

MAPEAMENTO DA SUSCETIBILIDADE E POTENCIALIDADE A PROCESSOS EROSIVOS LAMINARES E LINEARES AO LONGO DO DUTO OSBRA DA PETROBRAS

Diego Tarley Ferreira NASCIMENTO¹; Patrícia de Araújo ROMÃO²; Maurício Martines SALES³; Carlos Alberto Lauro VARGAS⁴; Cláudio dos Santos AMARAL⁵

- (1) Professor da Universidade Estadual de Goiás (UEG). Rua R2, s/n, Jardim Novo Horizonte. CEP: 76200-000. Iporá, Goiás. Endereço eletrônico: diego.tarley@gmail.com;
- (2) Professora do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais. Universidade Federal de Goiás (UFG). CEP 74.001-970. Goiânia, Goiás. Endereço eletrônico: pat_iesa@yahoo.com.br;
- (3) Professor da Escola de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Goiás (UFG). CEP: 74.605-220. Goiânia, Goiás. Endereço eletrônico: sales.mauricio@gmail.com;
- (4) Professor da Escola de Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Goiás (UFG). CEP: 74.605-220. Goiânia, Goiás. Endereço eletrônico: carloslauro@hotmail.com;
- (5) Engenheiro Civil. CENPES/PDEP/TEO Petrobras. Av. Horácio Macedo, 950. Cidade Universitária - Ilha do Fundão. CEP: 21941-915. Rio de Janeiro/RJ. Endereço eletrônico: amaralcs@petrobras.com.br.

Introdução
Objetivo
Procedimentos metodológicos
Mapeamento da suscetibilidade à erosão laminar e linear
Mapeamento da potencialidade à erosão laminar e linear
Levantamento de ocorrências erosivas ao longo do trecho do duto OSBRA
Resultados e discussões
Considerações finais
Agradecimentos
Referências

RESUMO - Um dos principais riscos de integridade dos dutos de combustíveis que cortam a região central do Brasil são os processos erosivos, que podem expor e permitir a ruptura destes dutos. O presente trabalho apresenta o mapeamento da suscetibilidade e potencialidade erosiva das bacias hidrográficas ao longo de 635 km do oleoduto São Paulo – Brasília (OSBRA), administrado pela Petrobras. Foram estudados tanto os processos erosivos laminares quanto lineares. Para o mapeamento da suscetibilidade às erosões laminares, foram consideradas as variáveis erodibilidade, compartimentos do relevo, declividade, comprimento das vertentes e curvaturas verticais. No mapeamento da suscetibilidade à erosão linear, além das variáveis: erodibilidade; compartimentos do relevo; declividade e comprimento das vertentes, foram consideradas as curvaturas horizontais (convergente, planar e divergente) e a distância a partir das drenagens. Por fim, realizou-se a sobreposição da suscetibilidade dos terrenos à deflagração de processos erosivos com o uso e cobertura existente na localidade. Os mapeamentos realizados foram confrontados com as observações de visitas a campo e mostraram um alto nível de consistência. Este estudo irá nortear a redefinição das ações de monitoramento da integridade do duto, indicando as áreas que devem ser acompanhadas com maior frequência.

Palavras-Chave: Suscetibilidade a erosão. Potencialidade erosiva. Erosões Laminares. Erosões Lineares. Mapeamento.

ABSTRACT - One of the main risks to the integrity of fuel pipelines that cross the central region of Brazil are the erosion, which can expose and allow the rupture of these pipelines. This paper presents the mapping of susceptibility and erosive potential of river basins along 635 km of the pipeline São Paulo - Brasília (OSBRA), managed by Petrobras. Both laminar and linear erosion processes were studied. To map susceptibility to laminar erosion, the considered variables were erodibility, relief compartments, slope, length of slopes and vertical curvatures. In the mapping of susceptibility to linear erosion, besides the variables: erodibility; relief compartments and length of slopes were also considered the horizontal curvature (convergent, divergent and planar) and the distance from the rivers. Finally, there was superposed the susceptibility to erosive processes with the land use and existing vegetal cover in the locality. The mappings carried out were compared with observations from field visits and showed a high level of consistency. This study will guide the redefinition of the monitoring actions to guarantee the duct integrity, indicating areas that should be inspected more frequently.

Keywords: Susceptibility to erosion. Erosive potential. Laminar Erosions. Linear Erosions. Mapping.

INTRODUÇÃO

O processo erosivo compreende as etapas de desagregação, transporte e eventual deposição das partículas superficiais do solo (Bertoni & Lombardi Neto, 2010). Essas etapas são ocasionadas principalmente pela ação das gotas da chuva e do escoamento da água (agentes ativos) sobre o solo (agente passivo). Além

disso, tais processos também devem ser associados às características do relevo, da geologia e de uso e cobertura do solo, essencialmente no que se refere à resistência frente à deflagração do processo.

Sendo assim, as erosões são processos naturais, constituindo-se em agentes naturais da

modelagem do relevo (Camapum de Carvalho et al., 2006). Contudo, podem ser aceleradas e intensificadas pela ação do homem, vindo a se chamar erosões antrópicas, sendo provocadas essencialmente devido ao tipo de manejo, aos usos intensivos e às mudanças na cobertura do solo.

As erosões são classificadas conforme sua origem, podendo ser natural ou antrópica, e pela forma de transporte, ocorrendo de modo difuso ou concentrado. As erosões que ocorrem pelo escoamento difuso também são denominadas como erosões laminares ao passo que aquelas que se desenvolvem pelo escoamento concentrado são designadas por erosões lineares.

As erosões laminares se caracterizam pelo escoamento contínuo de uma lâmina d'água e pela remoção homogênea e lenta da camada superficial do solo, geralmente com maiores quantidades de nutrientes. A erosão laminar é de difícil observação, podendo ser constatada às vezes pelo decréscimo da produtividade agrícola ou pelo aparecimento de raízes.

Não obstante, as erosões lineares se baseiam em caminhos preferenciais gerados pelo escoamento concentrado da água ou por trilhas (caminho de gados ou estradas), sendo classificadas, conforme sua evolução, em sulcos, ravinas e voçorocas. Os primeiros correspondem aos caminhos preferenciais de escoamento com profundidade de até 10 cm; as ravinas referem-se ao aprofundamento desse caminho para até 50 cm e, quando ultrapassam essa profundidade, aumentam sua largura e atingem o lençol freático, apresentando

surgência de água, sendo denominadas voçorocas (Camapum de Carvalho et al., 2006).

Bertoni e Lombardi Neto (2010) lembram que a preocupação do homem com relação aos processos erosivos é tão antiga quanto a história da agricultura, desde a intensificação das primeiras áreas de cultivo no Egito, Mesopotâmia (atual Iraque) e China e as consequentes exposição dos solos aos agentes erosivos.

