Análise da suscetibilidade à erosão da região do Médio Rio Grande (MG)*. (Dissertação de Mestrado). Universidade de São Paulo. p. 232.
- Menezes, W.; FLORES, F. (2016) *Susceptibilidade a erosão utilizando o processo de análise hierárquica (AHP) e sistema de informação geográfica*. n. 7, p. 66–78.
- Pimenta, A. (2014) *Gestão para o licenciamento ambiental de obras rodoviárias: Conceitos e procedimentos*. UFPR/ITTI, Curitiba.
- Roy, B. (1996) *Multicriteria Methodology for Decision Aiding*. Dordrecht. Kluwer Academic.
- Saaty, T. L.; Vargas, L. G. (1991) *Prediction, projection, and forecasting: applications of the analytic hierarchy process in economics, finance, politics, games, and sports*. Kluwer Academic Pub.
- SENA, J. N. (2008) *O uso de sistema de informação geográfica na avaliação de diferentes alternativas de geração de cartas de suscetibilidade à erosão*. Universidade Estadual Paulista.

---

Amanda Christine Gallucci Silva (amandagallucci82@gmail.com)

Flávia Cristina Arenas (flaviaarenas@gmail.com)

Cristhyano Cavali da Luz (crisccluz@hotmail.com)

Larissa de Brum Passini (larissapassini@hotmail.com)

Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil, Universidade Federal do Paraná.

Av. Cel. Francisco H. dos Santos, 100, Jardim das Americas, Curitiba - PR, 81530-000.