



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Susceptibilidade à Erosão Laminar e Linear da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho e a sua Relação com o Uso e Cobertura da Terra em 2012

Arielle Elias Arantes¹

¹ Dra. em Ciências Ambientais, Professora Adjunta A, Departamento de Engenharia de Transportes, Universidade Federal do Ceará, Campus do PICI, s/n, CEP 60020-181, Fortaleza, Ceará. (62) 99214-3443. aearantes@det.ufc.br (autor correspondente).

Artigo recebido em 24/03/2022 e aceito em 20/09/2022

RESUMO

A perda de solos por erosão leva à redução da produtividade agrícola, e quando em um estágio avançado, impulsiona a degradação dos solos, tornando-os inaptos para o cultivo agrícola. Neste trabalho, buscou-se avaliar a susceptibilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) a erosão laminar e a susceptibilidade a erosão linear da sub-bacia do Córrego Grande, localizada no compartimento de maior susceptibilidade da BHRV, com o intuito de identificar áreas mais propícias a ocorrência de focos erosivos. A alta bacia, que engloba os municípios de Goiás, Buriti de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil e Mossamedes, foi o compartimento que apresentou a maior susceptibilidade a erosão laminar, devido à presença de solos de alta erodibilidade sobre um relevo de alta declividade, favorecendo o escoamento superficial em detrimento da infiltração de água no solo. Neste compartimento, as áreas de pastagem localizadas na Serra de Santa Rita em Faina e na Serra Dourada em Goiás tiveram alguns terrenos cujo uso do solo foi incompatível com a susceptibilidade à erosão laminar, apresentando alto potencial para a ocorrência de focos erosivos de origem laminar. Já a menor susceptibilidade à erosão laminar ocorreu na baixa bacia, em particular nos municípios de Britânia e Aruanã, por ser esta uma área de relevo plano de baixas altitudes sobre depósitos sedimentares recentes. Comparando a susceptibilidade a erosão laminar com a linear para a sub-bacia do Córrego Grande, diferentemente da primeira, a susceptibilidade a erosão linear é maior em declividades intermediárias (7-17%), as quais favorecem uma maior concentração do escoamento superficial.

Palavras-chave: Erosão, Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho, Declividade, Comprimento de Rampa, Sub-bacia do Córrego Grande.

Susceptibility of the Red River Basin to Laminar and Linear Erosions and its Relationship to Land Use and Land Cover in 2012

ABSTRACT

Loss of soil by erosion leads to reduced agricultural productivity, and when at an advanced stage, it drives soil degradation, rendering it unfit for agricultural cultivation. The objective of this work was to evaluate the susceptibility of the Rio Vermelho Hydrographic Basin (BHRV) to laminar erosion and the susceptibility to linear erosion of the Córrego Grande sub-basin, located in the most susceptible compartment of the BHRV, in order to identify favorable areas to erosion. The high basin, which encompasses the municipalities of Goiás, Buriti de Goiás, Fazenda Nova, Novo Brasil and Mossamedes, was the compartment that presented the greatest susceptibility to laminar erosion, due to the presence of soils of high erodibility on a relief of high slope, favoring the superficial flow in detriment to the infiltration of water in the soil. In this compartment, pasture areas located in Serra de Santa Rita in Faina, and Serra Dourada in Goiás, had some terrain whose soil use was incompatible with the susceptibility to laminar erosion, presenting high potential for the occurrence of erosive foci of laminar origin. The lowest susceptibility to laminar erosion occurred in the low basin, particularly in the municipalities of Britania and Aruanã, because it is a flat relief area of low altitudes on recent sedimentary deposits. Comparing susceptibility to laminar erosion with linear erosion for the Córrego Grande sub-basin, differently from the former, susceptibility to linear erosion is higher in intermediate slopes (7-17%), which favors a higher concentration of surface runoff.

Keywords: Erosion, Rio Vermelho Watershed, Slope, Ramp Length, Córrego Grande Sub-basin.

Introdução

Os solos no mundo são um recurso natural finito, do qual a humanidade depende para diversas atividades como: o cultivo de alimentos, como substrato para as construções urbanas, para depósito de resíduos e como material base para as construções (Soil Quality, 2011). Dos solos na superfície terrestre, 1,5 bilhões de hectares são agricultáveis, sendo que 80% destes estão com moderada a severa erosão (Pimentel et al., 1995; Speth, 1994). Em escala global, a erosão dos solos levou a uma perda anual de solos equivalente a 75 bilhões de toneladas, o que custa ao mundo cerca de US\$ 400 bilhões por ano, ou aproximadamente US\$ 70 por pessoa por ano (Eswaran et al., 2019).

A nível continental, Panagos et al. (2019) estimaram a perda de solos decorrentes da plantação de beterraba e batatas para toda a Europa durante o período de 1975-2016, e concluíram que a perda total de solo por colheita pode ser estimada em 14,7 milhões de toneladas ano⁻¹. Considerando a Europa e os Estados Unidos, projeções futuras indicam um aumento na perda de solos pela erosão hídrica de 3,07 ton ha⁻¹ano⁻¹ em 2016 para 3,76 ton ha⁻¹ano⁻¹ em 2050 (Panagos et al. 2021).

A perda de solos por erosão leva a redução da produtividade agrícola, e quando em um estágio avançado, impulsiona a degradação dos solos, tornando-os inaptos para o cultivo agrícola. Crosson (1995) estimou a perda de produtividade agrícola em função de processos erosivos, obtendo uma perda média anual de 0,3%. Biggelaar et al. (2003) determinou a perda de rendimento do milho em função da perda de solo, mostrando que este foi maior (0,33%) em Inceptisols (Cambissolos) na América do Sul. No Nepal, Chalise et al. (2019), destacaram que o relevo montanhoso, associado a chuvas intensas e práticas agrícolas inadequadas levou a uma perda de solos de 16,6 ton ha⁻¹, o que ocasionou em reduções significativas no rendimento agrícola.

Na pecuária, o sobrepastoreio e a compactação do solo pelo rebanho bovino dificultam a infiltração da água, aumentando a erosão laminar e a perda de solo, a qual mundialmente excede a 100 ton ha⁻¹ano⁻¹ (Pimentel et al., 1995). Na Nova Zelândia, Donavan e Monaghan (2021) concluíram que o pastoreio aumentou a erodibilidade do solo em 6% e as perdas médias de solo em 87%, comparado às práticas de confinamento empregadas durante o inverno. No Planalto de Qinghai-Tibet (QTP), a erosão acelerada do solo correlacionou-se

significativamente com o número de animais e atividades de pastagem intensiva, sugerindo que o pastoreio de gado desempenha um papel fundamental na aceleração da erosão do solo (Li et al., 2019).

A perda de solo por erosão também leva à poluição da terra e dos recursos hídricos, levando ao assoreamento dos cursos d' água (Chalise et al., 2019). Tavares (2020) conseguiu identificar o impacto da erosão laminar no assoreamento do Rio Boa Vista, localizado em Queimadas na Paraíba, utilizando-se de técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto e coletas de campo. Da mesma forma, Tsegaye e Bharti (2021), avaliaram a perda de solo e a deposição dos sedimentos nos canais da Bacia do Nilo Azul e descobriram que de um total de 20,125.5 ton ano⁻¹ de solo erodido em toda a bacia, 2,254.5 ton ano⁻¹ de sedimentos (11% do total) foram trazidos e depositados nos canais fluviais.

A erosão dos solos é um processo natural de remoção e transporte de partículas minerais e orgânicas do solo por agentes meteorológicos, ocorrendo desde a formação da terra e da sua atmosfera (Larson et al., 1983). O processo de erosão dos solos é acelerado, quando as atividades humanas desenvolvidas sobre estes são incompatíveis com as características naturais do solo e da paisagem, o que associado aos agentes erosivos, propiciam o aumento da energia disponível para o processo erosivo (Davis e Browne, 1996). A erosão hídrica pode remover o solo de forma superficial ou subterrânea, sendo que a erosão hídrica superficial se manifesta como erosão laminar, quando o arraste das partículas do solo é uniforme e suave em toda a extensão da vertente e a erosão linear, onde há uma concentração de linhas de fluxo das águas de escoamento superficial, resultando em pequenas incisões na superfície do terreno evoluindo para ravinas e voçorocas (Magalhães, 2001; Salomão, 1999). No caso da erosão laminar, os fatores condicionantes a este processo erosivo são: a chuva, a cobertura vegetal, a topografia e os solos (Salomão, 1999).