Dentre as consequências das erosões, destaca-se a produção de sedimentos que produzem o assoreamento dos rios, a perda da camada superficial do solo que repercute na diminuição de sua capacidade produtiva e degradação dos ecossistemas, quando verificadas no ambiente rural; e danos às obras de infraestrutura e prejuízos às construções e atividades antrópicas, quando ocorrem no ambiente urbano. Portanto, os impactos ocorrem nas esferas econômica, ambiental e social.

Ponderando o custo elevado de obras de recuperação de processos erosivos, principalmente quando esses alcançam o estágio evolutivo de voçorocas, a melhor alternativa de mitigações aos impactos provocados por esses processos ainda é o subsídio de prevenção fornecido por mapeamentos de suscetibilidade e potencialidade erosiva. Esses mapeamentos indicam e descrevem o grau de probabilidade de determinadas regiões em sofrerem processos erosivos e auxiliam na formulação de diretrizes para a aplicação de técnicas de manejo e de conservação do solo.

OBJETIVO

O objetivo central deste trabalho compreende o mapeamento da suscetibilidade e potencialidade erosiva das bacias hidrográficas

ao longo do oleoduto São Paulo – Brasília (OSBRA), administrado pela Petrobras.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O oleoduto São Paulo – Brasília (OSBRA) apresenta uma extensão de 970 km, estendendo-se desde São Paulo até o Distrito Federal. O trecho do duto OSBRA em estudo neste trabalho inicia-se no km 335+400, na divida dos estados de São Paulo e Minas Gerais, com término no km 970, no Distrito

Federal, totalizando uma extensão de 635 km (65% de todo o duto) – Figura 1.

Esta obra é responsável pela condução e abastecimento de combustíveis para as distribuidoras que atendem uma grande área das regiões Centro-Oeste, Norte e também o

Distrito Federal. Sua segurança é, portanto, fundamental para a economia da região.

Por ser reconhecida como a mais adequada unidade espacial de análise ambiental (Botelho, 1999), foram delimitadas 20 bacias hidrográficas referentes às principais drenagens interceptadas e, ao mesmo tempo, à montante do duto, servindo como recorte para os mapeamentos elaborados, conforme representada pelo mapa da Figura 1.

Os procedimentos metodológicos basearam-se, inicialmente, no levantamento das documentações cartográficas de base (planimétrica) e temáticas (pedologia, geologia, hidrografia, geomorfologia etc.), na escala de 1:100.000 ou outras escalas menores, conforme a disponibilidade. A base foi adquirida junto a órgãos governamentais, tais como o Sistema Estadual de Estatísticas e Informações Geográficas de Goiás (SIEG), o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Ministério do Meio Ambiente (MMA) e o Sistema de Infraestrutura de Dados Espaciais (IDE-GEOMINAS).

A partir do arquivo vetorial dos tipos de solo, disponível na escala de 1:250.000 e refinado para escala de 1:100.000 (tida como escala dos mapeamentos), foi definida a erodibilidade do solos pelo agrupamento das categorias de solo com comportamentos semelhantes quanto à resistência aos processos erosivos e conforme os pressupostos estabelecidos por Salomão et al. (2012), podendo as classes de erodibilidade serem vislumbrada pelo Quadro 1.

A etapa de aquisição da base cartográfica também se baseou na compilação de Modelos Digitais de Elevação e suas derivações (altitude, declividade, curvaturas horizontal e vertical, formas do relevo e relevo sombreado), fornecidas pelo Banco de Dados Geomorfométricos do Brasil (TOPODATA).

Das imagens altimétricas, procedeu-se a extração de drenagens em escala de 1:100.000, utilizadas para delimitação das bacias hidrográficas ao longo do trecho do duto em estudo.

Complementarmente, foi calculada a densidade das drenagens, por meio do algoritmo de densidade de *kernel*, e a distância a partir das drenagens, por meio da ferramenta “*buffer*”. Vale frisar que a densidade das

drenagens é uma variável capaz de refletir a quantidade de canais para o escoamento e indicar a condição de infiltração da água (Christofoletti, 1981; Vilella & Mattos, 1975).

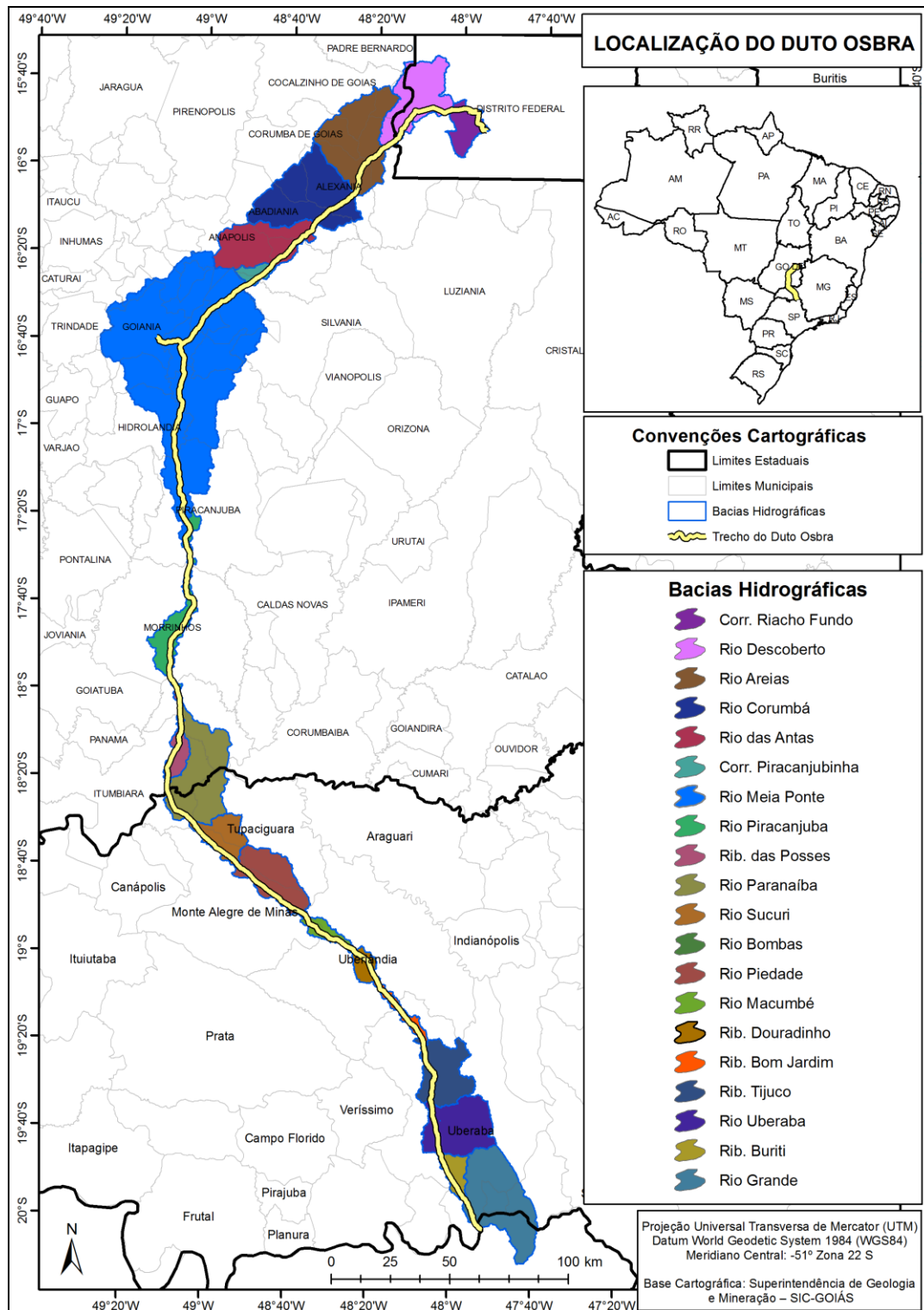
Com base nas imagens altimétricas também foram calculados o comprimento da vertente e a diversidade altimétrica. Para o cálculo do comprimento da vertente, foi empregada a ferramenta de cálculo do “comprimento de fluxo” a partir do divisor de água. Já a diversidade altimétrica, foi calculada pela densidade de *kernel* das curvas de nível de 20 m, extraídas das imagens altimétricas, considerando um raio de busca de 3 km². Ressalta-se que a partir da definição do comprimento das vertentes, é possível entender a maior ou menor intensificação do fluxo hídrico ao longo da vertente. Já a diversidade altimétrica indica os desníveis de altitude existentes em cada raio de área, estando por isso associada à energia potencial para o escoamento superficial e, conseqüentemente, a ocorrência do processo erosivo.