Os processos erosivos podem ser estudados a partir de diferentes abordagens dependendo se o interesse está na quantificação das perdas de solo por erosão ou na avaliação quantitativa do comportamento dos processos erosivos. Os métodos para avaliar a perda de solo ou a suscetibilidade aos processos erosivos de

origem laminar ou linear são distintos, por envolverem mecanismos e condicionantes distintos. Salumbo (2021) apresenta três categorias de métodos que podem ser utilizados para detectar processos erosivos, sendo 1) os métodos baseados em sinais visíveis de erosão, como o uso de imagens de satélite e aéreas para identificar focos erosivos, 2) métodos que exploram os fatores que favorecem o risco a ocorrência de erosão e 3) os métodos que utilizam de modelos de perda de solo, como a Equação Universal de Perda do Solo (USLE) e as suas variações como a RUSLE, revisada e a MUSLE, modificada (Mitassova et al., 1995; Kumar e Kushwaha, 2013). Djoukbal et al. (2019) compararam os modelos USLE, RUSLE e MUSLE para a bacia Ghazouana na Argélia e concluíram que os três modelos produziram resultados de perda de solos relativamente semelhantes, porém, o modelo MUSLE apresentou maior dispersão espacial do risco de erosão em relação aos demais.

A suscetibilidade à erosão laminar pode ser determinada cartograficamente a partir da análise dos fatores naturais que influenciam o desenvolvimento dos processos erosivos (IPT, 1990). Diferentemente desta, a erosão linear deve contemplar o comportamento das águas de chuva e do lençol freático (Salomão, 1999). O método para determinar a suscetibilidade a erosão linear baseia-se em análise quantitativas, que ponderam o comportamento dos fluxos de água e a incidência de ravinas e voçorocas em relação a diferentes fatores geológicos, geomorfológicos e pedológicos (Salomão, 1999). Na literatura predominam os modelos de perda de solos e os que se baseiam em sinais visíveis de erosão. Neste trabalho será explorado o uso de fatores ambientais e antrópicos para gerar mapas de suscetibilidade à erosão.

Krug et al. (2022) utilizaram a USLE em conjunto com a álgebra de mapas para produzir um mapa de áreas susceptíveis à erosão laminar na região oeste do estado do Paraná, concluindo que todas as áreas das três propriedades analisadas apresentaram baixa suscetibilidade à erosão. Modificando a USLE, Chuenchum et al. (2020) avaliaram a erosão laminar da bacia do rio Lancang-Mekong, indicando que 45% da bacia apresenta uma moderada erosão. Utilizando-se de um sistema fuzzy de inferência, Souza et al. (2019) avaliaram o potencial de erosão laminar da bacia do Ribeirão Sucuri Grande, concluindo que 56,89% da bacia apresenta uma média a alta erosão laminar, demandando assim maior atenção no manejo do solo.

Com relação à erosão linear, Gioia et al. (2021) utilizando-se do modelo USPED, o qual considera os aspectos do relevo e do fluxo da água para prever onde poderá ocorrer uma erosão linear, e de ortofotos históricas, validaram o modelo comparando as erosões previstas com as mapeadas nas ortofotos obtidas com um Veículo Aéreo Não-tripulado (UAV). Estes também relacionaram o uso atual e histórico da terra com a ocorrência da erosão linear, concluindo que o avanço da agricultura em 2020 favoreceu o aumento de focos erosivos. Cândido (2019) estimou a perda de solo utilizando imagens obtidas com o uso de uma UAV e dados coletados em campo, mostrando o alto potencial desta ferramenta para identificar focos erosivos e estimar a perda de solo.

Partindo do uso de fatores ambientais e antrópicos que favorecem a ocorrência de erosão, Soares e Martins (2021) avaliaram as zonas com maior susceptibilidade a ocorrências de processos de degradação ambiental, como erosões laminares e lineares, e as mais propícias às alterações da qualidade das águas. Estes utilizaram como estudo de caso uma microbacia localizada nos municípios de Aruanã, Britânia e Santa Fé de Goiás, os quais, apresenta um alto potencial de fragilidade ambiental. Curiosamente, esta região da BHRV apresenta uma moderada a baixa pressão nos recursos hídricos, devido à superexploração dos recursos hídricos, à alteração dos canais de drenagem, à ocupação das Áreas de preservação permanente (APPs) e à substituição da vegetação natural por pastagens (Franco, 2021). Assim, a fragilidade ambiental, decorrente das características pedológicas e geomorfológicas da BHRV e a ocupação das APPs aumenta a suscetibilidade desta aos processos de erosão laminar e linear. Neste sentido, buscou-se avaliar a suscetibilidade da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho a erosão laminar e a suscetibilidade a erosão linear da sub-bacia do Córrego Grande, localizada no compartimento de maior suscetibilidade da BHRV, com o intuito de identificar áreas mais propícias a ocorrência de focos erosivos.

Material e métodos

Localização e Caracterização da Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho está inserida na região hidrográfica do Tocantins-Araguaia, na porção oeste do estado de Goiás, com área de 10,824 km² (cerca de 3% da área do estado de Goiás), cobrindo onze municípios do Estado, sendo estes os municípios de Aruanã, Britânia,

Matrinchã, Santa Fé de Goiás, Jussara, Itapirapuã, Novo Brasil, Fazenda Nova, Buriti de Goiás, Faina e Goiás (Figura 1). Na borda sudeste da BHRV, no município de Goiás, encontra-se a sub-bacia do Córrego Grande (Figura 1). A BHRV é dividida em

três compartimentos morfopedológicos, os quais coincidem com os compartimentos geomorfológicos identificados por Machado e Lima (2011).

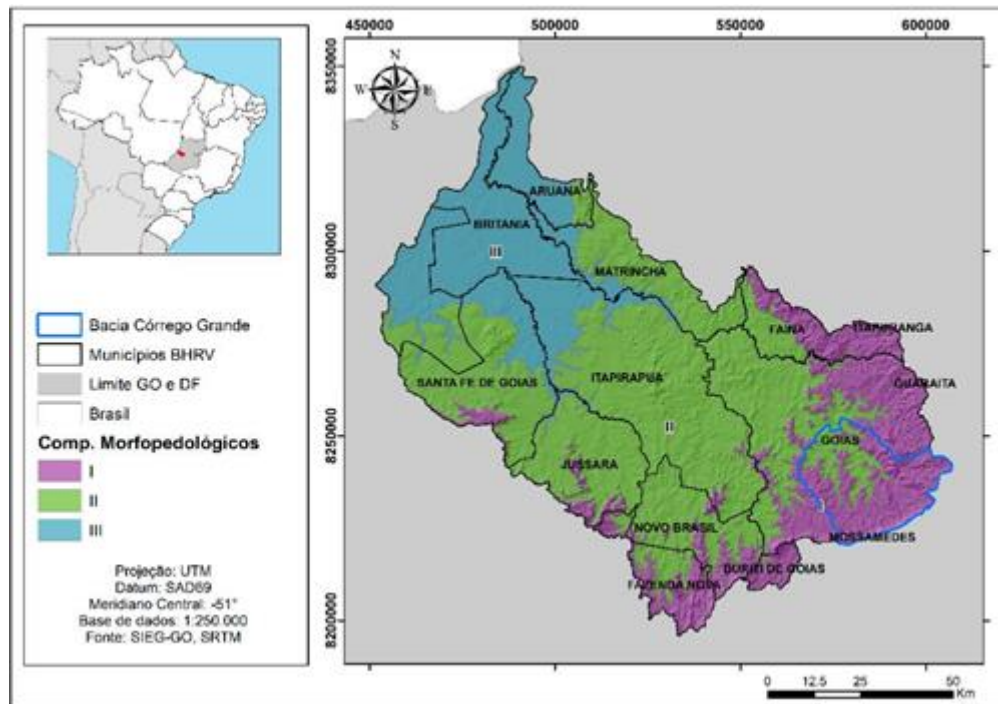


Figura 1. Localização da Bacia Hidrográfica do Rio Vermelho (BHRV) e da microbacia do Córrego Grande no estado de Goiás e no Brasil, com os respectivos limites dos compartimentos morfopedológicos.

Suscetibilidade à Erosão Laminar

Para a determinação da suscetibilidade e da potencialidade à erosão laminar, elaborou-se mapas temáticos: geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e cobertura da terra. Os mapas das unidades geológicas e geomorfológicas foram obtidos do portal do SIEG (www.sieg.go.gov.br) e recortados para a BHRV. Estes mapas, em conjunto com os mapas de solos, declividade e hipsometria, serviram para a elaboração da compartimentação morfopedológica e a caracterização da área de estudo.