Em seguida, valendo-se das derivações geomorfométricas (altitude, formas do relevo e relevo sombreado) e de seus produtos derivados (densidade de drenagem e diversidade altimétrica), foi realizada a compartimentação do relevo. Essa compartimentação pode refletir o controle das estruturas geológicas e o comportamento hidrológico dos terrenos frente às feições do relevo. Assim, foram delimitadas inicialmente duas unidades: Compartimento A, com dissecação fraca a média do relevo, com predomínio de formas planares-retilíneas e, subordinadamente, com ocorrências de formas divergentes, interflúvio médio de 1 a 2 km e desníveis altimétricos médios de 20 a 60 m; e Compartimento B, com dissecação forte do relevo, com predomínio de formas divergentes, de interflúvios médios de 200 a 600 m e desníveis altimétricos médios acima de 60 m.

Mapeamento da suscetibilidade à erosão laminar e linear

Para o mapeamento da suscetibilidade às erosões laminares, foram cotejadas as variáveis erodibilidade, compartimentos do relevo, declividade, comprimento das vertentes e curvaturas verticais, sendo essa última utilizada a classe de curvaturas convexa e retilínea para elevação da classe de suscetibilidade por

caracterizar o escoamento difuso. As regras do cruzamento dessas variáveis são apresentadas pelo Quadro 2.



Fonte: organizada pelos autores.
Figura 1. Mapa de localização do duto OSBRA, considerado como área em estudo.

Quadro 1. Classes de erodibilidade conforme as categorias de solo existentes ao longo do duto.

Categoria de solo	Erodibilidade
Neossolo Litólico, Cambissolo	Alta
Argissolo, Nitossolo Vermelho, Chernossolo Argilúvico	Média
Latossolo, Plintossolo Pétrico, Gleissolo, Neossolo flúvico	Baixa

Fonte: próprios autores, com base em Salomão et al. (2012).

Quadro 2. Regras do cruzamento para o mapeamento da suscetibilidade às erosões laminares.

Compartimentos Curvaturas (A e B) X Declividade (I, II e III) X Comprimento de vertentes (1 e 2)				
Erodibilidade	B III 2	B III, B III 1, A III 2	A I 2, A II 2, A III, A III 1, B I, B II, BI 1, B I 2, B II 1, B II 2	A I 1, AII 1, A I, A II
Alta	ALTA	ALTA	ALTA	MÉDIA
Média	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXA
Baixa	MÉDIA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
Obs. Curvatura vertical convexa e retilínea eleva uma categoria da classe de suscetibilidade				
Classes de Compartimento do relevo: A – plano (predomínio de colinas e colinas amplas); B – rugoso (predomínio de morros e morrotes). Classes de Declividade: I = 0 a 7%; II = 7 a 15%; III = acima de 15%. Classes de comprimento da vertente: 1 = 10 a 330 m (menor que 10 m considerado como divisor de águas); 2 = 330 a 1.900 m (acima de 1.900 m considerado como drenagens).				

Fonte: próprios autores.

As maiores declividades e comprimentos das vertentes, associados às curvaturas verticais convexas e retilíneas, refletem ambientes que favorecem o escoamento superficial, com maiores fornecimento de energia, gradiente hidráulico e, conseqüentemente, maiores velocidade de escoamento da água e atuação desse fluxo. Além disso, quanto maior a declividade e menor o comprimento de rampa, maior será a intensidade da tensão cisalhante (Pruski, 2006).

Por sua vez, para o mapeamento da suscetibilidade à erosão linear, além das

variáveis erodibilidade, compartimentos do relevo, declividade e comprimento das vertentes, foram consideradas as curvaturas horizontais (convergente, planar e divergente) e a distância a partir das drenagens. Esta última variável, em geral, é diretamente proporcional aos desníveis existentes, podendo ser relacionada à profundidade do nível freático, assim como indicar a própria proximidade com o curso d'água. As regras desse cruzamento são indicadas no Quadro 3.