A fim de determinar a maior ou menor resistência à erosão laminar (erodibilidade), o mapa pedológico foi elaborado para a BHRV. O mapa pedológico obtido do Radambrasil foi refinado com base em informações de campo e informações da declividade e hipsometria do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) trazendo-o da escala de 1:1.000.000 para 1:250.000. É importante ressaltar que o refinamento do mapa de solos não teve como base a coleta de amostras de solo no campo, mas apenas

um conhecimento visual da área. Neste sentido, as informações de textura utilizadas para a elaboração do mapa de susceptibilidade à erosão laminar foram as informações obtidas do mapa de solos do Radambrasil. A partir das informações das classes de solo e da textura determinou-se a erodibilidade dos solos, segundo os índices de erodibilidade de Bertoni e Lombardi Neto (1985) (Tabela 1).

Para a análise da topografia e das classes de suscetibilidade a erosão laminar, mapas de declividade e hipsometria foram feitos a partir de dados SRTM. As classes de erodibilidade dos solos (Tabela 1) foram cruzadas com as classes de declividade (0-6, 6-12, 12-20, 20-45, > 45) para gerar as classes de suscetibilidade a erosão laminar (Tabela 2).

Por fim, para a determinação da potencialidade à erosão laminar, que resulta do acréscimo de fatores de cobertura, uso e manejo do solo, foi utilizado o mapa de uso e cobertura da terra elaborado por Santos (2014), a partir da classificação supervisionada de imagens RapidEye de 2012 na escala de 1:50.000, cruzando este com

o mapa de suscetibilidade à erosão laminar (Tabela 3).

Tabela 1- Classes de Erodibilidade

Classes	Índices relativos	Unidades Pedológicas
I	10,0 a 8,1	- Cambissolos, Neossolos Litólicos - Argissolos de textura arenosa/média - Neossolos Quartzarênicos
II	8,0 a 6,1	- Argissolos de textura média/argilosa, e textura média
III	6,0 a 4,1	- Argissolos de textura argilosa
IV	4,0 a 2,1	- Latossolos de textura média - Latossolos de textura argilosa - Nitossolos
V	2,1 a 0	- Gleissolos

I = Muito Alta, II = Alta, III = Média, IV = Baixa e V = Muito Baixa

Tabela 2- Classes de Suscetibilidade a Erosão Laminar

		Declividade %			
		I (≥ 20)	II (12-20)	III (6-12)	IV (≤ 6)
Erodibilidade	I	I	I	II	II
	II	I	II	II	III
	III	II	III	III	IV
	IV	III	IV	IV	V
	V	-	-	-	V

I = Extremamente Susceptível, II = Muito Susceptível, III = Moderadamente Susceptível, IV = Pouco Susceptível e V = Pouco a Não Susceptível

Tabela 3- Classes da Potencialidade à Erosão Laminar

Suscetibilidade	Classes de Uso e Cobertura do Solo				
	I	II	III	IV	V
I	I	I	I	II	-
II	I	II	II	III	-
III	II	II	II	III	-
IV	II	III	III	III	-
V	III	III	III	III	III

I = Alto, II = Médio, III = Baixo

Suscetibilidade à Erosão Linear

Para avaliar a suscetibilidade a erosão linear, selecionou-se uma sub-bacia da BHRV localizada no compartimento de maior suscetibilidade à erosão laminar. Neste sentido,

optou-se pela sub-bacia do Córrego Grande, a qual localiza-se na alta bacia (compartimento I) próximo ao perímetro urbano da cidade de Goiás (Figura 1). A metodologia utilizada para determinar a suscetibilidade a erosão linear foi desenvolvida por Salomão (1999) e contempla as seguintes etapas: cadastro de ocorrência de erosões lineares, correlação das feições erosivas com variáveis ambientais e definição de critérios de distinção de classes de suscetibilidade. Assim, primeiramente foram identificados os focos erosivos lineares na sub-bacia do Córrego Grande por meio da interpretação visual nas imagens do Google Earth para o ano de 2015. Posteriormente, quantificou-se o número de focos erosivos por classe de declividade, segundo o mapa de declividade elaborado, considerando um total de 7 classes, dividida conforme a classificação de Quebras Naturais e determinou-se a área relativa de cada classe de declividade e a área relativa dos focos erosivos. Também foi quantificado o número de focos erosivos por classes de comprimento de fluxo, considerando 7 classes, sendo que estas classes foram definidas utilizando o método de classificação de Quebras Naturais, o qual baseia-se no histograma da imagem e agrupa os valores semelhantes em uma determinada classe, maximizando as diferenças entre as classes. Após isso, calculou-se a área relativa de cada classe de comprimento de fluxo e da área relativa dos focos erosivos. A imagem de comprimento de fluxo foi elaborada a partir do cruzamento de imagens de declividade e do comprimento d e rampa, segundo a equação 1 (Bertoni e Lombardi Neto, 1985). Para a elaboração do comprimento de rampa, determinou-se primeiro a direção de fluxo e, posteriormente, o comprimento de rampa.

$$LS = 0,00984 \times L^{0,63} \times S^{1,12} \quad (1)$$

Onde:

LS = Comprimento de Fluxo

L = Comprimento de Rampa

S = Declividade

Por fim, a área relativa dos focos erosivos foi subtraída da área relativa de cada classe de declividade e de comprimento de fluxo. A partir da diferença entre as áreas relativas dos focos erosivos e das classes (declividade e comprimento de fluxo), calculou-se a média ponderada do resultado entre as duas classes e definiu-se as classes de suscetibilidade a erosão linear (Tabela 4).

deposição de sedimentos carregados pelo vento ou pela água, sendo classificados segundo o sistema de transporte de sedimentos em eólicos, glaciais, lacustres e fluviais (Latrubesse e Carvalho, 2006).

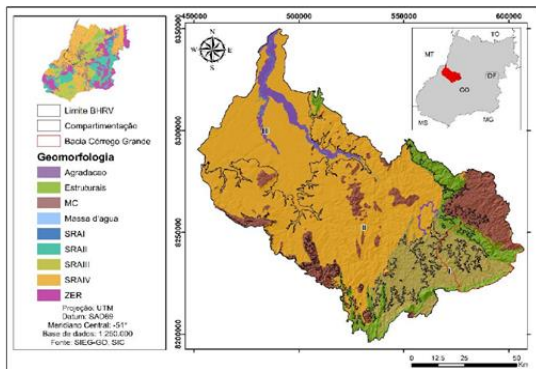


Figura 3. Unidades Geomorfológicas, conforme os dados da CPRM/SIC- FUNMINERAL (2008), para a BHRV na escala de 1:500.000.

Na alta bacia (COMP I), em pequenas manchas lineares na porção sul e leste, ocorre as Estruturas Dobradas do tipo Hogbacks (HB-ED) sobre o Grupo Goiás Velho, composto por rochas do tipo Greenstone belts, formando algumas serras como: a Serra Dourada em Goiás e a Serra de Santa Rita em Faina. Já na porção oeste, sobre os granitos-gnaisses do Complexo Uvã, tem a Superfície Regional de Aplainamento III, caracterizada por escarpas de centenas de metros de altura. No extremo leste, no município de Faina, sobre as unidades geológicas do Complexo de Anta ocorrem a forma de relevo do tipo Morros e Colinas (MC) (Figura 3). As três unidades geomorfológicas descritas acima inserem-se em cotas altimétricas variando de 1058 a 382 m, sendo que a SRAIII da classificação de Latrubesse e Carvalho (2006) apresentaram uma variação menor de 850-550 m do que a observada pelo mapa de hipsometria (Figuras 3 e 4). A declividade é superior na borda das unidades geomorfológicas de HB-ED e MC, com declividades de 12% a mais de 45% e menor na SRAIII (menor do que 12%) (Figura 5). Neste sentido, predomina na alta bacia o relevo ondulado na sua maior extensão e o fortemente ondulado nas bordas das unidades HB-ED e MC.

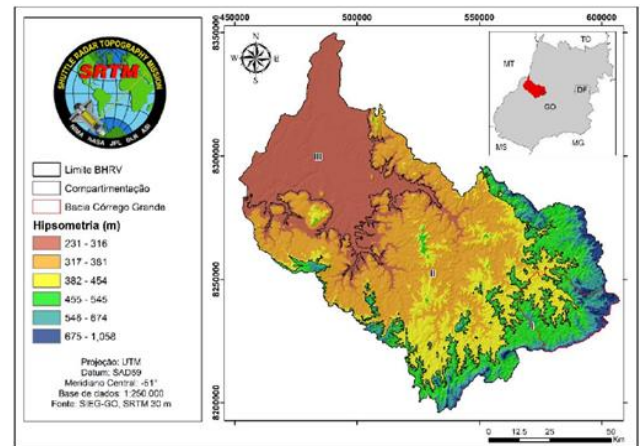


Figura 4. Hipsometria (m), conforme os dados do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), para a BHRV na escala de 1:250.000.

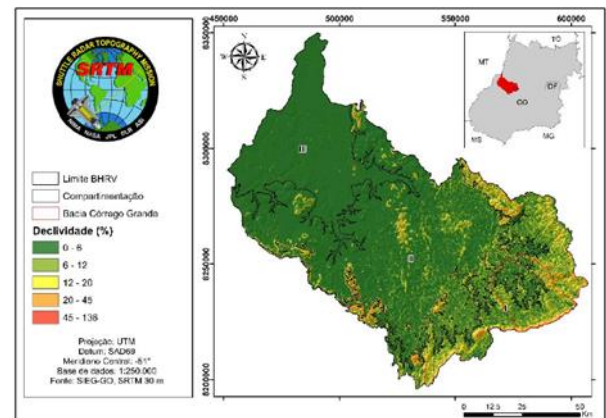


Figura 5. Declividade (%), conforme os dados do SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission), para a BHRV na escala de 1:250.000.

Já na média e baixa bacia (COMPs II e III) a maior expressividade espacial da Superfície Regional de Aplainamento IV (SRAIV), caracterizada por uma morfologia mais acidentada que se encontra numa posição mais proximal em relação às superfícies que erode, sendo composta por rochas do embasamento cristalino sotopostas por uma cobertura detrito-laterítica (Figura 3). Está SRAIV está inserida em cotas altimétricas variando de 454 a 317 m (Figura 3), já Latrubesse e Carvalho (2006) mostram que esta superfície se insere em cotas variando de 500-400 m. A declividade da SRAIV é muito baixa (0-6%), caracterizando o relevo como plano. Na baixa bacia há também uma pequena mancha do sistema agradacional de origem fluvial na planície de inundação do Rio Vermelho de baixa declividade (0-6%) e hipsometria (316-231 m) (Figuras 3, 4 e 5).

Considerando a geomorfologia da BHRV, em associação a altimetria e a declividade, percebe-se que a alta bacia apresenta maior vulnerabilidade aos processos erosivos de todos os compartimentos da bacia. Isso porque a alta variabilidade das formas de relevo (Serras, Morros, Colinas e Escarpas) em relação às cotas altimétricas, favorece a ocorrência de maiores declividade ($\mu = 12\%$, $\sigma = 9\%$) na alta bacia, se comparado a média ($\mu = 5\%$, $\sigma = 4\%$) e baixa bacia ($\mu = 1\%$, $\sigma = 1\%$) (Figura 5). Assim, espera-se que a vulnerabilidade aos processos erosivos seja maior na alta bacia, principalmente nos locais que fazem limite entre as unidades geomorfológicas HB-ED e MC, onde a declividade, e, conseqüentemente, a energia disponível para os processos erosivos são maiores.

As unidades geológicas, com as suas respectivas litologias, em conjunto com as formas do relevo e da declividade, favoreceram a formação de diferentes classes de solo na BHRV. Em geral, na BHRV como um todo os Latossolos Vermelho-Amarelo Distróficos (51%) são de maior abrangência espacial, seguido do Neossolo Litólico Distrófico (16%) e do Cambissolo Distrófico (14%) (Figura 6). Os solos de menor abundância na BHRV foram o Neossolo Quartzarênico (2%) e o Gleissolo Distrófico (5%), os quais concentram-se na baixa bacia (COMP III) próximo às margens do Rio Vermelho (Figura 6).

Na alta bacia (COMP I), 54% dos seus solos são Cambissolos Distróficos e 36% Neossolos Litólicos Distróficos, na sua maior parte de textura média a arenosa (Figura 6). Os Cambissolos e os Neossolos Litólicos de maior abrangência na alta bacia, apresenta muito alta erodibilidade muito alta (I), por terem uma baixa proporção de partículas argilosas, as quais fazem a ligação entre as partículas maiores, são mais favoráveis a remoção destas partículas, mesmo com baixo escoamento superficial (Figura 7). A predominância de solos rasos de textura média a arenosa na alta bacia deve-se aos fatores de formação do solo deste compartimento. Na alta bacia, a presença de um substrato rochoso formado de gnaisses, granitos e quartzitos do Complexo de Uvã e do Grupo Goiás Velho, de maior resistência ao intemperismo químico, em associação ao relevo dissecado de maior declividade, favorece o escoamento superficial em detrimento à infiltração da água no solo, formando perfis pedológicos pouco espessos, jovens, com uma maior abundância de minerais primários e de granulometria mais arenosa.

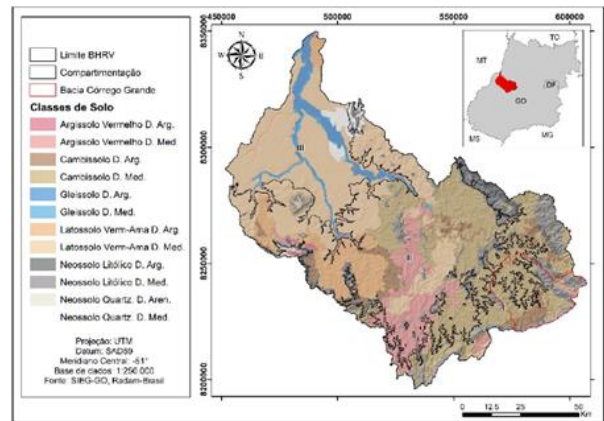


Figura 6. Classes de Solo, conforme os dados do Radambrasil e um detalhamento feito com base no conhecimento da área no campo e imagens SRTM, para a BHRV na escala de 1:250.000.

Por outro lado, a média bacia (COMP II) apresenta maior percentual de Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico (40%) e Cambissolo Distrófico (38%), sendo que boa parte deste compartimento é formado por coberturas detrítico-lateríticas, o que confere a estes solos um caráter ferruginoso com a presença de seixos e carapaças ferruginosas (Vieira, 2013). Como neste compartimento ainda tem uma significativa porção de solos de textura média a cascalhenta da classe dos Cambissolos, os solos apresentam de muito alta a alta erodibilidade (I a II), com exceção de uma pequena mancha de Argissolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo na porção central do compartimento de alta (II) e baixa erodibilidade (IV) (Figura 6). Nos locais com Argissolo Vermelho de textura média na média bacia, a erodibilidade é alta, porque estes solos apresentam um gradiente textural, com horizonte A bem mais arenoso do que o horizonte B subjacente de maior teor de argila, o qual serve como uma barreira à infiltração da água, favorecendo a saturação do horizonte B e o desenvolvimento de enxurradas, causando maior erosão nos Argissolos (Salomão, 1999).

Já na baixa bacia (COMP III), caracterizada por baixa declividade (menores que 6%) e hipsometria (cerca de 300 m), os Latossolos Vermelho-Amarelos ocupam 76% deste compartimento, visto que estes, são solos profundos de alto grau de intemperismo e lixiviação ocorrendo em relevos de menor declividade, os quais favorecem a infiltração da água no solo (Santos, 2014; Veiga, 2012) (Figura 6). Os Latossolos Vermelho-Amarelos apresentam baixa erodibilidade (IV), visto que estes por serem

quimicamente pobres em bases (na, Ca e Mg) e ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio, tendem a se estruturarem na forma de microagregados, o que confere a este solo uma alta porosidade e, consequentemente, uma maior capacidade de infiltração e absorção das chuvas e uma maior resistência ao arraste das partículas pela água da chuva (Figura 7). É interessante notar que os Neossolos Quartzarênicos Distróficos ocupam 5% e os Gleissolos Distróficos 18% deste compartimento, sendo estes os maiores percentuais destas classes de solo de todos os compartimentos da BHRV. No local onde há Neossolos Quartzarênicos a textura arenosa deste solo favorece o arraste das partículas pelo escoamento superficial, por isso nestes locais a erodibilidade é muito alta (I) (Figura 7). O maior percentual do Neossolo Quartzarênico deve-se à presença de coberturas de areia e detrítico-laterítica da Formação Araguaia, que propicia a formação de solos de maior teor de areia. Já o maior percentual de Gleissolo sobre o sistema agradacional da planície de inundação do Rio Vermelho, deve-se à flutuação da vazão do Rio Vermelho formando um ambiente hidromórfico. Nestes locais de Gleissolo, a erodibilidade é muito baixa (V), visto que são solos hidromórficos que retêm muita umidade, o que confere a estes solos uma força de resistência mil vezes maior do que a gravidade (Lombardi Neto e Bertoni, 1975).