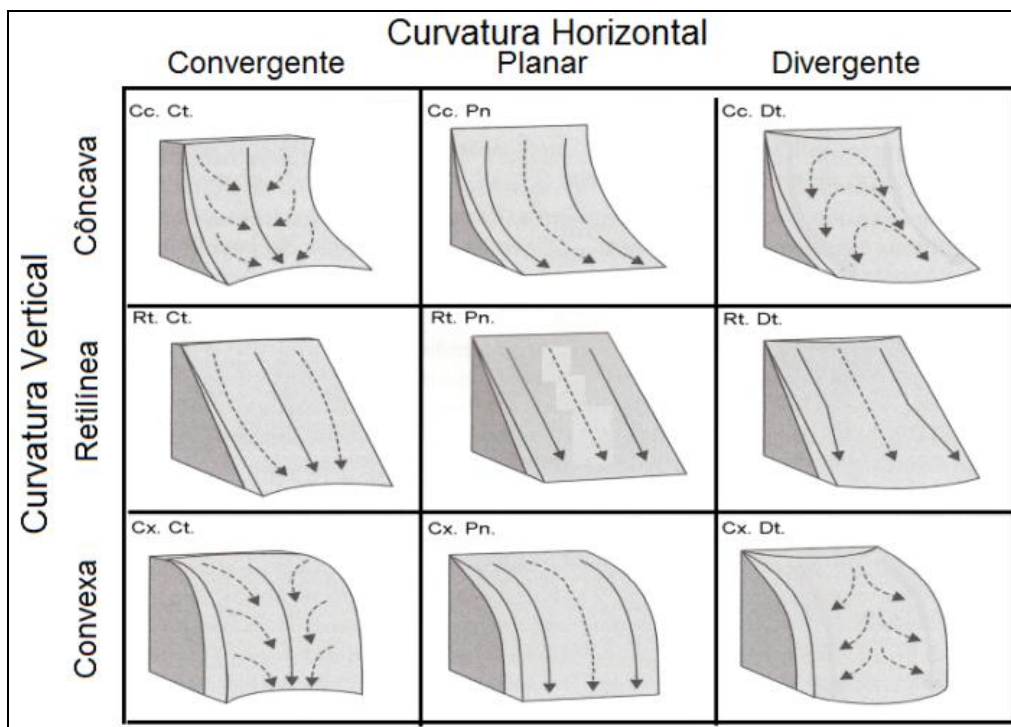
Quadro 3. Regras do cruzamento para o mapeamento da suscetibilidade às erosões lineares.

Compartimentos Curvaturas (A e B) X Declividade (I, II e III) X Comprimento de vertentes (1 e 2)				
Erodibilidade	B III 2	B III, B III 1, A III 2	A I 2, A II 2, A III, A III 1, B I, B II, BI 1, B I 2, B II 1, B II 2,	A I 1, AII 1, A I, A II
Alta	ALTA	ALTA	ALTA	MÉDIA
Média	ALTA	MÉDIA	MÉDIA	BAIXA
Baixa	MÉDIA	BAIXA	BAIXA	BAIXA
Obs. Curvatura horizontal divergente rebaixa uma classe de suscetibilidade. Curvatura horizontal convergente e planar eleva uma classe de suscetibilidade. Distância da drenagem menor que 500 m eleva uma classe de suscetibilidade.				
Classes de Compartimento do relevo: A – plano (predomínio de colinas e colinas amplas); B – rugoso (predomínio de morros e morrotes). Classes de Declividade: I = 0 a 7%; II = 7 a 15%; III = acima de 15%. Classes de comprimento da vertente: 1 = 10 a 330 m (menor que 10 m considerado como divisor de águas); 2 = 330 a 1.900 m (acima de 1.900 considerado como drenagens).				

Fonte: próprios autores.

No que concerne às curvaturas horizontais, as caracterizadas como convergentes e planares foram consideradas como agravantes à suscetibilidade quanto às erosões lineares, por favorecerem a concentração de fluxo de escoamento superficial. Já as divergentes foram empregadas como atenuante à deflagração de

processos erosivos lineares, por dispersarem o fluxo de água em sentidos opostos. A Figura 2 representa as formas de relevo e permite uma melhor compreensão da influência das curvaturas verticais e horizontais no aceleração e concentração do escoamento superficial.



Fonte: Valeriano (2008).

Figura 2. Formas do relevo e representação das curvaturas verticais e horizontais.

Mapeamento da potencialidade à erosão laminar e linear

Para o levantamento da potencialidade erosiva foi realizado a sobreposição da suscetibilidade dos terrenos à deflagração de processos erosivos com o uso e cobertura existente na localidade, levando-se em consideração o papel da ocupação e exploração antrópica (urbana, agrícola ou pastoril) frente à proteção por cobertura vegetal. Vale lembrar que o porte da vegetação (campestre, savânica, florestal e reflorestamento) reflete diretamente o grau de proteção dada aos terrenos.

Para tanto, foi compilado o mapeamento de cobertura e uso do solo no âmbito do Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira (PROBIO), desenvolvido pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) com base em imagens do satélite Landsat 7 (30 m de resolução),

referentes à estação seca de 2002. Considerando a defasagem de mais de dez anos desse mapeamento, foi adquirida sua atualização para 2010, disponibilizada pelo Projeto de Monitoramento do Desmatamento dos Biomas Brasileiros por Satélite (PMDBBS), que considera o PROBIO como marco zero e faz atualizações anuais da conversão da cobertura vegetal natural para usos antrópicos. Para refinamento e atualização do mapeamento de cobertura e uso do solo, foram levantadas e processadas as imagens do satélite Landsat 5 (30 m de resolução) do acervo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), correlacionadas à estação seca de 2011.

As classes de potencialidade erosiva, levantadas pela sobreposição entre as classes de suscetibilidade e as de cobertura e uso do solo, são indicadas pelo Quadro 4.

Quadro 4. Classes de potencialidade oriundas do cruzamento da suscetibilidade erosiva de uso do solo.

Suscetibilidade/Uso	Área Urbana e Agricultura	Pastagem	Vegetação campestre e savânica	Vegetação Florestal e Reflorestamento
Alto	I	I	I	III
Médio	II	II	III	III
Baixo	II	III	III	III

Fonte: adaptado de Bertoni e Lombardi Neto (2010).

Conforme descrito por Bertoni & Lombardi Neto (2010), a Classe I – Alto Potencial indica uso atual do solo incompatível com a suscetibilidade à erosão, refletindo locais com alta suscetibilidade ocorrendo sob usos antrópicos ou rarefeita vegetação; a Classe II – Média Potencialidade caracteriza locais com uso atual incompatível com a suscetibilidade, porém passíveis de serem controlados com práticas conservacionistas adequadas, traduzindo-se em locais com média ou baixa suscetibilidade ocupados por atividades antrópicas e; a Classe III – Baixo Potencial refere-se ao uso atual do solo compatível com a suscetibilidade à erosão, como é o caso de áreas de alta ou média suscetibilidade, protegidas por cobertura de vegetal ou por áreas de baixa suscetibilidade, ocupadas por usos antrópicos menos intensivos.

Levantamento de ocorrências erosivas ao longo do trecho do duto osbra

Paralelamente à aquisição da base cartográfica e aos mapeamentos, também foi realizada uma campanha de visitas a campo, ao longo de todo o trecho descrito do duto OSBRA na companhia de técnicos da Petrobras. Foram identificados relatos de 78 ocorrências erosivas, com as coordenadas e descrições, fornecidas em formato de tabela e posteriormente inseridas ambiente de Sistema de Informações Geográficas, por intermédio do *software* específico (ArcGIS 10.1), com a transformação de arquivo tabular para vetorial (ponto).

Com vistas a complementar os trabalhos de campo, foi realizada a inspeção visual das imagens de satélite de alta e média resolução espacial disponíveis no *software* Google Earth (2013). Valendo-se de chaves de interpretação (forma, cor, textura, tamanho etc.), foram identificados, georreferenciados e inseridos ao ambiente SIG, 28 novos processos erosivos.

Numa segunda campanha de visitas de detalhamento foram cadastradas e georreferenciadas com o uso de receptor GPS (modelo *Mobile Mapper* 6, com precisão de 2 a 5 m) outras dezessete (17) novas ocorrências erosivas.

Do total de 123 ocorrências erosivas, 75 foram classificadas como erosões hídricas. Dessas 75 ocorrências, 51 foram classificadas como lineares, 15 como laminares e 9 tanto lineares como laminares. Das 48 ocorrências restantes, 37 foram caracterizadas como erosões fluviais, ou seja, onde o duto faz travessia em drenagens, das quais, somente uma apresentou a classificação de movimento de massa (escorregamento).

Sobrepostos aos produtos cartográficos existentes e derivados, os registros de ocorrências erosivas laminares e lineares subsidiaram a interpretação preliminar das unidades da paisagem, em função de seus comportamentos frente à maior ou menor ocorrência de processos erosivos, conforme preconizado por Kertzmanet et al. (1995). Ao passo que, por cotejamento com os mapeamentos de suscetibilidade e potencialidade erosiva, as ocorrências serviram à validação das unidades delimitadas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 representa a área ocupada por cada uma das classes de suscetibilidade à erosão laminar, pela qual é possível perceber que em quase metade da área compreendida pelas bacias hidrográficas (48%), ocorre média

suscetibilidade. Áreas com alta suscetibilidade representam 30,5%, ao passo que baixa suscetibilidade à erosão laminar ocorre em cerca de 19% da área em estudo. Os valores das áreas foram calculados em SIG.

Tabela 1. Área ocupada pelas classes de suscetibilidade à erosão laminar e ocorrências erosivas.

Classe	Área (km ²)	%	Erosões Laminares	%
I - Alta	3.634.263	30,5	15	62,5
II - Média	5.732.455	48,0	7	29,2
III - Baixa	2.268.642	19,0	2	8,3
Água	295.307	2,5	0	0,0
Total	11.930.667	100,0	24	100,0

Fonte: próprios autores.

Na Figura 3, as maiores suscetibilidades a processos erosivos laminares encontram-se na porção norte e central do trecho do duto OSBRA, principalmente no Trecho 7, na divisa do Distrito Federal e o estado de Goiás, e no Trecho 6, no entorno de Goiânia-GO. Pequenas extensões de áreas com alta suscetibilidade também podem ser vistas na divisa de Goiás com Minas Gerais (Trecho 5) e no município de Uberaba-MG (divisa dos Trechos 4 e 3).

Pela Figura 3 é possível perceber que as menores suscetibilidades às erosões laminares ocorrem nas proximidades às drenagens, pelo fato do escoamento superficial desacelerar, pois as curvaturas verticais, em geral, são côncavas nessas localidades, com predomínio de deposição de material, ao invés de processos erosivos.

Analisando a Tabela 1 e o mapa da Figura 3, percebe-se que, do total de 24 ocorrências erosivas laminares, mais da metade (15 erosões - 62,5%) ocorrem sobre áreas indicadas como alta suscetibilidade e as outras 7 ocorrências (29,2%) são vistas em áreas mapeadas como média suscetibilidade. A partir dessa constatação, é possível perceber que o mapeamento apresentou boa coerência com a indicação das áreas mais suscetíveis a esse tipo de erosão, uma vez que 91,7% das ocorrências laminares correlacionaram-se às áreas indicadas como alta ou média suscetibilidade.

Com relação ao mapeamento da suscetibilidade à erosão linear, os dados apresentados pela Tabela 2 indicam que predomina, em pouco mais da metade da área em estudo, condição de alta suscetibilidade (53%), enquanto que áreas com média e baixa suscetibilidade representam 31,9 e 12,6%, respectivamente.

A Figura 4 representa a suscetibilidade à erosão linear ao longo do duto OSBRA em estudo, pelo qual é possível vislumbrar que nas porções norte e noroeste (Trechos 7 e 6), a condição de alta suscetibilidade ocorre sobre

extensas áreas. Alta suscetibilidade ainda ocorre por áreas fragmentadas na divisa de Goiás com Minas Gerais (Trecho 5) e na porção sul do trecho.

Pelo mapa também é possível perceber que ao contrário da suscetibilidade à erosão laminar, a deflagração de erosões lineares possui maior sensibilidade em áreas próximas aos cursos de água. Tal fato se deve à erodibilidade dos materiais advindos de depósitos recentes, associados ao curso fluvial. Esses materiais em geral possuem baixa coesão, o que confere baixa resistência ao processo erosivo. Algumas ocorrências erosivas lineares, que se correlacionaram às médias suscetibilidades, estão situadas em locais próximos às bordas de chapadões e planaltos.

Pela quantidade de erosões lineares que ocorrem sobre as áreas caracterizadas como alta (30 erosões - 50%) e média (23 erosões - 38,3%) suscetibilidade erosiva, que foram apresentadas pela Tabela 2 e são passíveis de serem vislumbradas pelo mapa da Figura 3, pode-se destacar que o mapeamento da suscetibilidade à erosão linear também apresentou bom resultado.