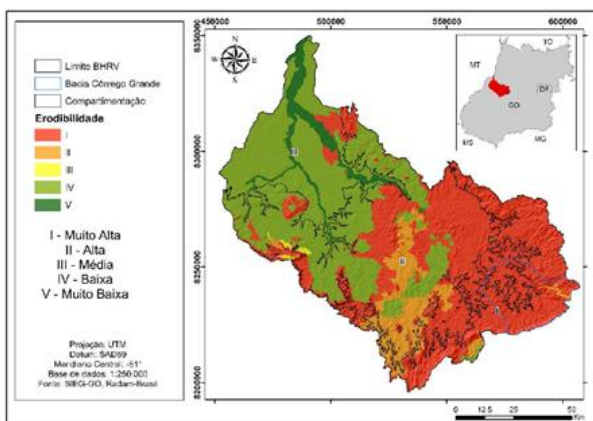


Figura 7. Erodibilidade dos solos, conforme as classes de solo e a metodologia de Bertoni e Lombardi Neto, 1985.

A presença de solos rasos e relevo dissecado na alta bacia e parte da média bacia condicionou um uso do solo restrito para este compartimento, em geral para a atividade pecuária, se comparado a baixa bacia de relevo plano e solos profundos, a qual tem algumas áreas com uso agrícola. Historicamente, a atividade pecuária na

BHRV, caracterizada pela produção extensiva de animais no pasto, é a principal atividade econômica da bacia, a qual mantém o desenvolvimento do agronegócio local (IBGE, 2006; Palacin e Moraes, 2008). As pastagens da BHRV são formadas predominantemente por espécies herbáceas cultivadas de origem Africana como a *Brachiaria brizantha* (65,62%), a *Brachiaria humidicola* (1,67%) e o *Andropogon gayanus* (0,12%) (Figura 8). A *Brachiaria brizantha* ocorre na maioria dos solos da BHRV (Latosolos, Argissolos e Cambissolos), mas a produtividade das pastagens em cada local está condicionada ao manejo, ou seja, a correção dos solos com calcário para reduzir a sua acidez e o uso de fertilizantes (Martha Junior e Vilela, 2002). Já a *Brachiaria humidicola* ocorre preferencialmente sobre Gleissolos no sistema agradacional da planície de inundação do Rio Vermelho, isso porque esta espécie de pastagem é adaptada à áreas alagadas ou com flutuação periódica do lençol freático (Figuras 3, 6 e 8) (Moraes et al., 1995).

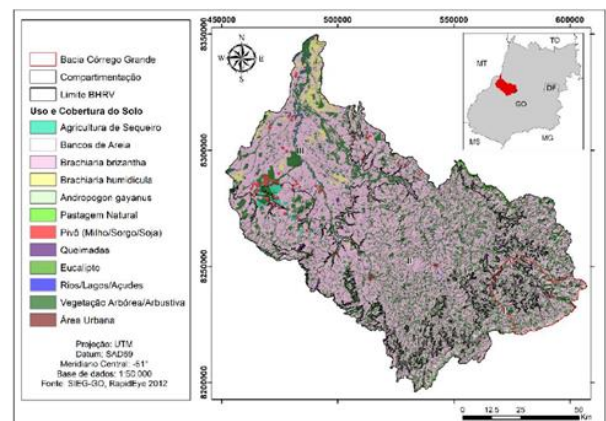


Figura 8. Uso do Solo, conforme os dados do Radambrasil e um detalhamento feito com base no conhecimento da área no campo e imagem SRTM, para a BHRV na escala de 1:50.000.

Por outro lado, o *Andropogon gayanus* ocorre em regiões de solos férteis e cascalhentos, em geral em áreas de maior declividade próximo às Serras de Santa Rita e Serra Dourada, devido à menor exigência de fertilidade e a maior adaptação desta espécie a solos cascalhentos e rasos (Moraes et al., 1995) (Figura 8). Assim como este, as pastagens naturais ocorrem em menor proporção (0,17%) nas intermediações da Serra da Mesa (alta bacia – COMP I) em locais de alta declividade (superior a 20%) e são formada por espécies adaptadas ao ambiente de Cerrado, sendo que mesmo de baixa expressividade espacial estas são fundamentais para a pecuária extensiva,

por representar uma alternativa para o pastoreio no período seco, visto que espécies naturais tem menor redução da biomassa nestes períodos (Santos, 2014; Hill et al., 1999) (Figuras 5 e 8). Com relação ao padrão tecnológico da pecuária, esta varia entre os diversos compartimentos da BHRV, sendo que na baixa bacia domina a prática de uma pecuária de maior nível tecnológico (COMP III), seguido da média bacia (COMP II) por apresentar um mescla de propriedades que apresentam um nível tecnológico alto a moderado e na alta bacia (COMP I) com baixo nível tecnológico, em particular em áreas de *Andropogon gayanus* e Pastagem Natural (Vieira, 2013).

Intercalado às pastagens cultivadas há algumas manchas de vegetação arbórea e arbustiva (Cerradão e Campos Cerrado), as quais compõem 30% da área da BHRV. Na alta bacia, as áreas de vegetação nativa ocorrem em locais impróprios para qualquer uso do solo, onde o relevo é ondulado a fortemente ondulado (superior a 20%), como na borda das unidades geomorfológicas HB-ED e MC, caracterizadas pela presença de Neossolos Litólicos (Figuras 3, 5 e 8). Já na média bacia, as áreas de vegetação nativa estão na sua maior parte associadas às reservas legais e na baixa bacia como áreas de APP do Rio Vermelho e seus principais afluentes.

As áreas de agricultura estão localizadas no limite entre a média e a baixa bacia na porção oeste da BHRV cobrindo parte dos municípios de Jussara e Santa Fé de Goiás (Figuras 1 e 8). As áreas agrícolas no período seco são destinadas à produção de milho e sorgo para fins da alimentação dos bovinos e no período chuvoso são utilizadas para o plantio de grãos de soja (Santos, 2014) (Figura 8). Os pivôs localizados sobre as áreas agrícolas são utilizados para o plantio irrigado de sorgo, enquanto os pivôs localizados sobre as áreas de pastagem são destinados a irrigação da pastagem no período seco (Figura 8). Já as áreas urbanas correspondem aos núcleos urbanos dos municípios localizados na BHRV.

Suscetibilidade e Potencialidade à Erosão Laminar

A suscetibilidade a erosão laminar retrata a predisposição natural que os solos apresentam em função das suas características ambientais, em conjunto com a energia disponível para o processo erosivo, sendo que esta não é um indicativo de que a erosão laminar irá acontecer, apenas do potencial que uma determinada área tem para a ocorrência dos processos erosivos. Para a BHRV, a alta

(39,73%) e parte da média (10,15%) bacia apresentam uma maior expressividade espacial de áreas extremamente suscetíveis à erosão laminar, enquanto em parte da média bacia e na baixa bacia (42,49%), a maior parte das áreas são pouco ou não suscetíveis à erosão laminar (Figura 9).

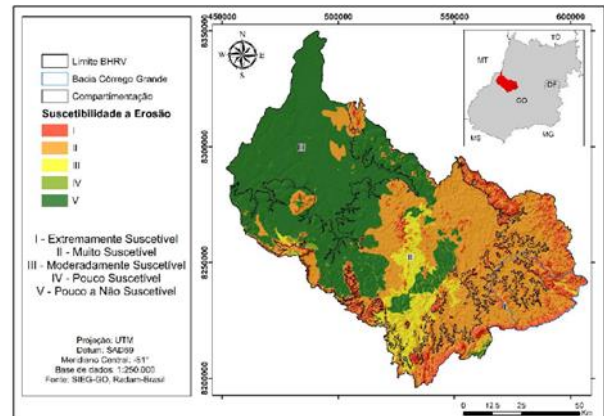


Figura 9. Suscetibilidade à erosão laminar, conforme os dados de solos e declividade, para a BHRV na escala de 1:250.000.

Na alta bacia, os locais extremamente suscetíveis à erosão laminar (I) correspondem aos locais onde predominam o Grupo de Goiás Velho com os Greenstone belts de Goiás, com estrutura de relevo branquianticlinal do tipo *hogback* (HB-ED), com declividades superiores a 12% e altitude superior a 500 m e solos do tipo Neossolo Litólico. Há também locais de alta suscetibilidade à erosão laminar sobre rochas de granitos e quartzitos do Complexo de Anta e Uvã localizadas em relevo com declividade superior a 12% e formas do tipo Morros e Colinas (MC) em Cambissolos Distróficos de textura média (Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 9). Com relação aos solos, Silva e Mendes (2019) encontraram uma maior suscetibilidade a erosão laminar em locais com solos pouco profundos, de baixa permeabilidade e elevado gradiente textural, como é o caso do Neossolo Litólico e do Cambissolo predominantes na alta e média bacia. Solos de alta erodibilidade sob relevo com declividade superior a 12% correspondem a terrenos que apresentam problemas complexos de conservação, correspondendo às classes de VII e VIII da capacidade de uso das terras, sendo indicados para preservação ou para o reflorestamento (Salomão, 1999).

Na média bacia, mesmo com características topográficas pouco favoráveis aos processos erosivos, como a menor declividade e altitude, este compartimento encontra-se sobre um substrato do embasamento cristalino coberto por

uma superfície detrítico-laterítica, com presença de Cambissolo, segundo o mapa de solos na escala de 1:250.000. O solo de alta erodibilidade faz com que boa parte deste compartimento seja classificado como de alta suscetibilidade à erosão laminar. É importante destacar que a presença de Cambissolos, que são solos rasos, jovens, pedregosos ou cascalhentos, com um horizonte B incipiente ou sem horizonte B, destoa das demais características ambientais como: o relevo plano e altitudes intermediárias. As características ambientais da média bacia favorecem a infiltração da água em detrimento ao escoamento superficial e na teoria deveria formar solos mais profundos com a maior abundância de argilominerais 2:1 ou 1:1. Neste caso, o Cambissolo nestes locais podem ser oriundos de erros no mapa de solos, devido a escala adotada (1:250.000), sendo necessário a realização de diversas campanhas de campo nestes locais a fim de coletar amostras de solo para o melhor refinamento do mapa de solos. Já as áreas de Argissolo e Latossolo dentro deste compartimento apresentam moderada a pouca suscetibilidade à erosão laminar (III), concordando com as características de relevo (baixa declividade e hipsometria). A classe III de suscetibilidade a erosão laminar corresponde a classe IV de capacidade de uso das terras, e são terrenos que apresentam problemas complexos de conservação, sendo mais indicados para pastagens e culturas perenes (Salomão, 1999),

O compartimento da baixa bacia apresenta poucos a nenhuma suscetibilidade (V) a erosão laminar, devido a predominância do Latossolo Vermelho-Amarelo de baixa erodibilidade em associação a topográfica de menor declividade (inferior a 6%) e hipsometria (400-300 m). Próximo das margens do Rio Vermelho este compartimento está no processo de agradação ou sedimentação e não passando pelo processo denudacional, que seria a erosão natural da superfície terrestre por agentes como as chuvas e o vento. A classe V de suscetibilidade a erosão laminar, corresponde às classes I, II e V de capacidade de uso das terras, sendo que a classe I são locais que não apresentam nenhum problema de conservação, podendo ser utilizados com qualquer tipo de cultura, e a II, apresentam problemas simples de conservação podendo ser utilizado utilizados para qualquer tipo de cultura, mas exigem práticas não mecanizadas de controle a erosão e a classe V são terrenos que não apresentam problemas de conservação, mas exigem técnicas especiais de cultivo, por serem

constituídos de solos encharcados (Salomão, 1999).

Diferentemente da suscetibilidade a erosão laminar, a potencialidade à erosão laminar, resulta da associação da suscetibilidade com os fatores de uso e cobertura da terra, sendo que áreas com um mesmo nível de suscetibilidade, mas que são ocupadas de forma diferentes, apresentam distintos potenciais para o desenvolvimento da erosão laminar. Isso porque a cobertura vegetal é a defesa natural do terreno contra a erosão, tendo o papel de proteger o solo contra o impacto direto das gotas de chuva, dispersando o escoamento superficial e aumentando a infiltração de água no solo por ação das raízes, o que favorece a retenção de água no solo. Para que o potencial à erosão laminar seja melhor avaliado é importante incluir também a erosividade das chuvas, visto que a cobertura vegetal age como um mitigador do efeito das chuvas, e está sozinha sem incluir a intensidade e a frequência das chuvas não possibilita determinar de forma acurada o potencial a erosão laminar (Carvalho et al., 2019). Na avaliação do potencial a erosão laminar, além da erosividade e do tipo de uso, as formas de uso da terra, isto é, as práticas de manejo das atividades agropecuárias, devem ser consideradas a fim de retratar melhor o potencial da erosão laminar (Kubota et al., 2019).

As áreas extremamente suscetíveis à erosão laminar (I), cujo uso da terra é a pastagem cultivada, apresentam uma alta potencialidade à erosão laminar (I), a exemplo das áreas de pastagem nas unidades geomorfológicas de Estruturas de hogbacks, como a Serra Dourada e a Serra de Santa Rita (Figura 8, 9 e 10). Estas áreas são locais cujo uso atual do solo é incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, ou seja, a proteção deste solo contra os processos erosivos é incompatível com a predisposição natural destes a erosão, sendo áreas que provavelmente ocorreram focos erosivos, caso não haja um reflorestamento por cobertura vegetal de maior porte. Por outro lado, as áreas de pastagem sobre áreas muito suscetíveis (II) a erosão laminar tem uma moderada potencialidade à erosão laminar (II), indicando locais que o uso do solo é incompatível com a suscetibilidade à erosão laminar, mas que com algumas práticas conservacionistas, como o uso de curvas de nível, pode minimizar a ocorrência de focos erosivos. Já estas mesmas áreas de pastagem sobre uma condição de poucos a nenhuma suscetibilidade a erosão laminar (V) apresentam baixa potencialidade (III), sendo áreas cujo uso do solo é compatível com a suscetibilidade a erosão laminar (Figuras 8, 9 e 10).

As áreas de vegetação nativa sob unidades geomorfológicas HB-ED apresentam baixa potencialidade à erosão laminar (III), mesmo estando em um ambiente extremamente suscetível a erosão laminar (I), visto que a cobertura vegetal de médio e alto porte protege o solo contra o impacto direto das gotas da chuva, reduz o escoamento superficial, favorecendo a infiltração da água no solo e dispersando o fluxo hídrico, o que consequentemente minimiza a concentração de fluxos e a ocorrência da erosão linear (Figuras 8, 9 e 10).

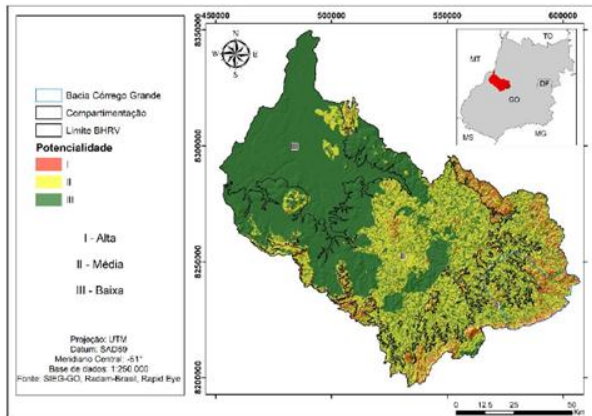


Figura 10. Potencialidade à erosão laminar, conforme os dados de solos, declividade e uso da terra, para a BHRV na escala de 1:250.000.

Suscetibilidade à Erosão Linear da Bacia do Córrego Grande

O número relativo de focos erosivos em relação a área de cada classe de declividade foi maior para as classes de declividade entre 7 e 17%, ou seja, estas são as declividades que propiciam a maior formação de processos erosivos de origem linear. Com relação ao comprimento de fluxo, nota-se uma grande variação entre as classes, como o maior número de focos erosivos para a classe de 7 a 13 m e 23 a 37 m (Figuras 11a e 11b). A diferença entre a área relativa dos focos erosivos e à área relativa de cada classe foi maior para as classes 2 e 3 de declividade ($7-11=7,98$; $12-17=4,22$), enquanto para o comprimento de fluxo as classes 1, 3, 5 e 6 ($0-2 = 1,04$, $7-13 = 6,19$, $23-37 = 1,60$, $38-66 = 0,71$) apresentaram o maior número de focos erosivos lineares. Houve concordância entre as classes de declividade e comprimento de fluxo apenas para a classe 3, com uma diferença relativa de 4,22 e 6,19 para a declividade e comprimento de fluxo, respectivamente. Assim, o intervalo da declividade de 12 a 17% e o comprimento dos cursos d'água de 7-13 m são os mais suscetíveis a erosão linear

(Figura 11c). Além do comprimento de fluxo, em uma análise multicritério Robaina et al. (2022) indicaram que a forma da vertente côncava ou convexa é o fator de maior importância (60%) para a determinação da suscetibilidade à erosão linear.