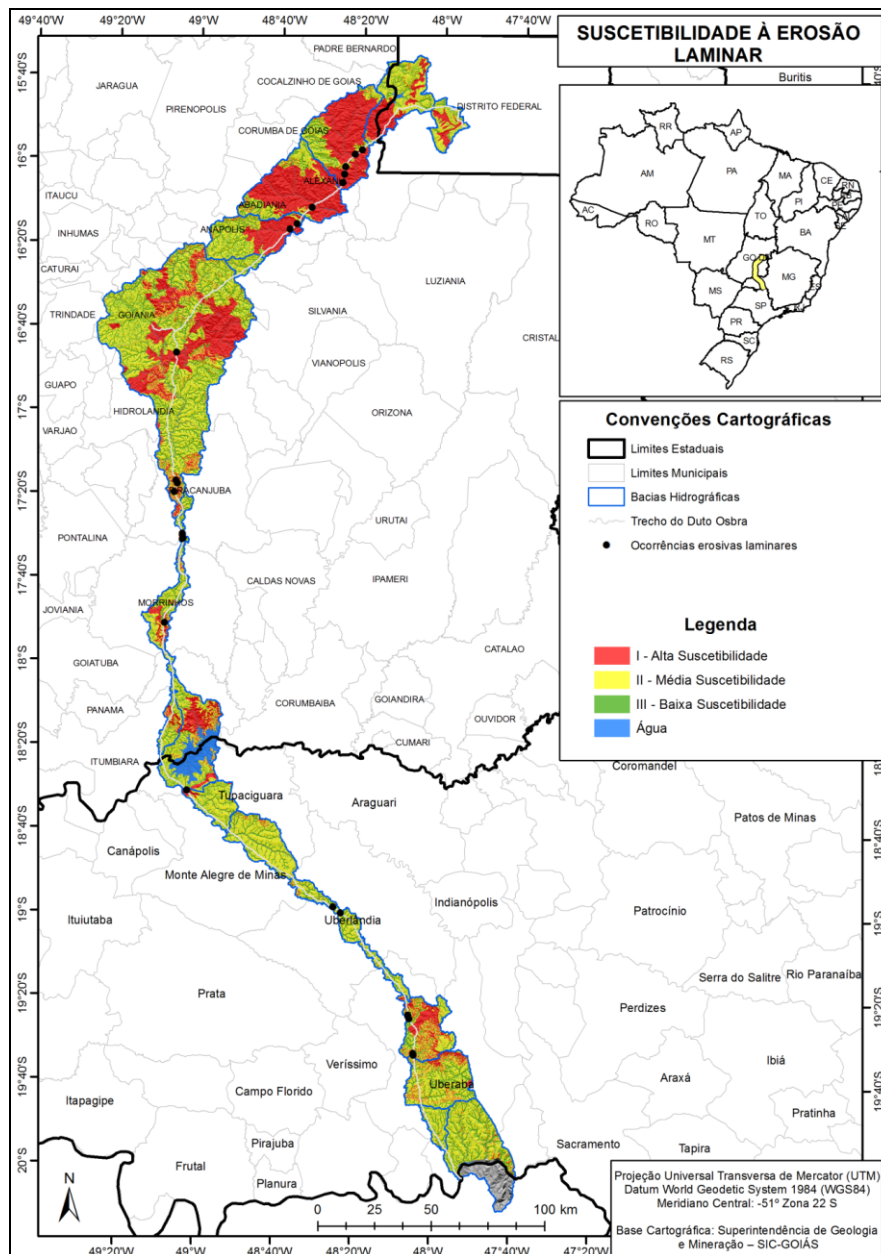
Contudo, os mapeamentos apresentados pelas Figuras 3 e 4 indicam apenas a suscetibilidade dos terrenos frente à deflagração de processos erosivos laminares e lineares, sem levar em consideração o estado de exploração/proteção desses terrenos.

Nesse sentido, os mapeamentos de potencialidade erosiva, representados pelas Figuras 5 e 6, na sequência, que levam em consideração tanto a suscetibilidade dos terrenos quanto o uso atual dessas áreas, podem dar maior indícios sobre quais áreas apresentam maior sensibilidade à deflagração de processos erosivos, considerando o uso antrópico atual. Da mesma forma, a Tabela 3 e a Tabela 4 apresentam a área e porcentagem das áreas ocupadas por cada uma das classes de

potencialidade à erosão laminar e linear, respectivamente.

Ao se comparar a Tabela 3 à Tabela 1, é possível destacar que as áreas anteriormente indicadas como média e alta suscetibilidade tendem a diminuir quando considerado o uso

antrópico, por causa da existência de proteção por cobertura vegetal em tais localidades. Assim, ocorre o aumento das áreas de baixa potencialidade erosiva quando comparadas àquelas de baixa suscetibilidade.



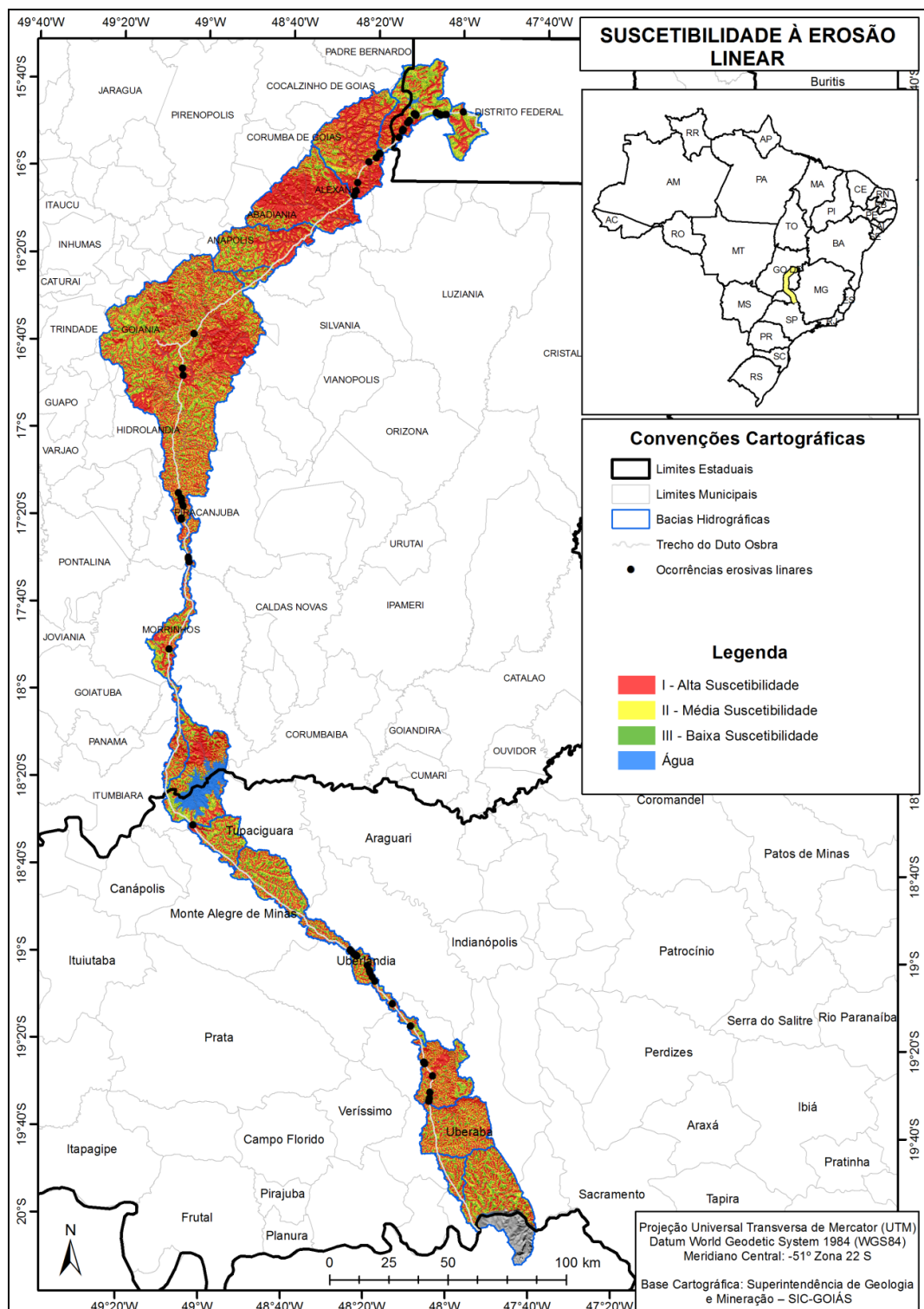
Fonte: próprios autores.