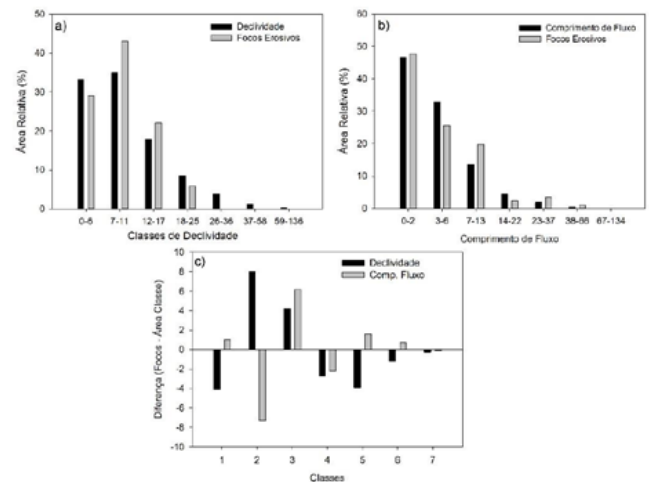


Figura 11. a) Área relativa das classes de declividade e a área relativa dos focos erosivos lineares dentro de cada classe de declividade, b) área relativa das classes de comprimento de fluxo e a área relativa dos focos erosivos lineares dentro de cada classe de comprimento de fluxo, c) Diferença relativa entre a área relativa dos focos erosivos e a área relativa de cada classe de declividade e comprimento de fluxo.

A maior quantidade de focos erosivos lineares ocorreu na unidade geológica do Granito Pau de Choro, formado por rochas graníticas com alto teor de quartzo, ou seja, uma rocha que propicia a formação de solos com maior teor de areia, como o Cambissolo de textura média, em uma topografia típica da SRAIII com declividade de 7 a 17% e uma cobertura vegetal de *Brachiaria brizantha* (Figura 12). A declividade intermediária, associada a solos de maior erodibilidade e uma cobertura vegetal de gramíneas de baixo porte favorece uma alta a moderada suscetibilidade à erosão linear. Diferentemente da potencialidade à erosão laminar, que apresenta alta potencialidade em locais de declividade superior a 20% com o uso da terra para pastagem cultivada, os focos erosivos lineares encontram-se logo abaixo nos locais com declividades intermediárias (7 a 17%) na porção média da encosta, onde há uma maior concentração de fluxos hídricos. A maior suscetibilidade a erosão linear na metade da encosta ocorre porque para que haja a erosão linear é necessário haver uma concentração de fluxos, sendo que em locais de alta declividade o escoamento superficial é muito

rápido e difuso e em locais com baixa declividade este escoamento superficial é mais lento, dispersando o fluxo do escoamento superficial. Assim, as regiões com muito alta a alta suscetibilidade à erosão linear encontram-se logo abaixo das unidades geomorfológicas das Estruturas de hogback na porção inferior da Serra Dourada e Serra de Santa Rita (Figura 12). O relevo do hogback favorece a dissipação da energia na média e baixa vertente, o que leva a formação de focos erosivos na vizinhança destes locais (Bonzanini et al., 2022).

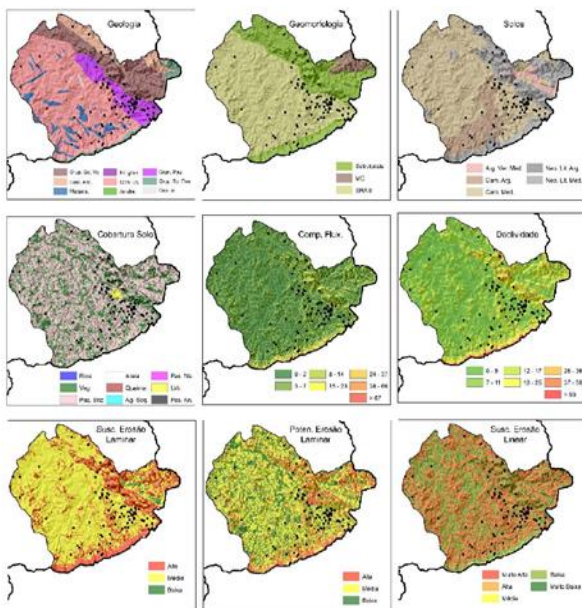


Figura 12. Mapas temáticos de geologia, geomorfologia, solos, uso e cobertura da terra, comprimento de fluxo, declividade e os mapas sínteses da suscetibilidade e potencialidade à erosão laminar e a erosão linear.

Conclusões

A alta bacia no compartimento morfopedológico I, localizado sobre os municípios de Goiás, Faina, Fazenda Nova e Buriti de Goiás, teve quase metade da sua área com alta suscetibilidade a erosão laminar, devido à presença de rochas do embasamento cristalino, que sustentam um relevo de alta dissecação em altitudes superiores a 500 m, o que favorece a formação de solos pouco desenvolvidos de textura média de alta erodibilidade. Em alguns pontos deste compartimento, a cobertura do solo de pastagem cultivada de *Brachiaria brizantha*, de baixa proteção natural contra o impacto das gotas

da chuva, confere a estes locais um alto potencial a erosão laminar.

Por outro lado, a menor suscetibilidade à erosão laminar ocorreu para a baixa bacia no compartimento morfopedológico III, localizado na porção norte de Santa Fé de Goiás, Jussara, Matrinchã e Itapirapuã e em todo o município de Britânia e Aruanã, sendo este compartimento caracterizado por depósitos sedimentares recentes, em relevo plano e altitudes inferiores a 300 m, propiciando a formação de solos profundos como os Latossolos Vermelho-Amarelo, com estrutura microagregada granular de baixa erodibilidade. Estas conclusões indicam locais mais suscetíveis a erosão laminar, mas para um melhor detalhamento é necessário incluir informação sobre a erosividade, que é o potencial erosivo das chuvas e o comprimento de rampa.

A análise da suscetibilidade a erosão linear da sub-bacia do Córrego Grande diferiu da suscetibilidade a erosão laminar por apresentar um maior potencial erosivo nas porções intermediárias da encosta, em declividades e comprimento de fluxos intermediários (7 a 17% e 7 a 13 m). Isso porque é em declividades intermediárias e conforme a forma da vertente, caso seja convergente e convexa, que ocorre a maior concentração de fluxos lineares. Neste trabalho não avaliamos a forma da vertente, o que é um dos principais fatores para a determinação da ocorrência da erosão linear. Também não foram analisado o gradiente hidráulico e o comportamento piezométrico do lençol freático, indicadores da ocorrência de voçorocas. Assim, para melhor avaliar a suscetibilidade a erosão laminar e linear da BHRV é fundamental incluir outras variáveis, como a intensidade e a frequência de chuvas, fatores que influenciam nos dois processos de erosão. Também é fundamental aumentar a escala de detalhe e à acurácia dos mapas temáticos, em particular do mapa pedológico, a partir de informações de campo sobre a estrutura, textura, porosidade e permeabilidade.

Referências

- Bayer, M., 2010. Dinâmica do transporte, composição e estratigrafia dos sedimentos da planície aluvial do Rio Araguaia. Tese (Doutorado). Goiania, UFG.
- Bertoni, J. e Lombardi Neto, F., 1985. Conservação do solo. Piracicaba: Livrocere, p. 368
- Biggelaar, C., Rattan, L., Keith, W., Vince, B., 2003. The Global Impact Of Soil Erosion On Productivity. *Advances in Agronomy* 81, 1-48.

- Bonzanini, H.L., Lupinacci, C. M., Stefanuto, E.B., 2022. A Erosão linear e sua relação com a morfometria do relevo na alta Bacia do Rio Capivara – Botucatu (SP). *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 9, 1947-1964.
- BRASIL, 1981. Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SD.22 Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 640.
- Candido, B.M., 2019. Use of Ground and air-based photogrammetry for soil erosion assessment. Tese (Doutorado). Lavras, UFLA.
- Carvalho, H.J.M., Ribeiro, C.M., Santos, M.A., Carvalho, P.V.R., 2019. Estimativa de perda de solo por erosão laminar em Lucena-PB. *Regne* 5.
- Chalise, D., Kumar, L., Kristiansen, P., 2019. Land Degradation by Soil Erosion in Nepal: A Review. *Soil Systems* 3, 1, 12.
- Chuenchum, P., Xu, M., Tang, W., 2019. Estimating of Soil Erosion and Sediment Yield in the Lancang-Mekong River Using the Modified Revised Universal Soil Loss Equation and GIS Techniques. *Water* 12.
- Crosson, P., 1995. Future Supplies of Land and Water for World Agriculture. In: *Population and Food in the Early Twenty-First Century: Meeting Future Food Demands of an Increasing Population*. International Food Policy Research Institute, pp. 143–159.
- Davis, D.S. e Browne, S., 1996. Soil and resources. *Natural History of Nova Scotia* 1, 355–359.
- Donavan, M. e Monaghan, R., 2021. Impacts of grazing on ground cover, soil physical properties and soil loss via surface erosion: A novel geospatial modelling approach. *Journal of Environmental Management* 287, 1, 12.
- Djoukbal, O., Hasbaia, M., Benselema, O., Mazour, M., 2019. Comparison of the erosion prediction models from USLE, MUSLE and RUSLE in a Mediterranean watershed, case of Wadi Gazouana (N-W of Algeria). *Modeling Earth Systems and Environment* 5, 725-743.
- Eswaran, H., Lal, R., Reich, P.F., 2019. Land degradation: an overview. *Response to land degradation*, pp. 20-35.
- Franco, A.C.S., 2021. Modelagem ambiental e indicadores de pressão nos recursos hídricos da alta bacia do Rio Vermelho (Goiás). Tese (Mestrado). Goiania, UFG.
- Gioia, D., Amodio, A.M., Maggio, A., Sabia, C.A., 2021. Impact of Land Use Changes on the Erosion Processes of a Degraded Rural Landscape: An Analysis Based on High-Resolution DEMs, Historical Images, and Soil Erosion Models. *Land* 10, 673.
- Hill, M.J., Vickery, P.J., Furnival, E.P., Donald, G.E., 1999. Pasture Land Cover in Eastern Australia from NOAA-AVHRR NDVI and Classified Landsat TM. *Remote Sensing of Environment* 67, 1, 32-50.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – Economia. Censo agropecuário, 2006. Disponível: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/default.shtm>>. Acesso: 12 de Dezembro de 2021.
- IPT, 1990. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Orientações para o combate à erosão no estado de São Paulo, Bacia do Peixe 6.
- Jost, H., Fuck, R., Dantas, E.L., Rancan, C.C., Rezende, D.B., Santos, E., Portela, J.F., Mattos, L., Chiarini, M.F.N., Oliveira, R.C., Silva, S.E., 2005. Geologia e geocronologia do complexo Uvã, bloco Arqueano de Goiás. *Revista Brasileira de Geociência* 35, 4, 559-572.
- Krug, E.T.S., Gomes, G.J., Souza, E.G., Gleber, L., Sobjak, R., Bazzi, C.L., 2022. Estimating soil loss by laminar erosion using precision agriculture computational tools. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental* 26, 907-914.
- Kubota, N.A., Prata, T.C, Lima, I.F., Lima, A.M.M., 2019. Hidrogeomorfologia e Susceptibilidade a Erosão da Bacia do Rio Gurupi (PA-MA). *Revista Geográfica Acadêmica* 13, 37-89.
- Kumas, S. e Kushwaha, S.P.S., 2013. Modeling soil erosion risk based on RUSLE-3D using GIS in a Shivalik sub-watershed. *Journal of Earth System* 122, 2, 389-398.
- Larson, W.E., Pierce, F.J., Dowdy, R.H., 1983. The threat of soil-erosion to long-term crop production. *Science* 219, 458–465.
- Latrubesse, E.M. e Carvalho, T.M., 2006. Geomorfologia do Estado de Goiás e Tocantins. Goiânia, Secretaria de Indústria e Comércio. Superintendência de Geologia e Mineração. Estado de Goiás, 128.
- Li, Y., Li J., Are, K.S., Huang, Z., Yu, H., Zhang, Q., 2019. Livestock grazing significantly accelerates soil erosion more than climate change in Qinghai-Tibet Plateau: Evidenced

- from ^{137}Cs and ^{210}Pb measurements. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 285.
- Lombardi, B.F. e Bertoni, J., 1975. Erodibilidade de solos paulistas. Campinas: Instituto Agrônomo de Campinas 2.
- Machado, L.E.G. e Lima, C.V., 2011. Compartimentação geomorfológica da bacia hidrográfica do Rio Vermelho (GO) utilizando imagens ASTER. In: Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, PR, Brasil.
- Mitasova, H., Zlocha, J.H.M., Iverson, L.R., 1995. Modeling topographic potential for erosion and deposition using GIS. *International Journal of GIS* 10, 5, 629-641.
- Moraes, A., Alves, S.J., Canto, M.W., Cecato, U., 1995. Espécies Forrageiras Recomendadas para Produção Animal.
- Palacín L. e Moraes, M.A.S., 2008. História de Goiás (1722-1972). 7th ed. Goiânia GO: Ed. Vieira.
- Panagos, P., Borrelli, P., Poesen, J., 2019. Soil loss due to crop harvesting in the European Union: A first estimation of an underrated geomorphic process. *Science of the Total Environment* 664, 487-498.
- Panagos, P., Ballabio, C., Himics, M., Scarpa, S., Matthews, F., Bogonos, M., Poesen, J., Borelli, P., 2021. Projections of soil loss by water erosion in Europe by 2050. *Environmental Science & Policy* 124, 380-392.
- Pimentel, D., Harvey, C., Resosudarmo, P., Sinclair, K., Kurz, D., McNair, M., Crist, S., Shpritz, L., Fitton, L., Saffouri, R., Blair, R., 1995. Environmental and Economic Costs of Soil Erosion and Conservation Benefits. *Science* 267, 5201, 1117-1123.
- Robaina, L.E.S., Trentin, R., Scotti, A.A.V., Petsch, C., 2022. Utilização da Análise Hierárquica Ponderada em Atributos do Relevo para o Zoneamento de Suscetibilidade a Voçorocamentos na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS. *Revista Brasileira de Geografia Física* 15, 2, 994-1108.
- Salomão, F.X.T. Controle e Prevenção dos Processos Erosivos. In: Guerra, T. A. J., Silva, A. S., Botelho, R. G. M., 1999. Erosão e Conservação dos Solos: Conceitos, Temas e Aplicações. Capítulo 7.
- Salumbo, A.M. 2021. A Review of Soil Erosion Estimation Methods. *Agricultural Sciences* 11, 667-691.
- Santos, P.S. 2014. Caracterização e mapeamento biofísico ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Soil Quality. *Soil Quality for Environmental Health*. 2011. Disponível em: <<http://soilquality.org/basics/value.html>> Acesso em: 16 de Dezembro de 2021.
- Silva, I.B. e Mendes, L.M.S., 2019. Mapeamento de Áreas Susceptíveis à Erosão Laminar no Alto Curso do Rio Banabuiú-CE. *Revista Georaguaia* 9, 2, 48-64.
- Soares, C.B.R. e Martins, A.P., 2021. Análise Empírica da Fragilidade Ambiental na Microrregião Rio Vermelho (GO). *Geosul* 36, 80, 68-94.
- Sousa, J.C., Sales, J.C.A., Lopes, E.R.N., Rovenda, F.J.A., Roveda, S.R.M.M., Lourenço, R.W., 2019. Valuation methodology of laminar erosion potential using fuzzy inference systems in a Brazilian savanna. *Environmental Monitoring and Assessment* 191, 624.
- Speth, J.G., 1994. Towards an Effective and Operational International Convention on Desertification. In: International Negotiating Committee, United Nations, New York.
- Tavares, V.C., 2020. Estimativa de erosão dos solos e sua comparação com a aptidão agrícola na microbacia do Rio Boa Vista – Queimadas/PB. Tese (Doutorado). Recife, UFPE.
- Tsegaye, L., e Bharti, R., 2021. Soil erosion and sediment yield assessment using RUSLE and GIS-based approach in Anjeb watershed, Northwest Ethiopia. *SN Applied Science* 3, 582.
- Tomazzoli, E.R., 1985. Geologia, Petrologia, Deformação e Potencial Aurífero do Greenstone Belt of the Goiás (GO). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Brasília.
- Valente, C.R., 2007. Geotectonic, geologic evolution and regional geomorphology of the Araguaia river basin, Central Brazil. Doutorado em Ciências Ambientais, Universidade Federal de Goiás.
- Veiga A.M., 2012. Caracterização hidromorfológica do Rio Vermelho. In: XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. João Pessoa PB. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Evento_Aldrej_Caracterizacao.pdf>. Acesso em: 14 de dezembro de 2021.
- Vieira, P.A., 2003. Caracterização das Unidades Geomorfológicas Geoambientais da Planície do Bananal. Tese (Mestrado), Goiânia, UFG.
- Vieira, P.A., 2013. Dinâmica de Ocupação, vulnerabilidades e cenários para a bacia hidrográfica do rio Vermelho. Tese (Doutorado), Goiania, UFG.