Figura 3. Suscetibilidade à erosão laminar ao longo do trecho do duto OSBRA.

Tabela 2. Área ocupada pelas classes de suscetibilidade à erosão linear e ocorrências erosivas.

Classe	Área (km ²)	%	Erosões Lineares	%
I - Alta	6.323.004	53,0	30	50,0
II - Média	3.805.055	31,9	23	38,3
III - Baixa	1.507.301	12,6	7	11,7
Água	295.307	2,5	0	0,0
Total	11.930.667	100,0	60	100,0

Fonte: próprios autores.



Fonte: próprios autores.

Figura 4. Suscetibilidade à erosão linear ao longo do trecho do duto OSBRA.

Tabela 3. Área ocupada por cada classe de potencialidade à erosão laminar e ocorrências erosivas.

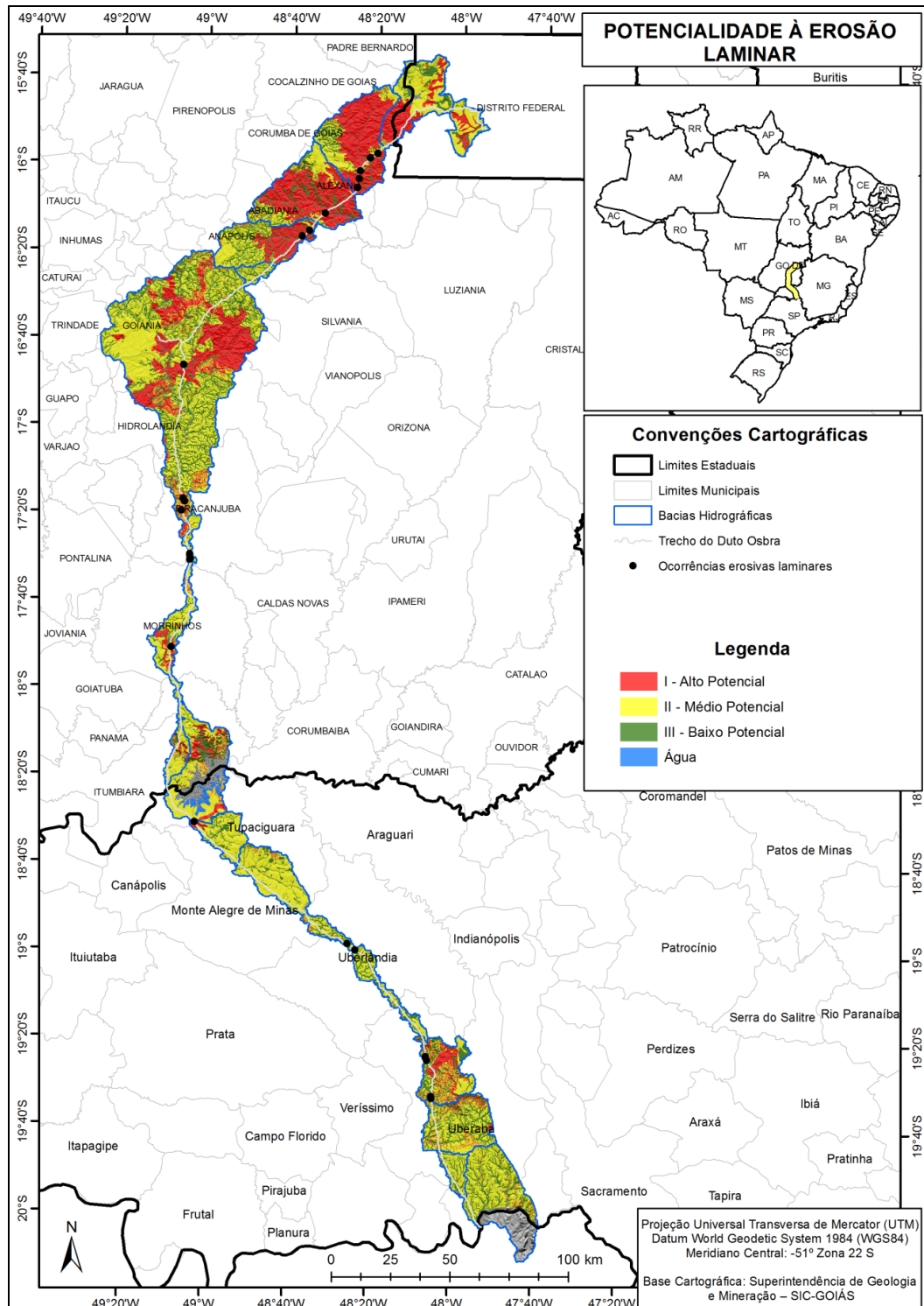
Classe	Área (km ²)	%	Erosões Laminares	%
I - Alta	3.651.023	30,6	15	62,5
II - Média	5.644.220	47,3	8	33,3
III - Baixa	2.340.117	19,6	1	4,2
Água	295.307	2,5	0	0,0
Total	11.930.667	100,0	24	100,0

Fonte: próprios autores.

Tabela 4. Área ocupada por cada classe de potencialidade à erosão linear e ocorrências erosivas.

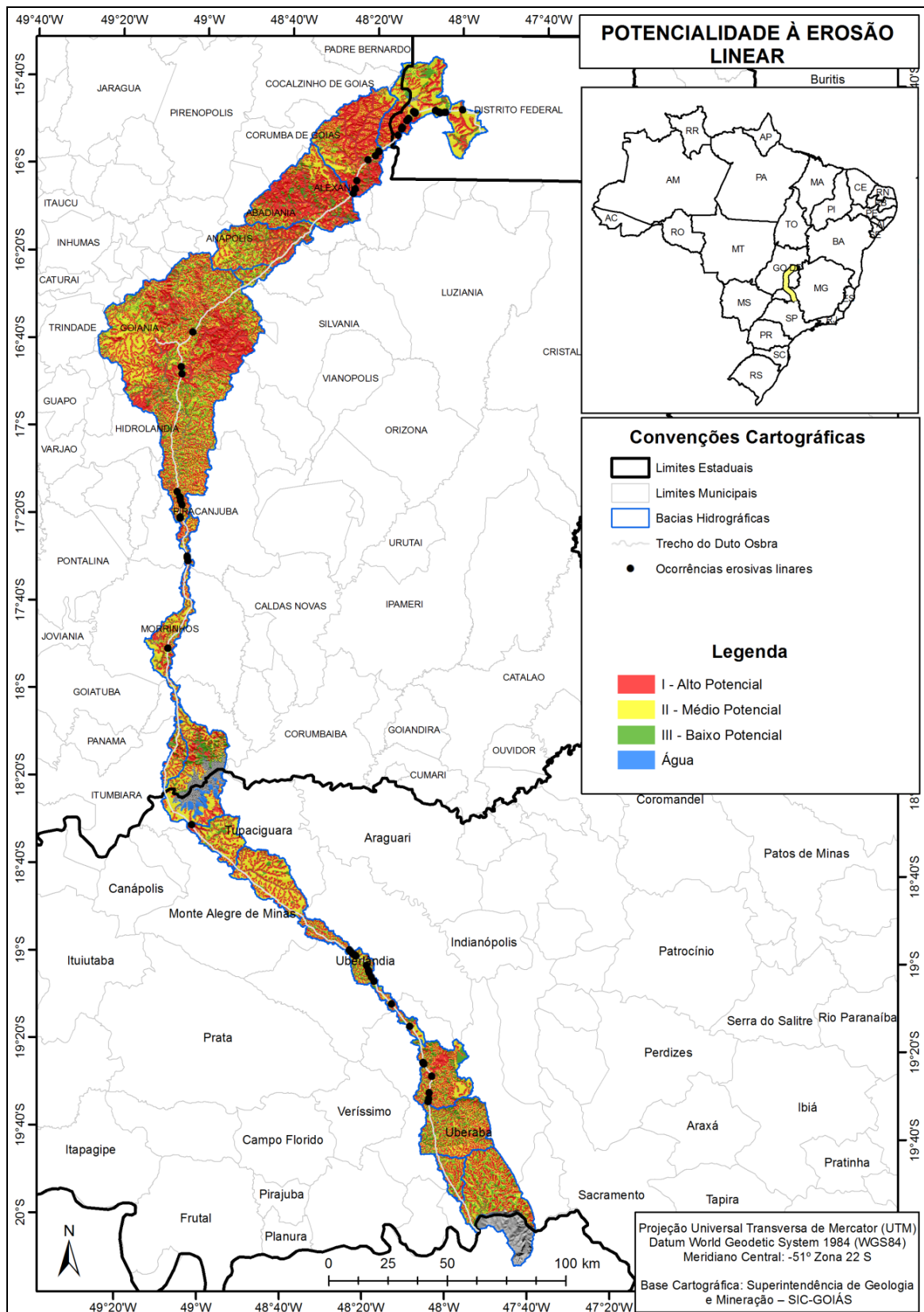
Classe	Área (km ²)	%	Erosões Laminares	%
I - Alta	5.522.164	46,3	29	48,3
II - Média	4.311.849	36,1	25	41,7
III - Baixa	1.801.347	15,1	6	10,0
Água	295.307	2,5	0	0,0
Total	11.930.667	100,0	60	100,0

Fonte: próprios autores.



Fonte: próprios autores.

Figura 5. Potencialidade à erosão laminar ao longo do trecho do duto OSBRA.



Fonte: próprios autores.

Figura 6. Potencialidade à erosão linear ao longo do trecho do duto OSBRA.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do que foi exposto, é possível destacar as seguintes considerações finais:

Os procedimentos metodológicos utilizados foram adequados para que se alcançassem os objetivos propostos, tendo sido comparados às

ocorrências e observado que os resultados foram coerentes.

As maiores suscetibilidades a processos erosivos laminares foram observadas na porção norte e central do trecho do duto OSBRA, principalmente no Trecho 7, na divisa entre o Distrito Federal e o estado de Goiás, e no Trecho 6, no entorno de Goiânia-GO.

As menores suscetibilidades às erosões laminares ocorrem nas proximidades às drenagens, pelo fato do escoamento superficial desacelerar, pois as curvaturas verticais, em geral, são côncavas nessas localidades, com predomínio de deposição de material, ao invés de processos erosivos.

Ao contrário da suscetibilidade à erosão laminar, a deflagração de erosões lineares possui maior sensibilidade em áreas próximas aos cursos de água. Tal fato se deve à erodibilidade dos materiais advindos de depósitos recentes, associados ao curso fluvial,

que em geral possuem baixa coesão, o que confere a eles baixa resistência ao processo erosivo.

As áreas anteriormente indicadas como média e alta suscetibilidade tendem a diminuir quando considerado o uso antrópico, por causa da existência de proteção por cobertura vegetal em tais localidades. Por conseguinte, ocorre o aumento das áreas de baixa potencialidade erosiva quando comparadas àquelas de baixa suscetibilidade.

Tal estudo servirá de base para o planejamento das ações de inspeções da faixa do duto OSBRA por parte da Petrobras. As áreas indicadas como maior potencialidade terão sua vistoria intensificada, com um menor período de retorno para as inspeções.

Esta metodologia será replicada nos próximos projetos de implantação de dutos na região central do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Petrobras pelo apoio técnico e financeiro no desenvolvimento do projeto de pesquisa intitulado “Mapeamento e Caracterização Geológica Geotécnica, Aplicados na Avaliação da Erodibilidade dos Materiais Inconsolidados ao Longo da Faixa do Duto OSBRA da PETROBRAS”, do qual resultou o presente trabalho.

REFERÊNCIAS

1. BERTONI, J. & LOMBARDI NETO, F. L. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 2010.
2. BOTELHO, R. G. M. Planejamento ambiental em microbacia hidrográfica. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S.; BOTELHO, R. G. M. **Erosão e conservação dos solos: conceitos, temas e aplicações**. Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 173-215, 1999.
3. CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; MORTARI, D.; FÁZIO, J. A.; MOTTA, N. O.; FRANCISCO, R. A. Processos erosivos. In CAMAPUM DE CARVALHO, J.; SALES, M. M.; SOUZA, N. M.; MELO, M. T. S. (Orgs.). **Processos erosivos no centro-oeste brasileiro**. Brasília, Editora FINATEC, cap. 2, p. 39-88. 2006.
4. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo, Ed. Blucher, 1981.
5. GOOGLE EARTH. Versão 4.3 (beta). Europa Technologies - US Dept. of state Geographer, 2013.
6. KERTZMAN, F. F.; OLIVEIRA, A.M.; SALOMÃO, F.X.; GOUVEIA, M.I.F. Mapa da Erosão no Estado de São Paulo. In: **Revisa do Instituto Geológico**. São Paulo (SP), volume especial, p. 31-36, 1995.
7. PRUSKI, F. F. **Conservação de solo e água: práticas mecânicas para o controle da erosão hídrica**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006.
8. SALOMÃO, F. X.; CANIL, K.; RODRIGUES, S. P. Exemplo de aplicação da geologia de engenharia no controle preventivo e corretivo dos processos erosivos. **Revista Brasileira de Geologia de Engenharia e Ambiental**. v. 2, n. 2, p. 39-56, 2012.
9. VALERIANO, M. M. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. INPE: São José dos Campos, 75 p., 2008.
10. VILELLA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill, 1975.

*Manuscrito recebido em: 20 de Julho de 2015
Revisado e Aceito em: 03 de Agosto de 2016*